

Auswirkungen der Umgebung auf die Vitalität der Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch



Simon Gross

Bachelorarbeit im Bereich Ökosystemmanagement
Eingereicht bei: Florian Knaus

Zürich, Februar 2015

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Situation der Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch. Es wurden dabei die Auswirkungen von verschiedenen Umgebungsparametern auf die Vitalität der Ameisen untersucht. In einer kantonalen Karte wurde nach Gebieten gesucht, welche in kurzer Gehdistanz mehr als zehn Ameisenhügel aufwiesen und bezüglich Lage und Vegetation möglichst verschieden waren. Im Feld wurden die Volumen der bekannten Hügel ausgemessen um daraus die Koloniegrosse ableiten zu können. Diese diente zur Abschätzung der Vitalität. Innerhalb eines Radius von ca. 20m wurde nach weiteren Ameisenhügeln gesucht. Das führte zu sieben Gebieten mit je 20-30 Ameisenhügeln. Das Hügelvolumen als abhängige Bezugsgrösse verlangte zudem eine Unterscheidung der zwei wichtigsten Waldameisenarten, weil diese unterschiedlich grosse Hügel bauen. Anhand der Körperbehaarung konnte die kahlrückige *Formica polyctena* mit eher grösseren Hügeln von der Art *Formica rufa* unterschieden werden. Insgesamt konnten 50 Ameisenhügel der Art *F.polyctena* und 116 Hügel der Art *F.rufa* erfasst werden. Die Daten zur Umgebung wurden teils im Feld erhoben, teils mit den Koordinaten der Ameisenhügel in ArcGIS aus einer Waldbestandes- und einer Waldsoziologiekarte extrahiert. Es handelt sich um Informationen zum Gefälle, zur Ausrichtung des Hangs, zur Höhe über Meer, zur Art der Vegetation, zum Verdichtungsrisiko des Bodens, zum Mischungsgrad von Laub- und Nadelbäumen sowie zur Entwicklungsstufe und zum Schlussgrad des Waldes.

In einem Anova-Modell wurde der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Vitalität ausgewertet. Die Art ($p=0.009$), die Neigung ($p=0.013$) und die Hauptgesellschaft ($p=0.026$) hatten auf dem 5% Niveau einen signifikanten Einfluss auf das Hügelvolumen. Ebenfalls einen sehr tiefen p-Wert mit $p=0.051$ konnte die Ausrichtung des Hanges erreichen. Das gesamte Modell konnte 44% der Varianz der Hügelvolumen erklären. Davon sind 11% der Hauptgesellschaft, 7% dem Gebiet, 6% der Ausrichtung, 5% der Art und 5% der Neigung zuzuschreiben um nur die wichtigsten zu nennen.

Eine weitere Auswertung der Ausprägungen innerhalb der Parameter wurde nach Arten getrennt ausgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Hügelvolumen zwischen den Arten mit $p=0.0137$ signifikant unterscheiden. *F.polyctena* verfügt dabei mit einem durchschnittlichen Volumen von 0.88m^3 über die grösseren Ameisenhügel als *F.rufa* mit einem durchschnittlichen Hügelvolumen von 0.54m^3 .

Für die Art *F.polyctena* konnte eine signifikant grössere Vitalität an Nordhängen ($p=0.032$) als an Südhängen, eine signifikante Abnahme der Vitalität mit zunehmendem Gefälle ($p=0.035$) sowie eine signifikante Abnahme der Vitalität mit zunehmender Höhe über Meer ($p=0.009$) gezeigt werden. Für die Art *F.rufa* konnten keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden. Bei der Ausrichtung zeigt sich jedoch eine Tendenz zu einer grösseren Vitalität an Süd- und Westhängen als an Osthängen.

Es konnte gezeigt werden, dass vor allem die Parameter Hauptgesellschaft, Ausrichtung und Neigung einen wesentlichen Einfluss auf die Vitalität der Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch haben. Ein wichtiger Zusammenhang zwischen diesen Parametern scheint dabei die Temperatur am Waldboden und das Mikroklima allgemein darzustellen. Diese könnten Schlüsselemente sein, um das ganze Wirkungsgefüge um die Vitalität der Waldameisen besser zu verstehen. In möglichen weiteren Studien sollte zudem der Faktor Zeit berücksichtigt werden, um die Dynamik und das Alter der Ameisenhügel abbilden zu können. Es wird zudem empfohlen sich besonders auf die Gebiete mit der höchsten Vitalität zu konzentrieren und diese besser vor menschlichen Eingriffen zu schützen, welche für die Waldameisen die grösste Beeinträchtigung darstellen.

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG	4
2	METHODE	5
2.1	DATENERHEBUNG	5
2.1.1	<i>Artbestimmung.....</i>	6
2.1.2	<i>Hügelvolumen</i>	6
2.1.3	<i>Koordinaten.....</i>	6
2.1.4	<i>Parameter zur Umgebung und Lage der Ameisenhügel.....</i>	7
2.2	AUSWERTUNG	7
2.2.1	<i>Anova-Modell mit allen Parametern</i>	7
2.2.2	<i>Art.....</i>	8
2.2.3	<i>Ausrichtung</i>	8
2.2.4	<i>Neigung.....</i>	8
2.2.5	<i>Höhe über Meer</i>	8
2.2.6	<i>Hauptgesellschaft.....</i>	9
2.2.7	<i>Bodenverdichtungsrisiko</i>	9
2.2.8	<i>Mischungsgrad.....</i>	10
2.2.9	<i>Schlussgrad.....</i>	10
2.2.10	<i>Entwicklungsstufe.....</i>	10
3	RESULTATE.....	11
3.1	ANOVA-MODELL	11
3.2	ART	11
3.3	GEBIET	12
3.4	AUSRICHTUNG	13
3.5	NEIGUNG	14
3.6	HÖHE ÜBER MEER	15
3.7	HAUPTGESELLSCHAFT	16
3.8	BODENVERDICHTUNGSRISIKO	17
3.9	MISCHUNGSGRAD.....	18
3.10	SCHLUSSGRAD.....	19
3.11	ENTWICKLUNGSSTUFE.....	20
4	DISKUSSION	21
5	SCHLUSSFOLGERUNG	24
6	DANKSAGUNG	25
7	QUELLENVERZEICHNIS	26
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	28

1 Einführung

Die Waldameisen gehören systematisch betrachtet in die Klasse der *Insecta* (Insekten) und finden sich dort in der Ordnung der *Hymenoptera* (Hautflügler). Die hügelbauenden Waldameisen zählen zu einer der artenreichsten und in Europa verbreiteten Unterfamilien, den *Formicinae* (Schuppenameisen) (Seifert 2007).

Die hügelbauenden Waldameisen haben einen sehr grossen Einfluss auf das Ökosystem Wald. Sie tragen durch ihre komplexen Bauten zur Bodenverbesserung bei und bieten dem Wald Schutz vor Schadinsekten. Ebenso helfen sie bei der Verbreitung von Samen und somit bei der Wiederansiedlung von Pflanzen und Tieren (Gösswald 2012).

Die Artgruppe der *Formica rufa* ist in der Schweiz seit 1966 rechtlich geschützt und wird sowohl in der Schweiz als auch weltweit auf der roten Liste als potentiell gefährdet aufgelistet (NHV 1966; BUWAL 1994; IUCN 1996). Wohl deshalb sind in den letzten drei Jahren der Verband Schweizer Waldameisen-Schutz (SWS) in Zug gegründet und das Projekt Ameisenzeit in Basel hervorgerufen worden. Wichtige Mittel um eine bessere Koordination von Schutzmassnahmen zu ermöglichen sind dabei Dokumentationen über Standorte sowie Aufzeichnungen der langfristigen Dynamik von Ameisenpopulationen.

Im vorliegenden Projekt wird die Situation der Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch untersucht. Es soll herausgefunden werden, wie die Vitalität der Ameisenpopulationen im Zusammenhang mit deren charakteristischen Lebensräumen steht. Dazu werden Daten zur Lage der Ameisenhaufen, zu den Lichtverhältnissen und zur Vegetation aufgenommen.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass sich daraus noch zwei weitere Bachelorarbeiten ergeben; Jene von Manja Künzli (2015), welche anhand von Vegetationsaufnahmen den Lebensraum der Waldameisen untersucht und jene von David Müller (2015), welche sich mit dem Einfluss der Lichtverhältnisse auf die Ameisenhügel beschäftigt.

In der vorliegenden Arbeit soll die Auswirkung der Umgebung auf die Vitalität der Waldameisen untersucht werden. Die Daten der Umgebung werden einerseits im Feld erhoben, andererseits wird mit den Koordinaten der Ameisenhaufen und Geodaten aus der UNESCO Biosphäre Entlebuch eine GIS-Analyse durchgeführt. Mit Hilfe einer vorhandenen Waldbestandeskarte und einer waldsoziologischen Karte sollen Erkenntnisse über die Umgebung der Waldameisen generiert werden. Zusätzliche Daten zur Lage werden aus einer Höhenkarte gewonnen. Daraus ergibt sich die folgende Fragestellung:

- Wie beeinflussen verschiedene Parameter der Umgebung die Vitalität der Waldameisenkolonien?

Nach Chen und Robinson (2013) ist die relative Körpergrösse wahrscheinlich das wichtigste quantitative Merkmal eines Individuums. Diese beeinflusst nahezu alle physiologischen Vorgänge sowie die Fitness eines Organismus. Bei sozialen Insekten wie den Ameisen, welche in einer Gruppe leben und Arbeitsteilung aufweisen, kann in Analogie zur Körpergrösse bei Individuen die Koloniegösse gesehen werden. Diese korreliert sowohl mit der Entwicklung der Population als auch mit der Ökologie einer Spezies. Das heisst, unter Bedingungen welche einen positiven Einfluss auf den (Super-) organismus haben kann sich dieser schneller entwickeln und auch mehr Individuen enthalten.

Zur Abschätzung der Koloniegösse von Ameisenstaaten gibt es verschiedene Methoden. Diese basieren meist darauf die Individuen zeitaufwändig zu markieren und zu zählen. In dieser Arbeit werden die Dimensionen der Ameisenbauten ausgemessen und das berechnete Hügelvolumen verwendet um die Koloniegösse abzuschätzen. Das Hügelvolumen dient in diesem Fall der Abschätzung der Vitalität der Ameisenpopulationen.

2 Methode

2.1 Datenerhebung

Die Auswahl der zu erfassenden Gebiete basierte auf einer öffentlichen Geokarte von 2002 zu Natur- und Kulturobjekten im Wald des Kantons Luzern. Diese bot eine Übersicht zu Standorten und Dichte von Ameisenpopulationen. Um den begrenzten zeitlichen Rahmen für die Feldarbeit effizient zu nutzen, wurde einerseits nach Gebieten gesucht, welche in kurzer Gehdistanz über zehn Haufen aufwiesen, andererseits sollten sie bezüglich der Lage und der Vegetation möglichst divers sein. Die Gebiete 1 und 2 westlich von Escholzmatt befinden sich auf ca. 1000m.ü.M. auf Weideland an einem Nord- bzw. Südwesthang. Westlich von Flühli auf ca. 1300m.ü.M. befinden sich die Gebiete 3 und 4 in eher feuchtem Terrain an Südwesthängen. Östlich von Flühli auf ca. 1700m.ü.M. wurde Gebiet 5 auf einer Fläche mit Föhren-Heidelbeerwald festgelegt. Gebiet 6 befindet sich auf ca. 1500m.ü.M an der Ostseite der Schratzenflue in einer Karstlandschaft. Gebiet 7 nördlich von Entlebuch befindet sich unterhalb von 1000m.ü.M. angrenzend an landwirtschaftlich genutztes Land und ist erst später auf Hinweis eines lokalen Fachmanns hinzugefügt worden (siehe Abbildung 1). Die Datenerfassung fand in den Wochen vom 23. Juni 2014 bis 3. Juli 2014 statt. Die Witterung sollte dabei wegen des Kontrastes der Bildaufnahmen zur Messung der Lichtverhältnisse nicht sonnig, aber auch nicht regnerisch sein (siehe Müller 2015). Somit wurden die Daten abhängig vom Wetter zwischen 09:00 am Morgen und 19:00 am Abend erhoben. Die ausgewählten Ameisenhögel konnten mit Hilfe von Luftbildern gefunden werden. Ameisenhögel welche sich in einem Radius von ca. 20m davon entfernt oder auf dem Weg zum nächsten Hügel befanden, wurden ebenfalls aufgenommen. So wurde versucht pro Gebiet zwischen 20 und 30 Ameisenhögel innerhalb von zwei Tagen zu erfassen. Je nach Gelände, Dichte der Vegetation und Anzahl bekannter Hügel musste dabei mehr oder weniger gesucht werden.



Abbildung 1: Übersichtskarte der erfassten Gebiete

2.1.1 Artbestimmung

Die eindeutige Identifizierung der Arten erwies sich als äusserst schwierig, auch weil heute zahlreiche Hybridformen bekannt sind (Ambach 2009). Hinweise der Verbreitung und Ökologie deuteten aber darauf hin, dass in der UNESCO Biosphäre Entlebuch *Formica rufa* Linnaeus (Grosse/Rote Waldameise) und *Formica polyctena* Förster (Kleine/Kahlrückige Waldameise) die wichtigsten zwei Arten sind (Ambach 2009; Freitag 2008; Gösswald 2012; Schnider 2014). Zur Unterscheidung dieser beiden Arten wurden mehrere Ameisen pro Haufen an den Beinen festgehalten und mit einer Triplet®-Einschlaglupe 10x, 21mm von Auge auf die Körperbehaarung geprüft. Waren auf der Kopfunterseite keine oder nur kurze Haare sichtbar und war das Pronotum (Brustsegment) unbehaart oder wies maximal 15 Borsten auf, wurde der Haufen der Art *F.polyctena* zugewiesen. Falls die Kopfunterseite deutliche, lange Haare aufwies und am Pronotum mindestens 30 Borsten erkennbar waren, wurde auf *F.rufa* geschlossen (Otto 2005). Dies interessierte, da *F.polyctena* hauptsächlich polygyn ist, also mehrere Königinnen in einem Nest hat und auch deutlich volksstärker ist (also grössere Kolonien hat) als die hauptsächlich monogyne *F.rufa* (Gösswald 2012; Otto 2005).

2.1.2 Hügelvolumen

Die Berechnung der Hügelvolumen setzt sich zusammen aus den Dimensionen Durchmesser und Höhe sowie einem Korrekturterm welcher die Form der Hügel berücksichtigt. Da die Hügel meist keine kreisförmige Grundfläche aufwiesen, wurden stets die Distanz zwischen den am weitesten entfernten Hügelrändern (d1), sowie der Durchmesser rechtwinklig dazu (d2) ermittelt. Die Höhe wurde als Distanz zwischen Boden und der am weitesten vom Erdboden entfernten Hügeloberfläche gemessen. Die Messung erfolgte senkrecht zum Boden, um auch bei Hanglage die Hügeldimensionen nicht zu verzerren. Zudem fand eine Einteilung der Hügelform in flach, rund und spitz statt. Diese visuelle Einschätzung diente zur genaueren Berechnung der Volumen. Für einen flachen Hügel wurde die Formel zur Volumenberechnung einer Platte verwendet. Die runden Hügel wurden als Halbkugel berechnet und die eher spitzen Hügel wurden an einen Kegel angenähert. Die jeweiligen Volumen ergeben sich aus folgenden Berechnungen:

$$V - \text{flach} = \pi * d1/2 * d2/2 * h$$

$$V - \text{rund} = \pi * d1/2 * d2/2 * h * \frac{2}{3}$$

$$V - \text{spitz} = \pi * d1/2 * d2/2 * h * \frac{2}{3} * 0.8$$

2.1.3 Koordinaten

Die Positionen der Ameisenhügel konnte mit einem GPS-Gerät des Typs Garmin eTrex VistaC erfasst werden. Nach Benutzerangaben liegt die Genauigkeit des Gerätes in diesem Fall ohne DGPS (Verwendung von ortsfesten GPS-Empfängern als Referenzstationen) zu 95% bei <15m. Die Koordinaten wurden im System WGS84 erfasst und dann nach Marti (2005) wie folgt ins Schweizer Koordinatensystem CH LV03 umgerechnet, um sie zusammen mit den Geokarten des Kantons Luzern verwenden zu können.

Die Breite φ und Länge λ der WGS84 Koordinaten müssen in der Einheit Sexagesimal-sekunden ["] verwendet werden, um sie in die Schweizerkoordinaten y und x umzurechnen.

$$\varphi' = (\varphi - 169028.66 ") / 10000$$

$$\lambda' = (\lambda - 26782.5 ") / 10000$$

$$y [m] = 600072.37 + 211455.93 * \lambda' - 10938.51 * \lambda' * \varphi' - 0.36 * \lambda' * \varphi'^2 - 44.54 * \lambda'^3$$

$$x [m] = 200147.07 + 308807.95 * \varphi' + 3745.25 * \lambda'^2 + 76.63 * \varphi'^2 - 194.56 * \lambda'^2 * \varphi' + 119.79 * \varphi'^3$$

2.1.4 Parameter zur Umgebung und Lage der Ameisenhügel

Im Gelände selber konnten die Hangneigung und die Himmelsrichtung bestimmt werden. Unmittelbar um die Hügel liess sich die Hangneigung mit einem SUUNTO Clinometer erfassen. Dazu musste mit dem Gerät ein Punkt an einem Objekt weiter oben oder weiter unten am Hang im selben Abstand zum Boden anvisiert werden. Die Himmelsrichtung des Hanges, in der Richtung des grössten Gefälles, liess sich mit einem 360° Silva Ranger 3 Kompass bestimmen. Dieselben zwei Parameter wurden auch im Programm ArcGIS 10 in einer Höhenkarte mit den Tools *aspect* und *slope* zum Vergleich bestimmt.

Die Informationen zur Höhe über Meer, zur Art der Vegetation, zum Verdichtungsrisiko des Bodens, zum Mischungsgrad von Laub- und Nadelbäumen sowie zur Entwicklungsstufe und zum Schlussgrad des Waldes konnten am Computer ermittelt werden. Dazu wurden bestehende Karten des Kantons Luzern verwendet und im Programm ArcGIS 10 mit den Koordinaten der Ameisenhaufen abgeglichen. Die verwendeten Karten sind eine walddoziologische Karte von 2002 sowie eine Waldbestandeskarte von 2003 mit laufender Nachführung. Mit einem speziellen Tool *extract multi values to points* konnten den Koordinaten die jeweiligen Werte der Ameisenhügel zugeordnet werden.

2.2 Auswertung

Es wurde versucht herauszufinden, wie die verschiedenen Parameter der Umgebung und Lage auf die Vitalität der Ameisenstaaten wirken. Genauer gesagt wurden dabei die Stärke und die Art der Einflüsse analysiert. Erstens wurden die unterschiedlichen Auswirkungen der verschiedenen Parameter und zweitens die Auswirkungen der Ausprägungen innerhalb eines Parameters untersucht. Ein Anova-Modell, welches alle Parameter beinhaltet, sollte eine Übersicht schaffen. Einerseits wurde ausgewertet, wieviel Prozent der Varianz der Ameisenhügel durch die einzelnen Parameter erklärt werden kann, andererseits ob es einen signifikanten Einfluss der Parameter auf das Hügelvolumen gibt. Eine spezifische Auswertung jedes Parameters konnte beantworten, welche Auswirkungen die verschiedenen Ausprägungen haben. Bei diesen auf die einzelnen Parameter zugeschnittenen Tests wurde versucht signifikante Unterschiede in den Ausprägungen zu finden. Als Beispiel gibt es im Parameter Neigung die Ausprägungen flach und steil. Diese spezifische, jeweils nur einen Parameter betreffende Auswertung sollte z.B. für die Neigung zeigen, ob ein steiler oder ein flacher Hang unterschiedliche Auswirkungen auf die Vitalität der Waldameisen hat.

Allen Auswertungen war das Hügelvolumen als abhängige Bezugsgrösse gemeinsam. Als abhängige Variable soll das Hügelvolumen dabei durch die unabhängigen Variablen der Umgebung und Lage erklärt werden. Zeigen sich unter einem Parameter eher grosse Hügelvolumen wird dies als positive Auswirkung interpretiert. Negative Auswirkungen eines Parameters auf die Vitalität der Ameisen zeichnen sich dagegen durch eher kleine Hügelvolumen aus.

Die erhobenen Daten wurden im frei verfügbaren Statistikprogramm *R* (Version 3.0.1) ausgewertet.

2.2.1 Anova-Modell mit allen Parametern

Dieses Modell umfasst alle Parameter welche in dieser Arbeit erhoben wurden. Insbesondere ist auch die Art als Parameter enthalten und die Hügelvolumen werden ohne Artunterscheidung verwendet. Im Modell selber, wurden nach einer Residuenanalyse die Hügelvolumen log-transformiert um den Modellannahmen gerecht zu werden. Die Anova sollte wie schon erwähnt die Varianz der Hügelvolumen erklären und zeigen welche Parameter einen signifikanten Einfluss haben. Die Signifikanz wurde standardmässig mit dem p-Wert ermittelt. Um die Varianz der Hügelvolumen zu erklären, wurde das Bestimmtheitsmass, auch als Determinationskoeffizient oder R^2 bezeichnet, verwendet.

In einem weiteren Modell wurden die Interaktionen zwischen den vier wichtigsten Parametern untersucht. Aufgrund fehlender Signifikanz wurde darauf aber nicht weiter eingegangen.

2.2.2 Art

Diesem Parameter kam eine besondere Bedeutung zu. Nach Gösswald (2012) und Otto (2005) baut die Art *F.polyctena* durchschnittlich grössere Hügel als *F.rufa*. Das bedeutet, dass für sämtliche Parameter die Arten getrennt ausgewertet werden mussten. Durch eine ungleichmässige Verteilung der Arten würden sonst die Resultate einer auf die Hügelvolumen ausgerichteten Auswertung verzerrt. Um zu sehen ob sich die Arten tatsächlich voneinander unterscheiden, wurden diese in einer Anova mit log-transformierten Hügelvolumen ausgewertet.

2.2.3 Ausrichtung

In dieser doppelt erhobenen Datenreihe zeigten die mit ArcGIS ermittelten Hangausrichtungen ähnliche, aber weniger deutliche Resultate als die direkt im Feld erhobenen Daten. Um jedoch auch die kleinräumigen Reliefstrukturen zu berücksichtigen und den Fehler aufgrund der Ungenauigkeit des GPS auszuschalten, wurde in den Resultaten nur auf die im Feld gewonnenen Daten eingegangen. Die Ausrichtungen der Hänge konnten in einer Anova mit log-transformierten Hügelvolumen ausgewertet werden. Unterschiede zwischen den Ausrichtungen wurden dabei nur innerhalb der Arten betrachtet. Zur Auswertung der Himmelsrichtung, also wie der Hang ausgerichtet ist auf dem die Ameisenhügel stehen, wurden die Hügel in die vier folgenden Kategorien eingeteilt.

Nord	- 315° bis 45°
Ost	- 45° bis 135°
Süd	- 135° bis 225°
West	- 225° bis 315°

2.2.4 Neigung

Bei der Hangneigung stimmten die am Computer ermittelten Daten ebenfalls mit den im Feld erhobenen überein. Aus denselben Gründen wie schon bei der Ausrichtung (Deutlichkeit der Resultate und Ungenauigkeit des GPS), beziehen sich auch hier die Resultate auf die im Feld erhobenen Daten. Die Neigung konnte dabei in keine aussagekräftigen Kategorien eingeteilt werden, weshalb die einzelnen Neigungswerte in einem *linear model* getestet wurden. Dies geschah ebenfalls artgetrennt und mit log-transformierten Hügelvolumen.

2.2.5 Höhe über Meer

Die Werte zur Höhenlage der Ameisenhügel wurden aus einem digitalen Höhenmodell (DHM) in ArcGIS ermittelt. Dabei konnten keine aussagekräftigen Höhenstufen innerhalb einer Art gefunden werden, welche sich deutlich von anderen Höhenlagen unterschieden hätten. Die einzelnen Werte zur Höhenlage der Ameisenhügel wurde deshalb Artgetrennt und mit log-transformierten Volumen in einem *linear model* getestet. Das Ziel war dabei eine Korrelation der Hügelvolumen mit der Höhenlage zu finden.

2.2.6 Hauptgesellschaft

Damit den Ameisenhöfen eine Hauptgesellschaft zugeordnet werden konnte, war in ArcGIS eine manuelle Anpassung aufgrund von Feldnotizen notwendig. Die Ameisenhöfe waren häufig am Waldrand oder bei Baumgruppen in Wiesen platziert, weshalb sie sich manchmal ausserhalb der als Wald definierten Fläche gemäss der waldsoziologischen Karte befanden. Dadurch konnte den Koordinaten der Ameisenhöfe nicht automatisch eine Hauptgesellschaft zugeteilt werden. Nach einem Abgleich mit den Notizen wurde den Höfen schliesslich die nächstgelegene Hauptgesellschaft zugewiesen.

Bei diesem Parameter wurden acht verschiedene Kategorien untersucht (siehe unten). Sieben davon sind reine Hauptgesellschaften, welche mindestens sieben Ameisenhöfe aufwiesen. Eine weitere Kategorie setzt sich aus vielen verschiedenen Hauptgesellschaften zusammen, welche häufig nur durch ein bis zwei Ameisenhöfe vertreten waren. In einer nach der Art getrennten Anova konnten diese Kategorien mit log-transformierten Höfenvolumen ausgewertet werden. Die Nummerierung der Hauptgesellschaften ist dabei angelehnt an die Klassifikation von Ellenberg und Klötzli (1972):

- 1 - übrige Hauptgesellschaften
- 820 - Waldhirschen-Buchenwald mit Rippenfarn
- 1825 - Typischer Tannen-Buchenwald
- 1835 - Tannen-Buchenwald mit breitem Wurmfarne
- 4600 - Typischer Heidelbeer-Fichten-Tannenwald
- 5040 - Alpendost-Fichten-Tannenwald, artenarme Ausbildung
- 5720 - Subalpiner Fichtenwald mit Heidelbeere
- 6900 - Steinrosen-Bergföhrenwald

2.2.7 Bodenverdichtungsrisiko

Die Einteilung der Böden bezüglich des Verdichtungsrisikos stammt aus der waldsoziologischen Karte des Kantons Luzern. Bei der Auswertung der Resultate wurden aber die Kategorien *0 - keine Angabe*, *4 - sehr hohes Verdichtungsrisiko* und *5 - nicht befahrbar* zusammengefügt und als Kategorie *10 - übrige* dargestellt. Der Grund dafür war die Aussagekraft, welche durch einige wenige Ameisenhöfe nicht gegeben war. In einer Anova konnten die Daten Artgetrennt und mit log-transformierten Höfenvolumen ausgewertet werden.

Die Klassen wurden wie folgt unterschieden:

- 1 - geringes Verdichtungsrisiko
(auch bei nassem Wetter nur unbedeutende Verdichtung der Böden)
- 2 - mittleres Verdichtungsrisiko
(nach Niederschlag bedeutende Verdichtung der Böden möglich)
- 3 - hohes Verdichtungsrisiko
(nach Niederschlag über längere Zeit starke Verdichtung möglich)
- 10 - übrige

2.2.8 Mischungsgrad

Die Einteilung bezüglich Mischungsgrad zwischen Nadel- und Laubwald stammt aus der waldsoziologischen Karte. Die Daten wurden in einer Anova mit log-transformierten Hügelvolumen und nach Art getrennt in folgenden 4 Kategorien ausgewertet. Eine fünfte Kategorie, nämlich 4 - *Laub rein* wurde aufgrund fehlender Werte weggelassen.

- 0 - keine Angabe
- 1 - Nadel rein
- 2 - Nadel gemischt
- 3 - Laub gemischt

2.2.9 Schlussgrad

Aus der Waldbestandeskarte stammt die Einteilung nach Schlussgrad des Waldes. Der Schlussgrad ist ein Mass für die Bestandesdichte des Waldes, welches angibt wie die Versorgung des Waldbodens mit Licht aussieht. Die in der Karte verwendeten Kategorien 0 - *keine Angabe* und 9 - *nicht interpretierbar* wurden in der Kategorie 10 - *übrige* zusammengefasst. Kategorie 4 - *Stufenschluss* umfasst keine Ameisenhügel und wurde deshalb weggelassen. Wiederum konnten die Daten in einer artgetrennten Anova mit log-transformierten Hügelvolumen ausgewertet werden.

- 1 - gedrängt
- 2 - normal bis locker
- 3 - räumig, aufgelöst, gruppiert
- 10 - übrige

2.2.10 Entwicklungsstufe

Ebenfalls aus der Waldbestandeskarte stammt die Einteilung nach dem Entwicklungsgrad des Waldes. Dabei wurden die Kategorien 0 - *keine Angabe* in 10 - *übrige* überführt. Die Kategorie 2 - *Stangenholz* wurde aufgrund fehlender Werte weggelassen. Die Hügelvolumen wurden log-transformiert und artgetrennt in den folgenden Kategorien ausgewertet.

- 1 - Jungwuchs/ Dickung
- 3 - schwaches bis mittleres Baumholz
- 4 - Starkes Baumholz bis Altholz
- 5 - Gemischt Strukturiert/ Plenterwald
- 10 - übrige

3 Resultate

3.1 Anova-Modell

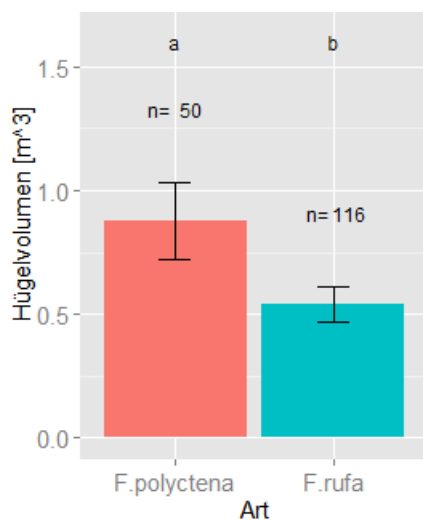
Aus den Resultaten dieses Anova-Modells können vier Parameter besonders hervorgehoben werden. Das Modell zeigt für die Art ($p=0.009$), die Neigung ($p=0.013$) und die Hauptgesellschaft ($p=0.026$) auf dem 5% Niveau einen signifikanten Einfluss auf das Hügelvolumen. Die Ausrichtung konnte in diesem Modell mit $p=0.051$ knapp keine Signifikanz erreichen (siehe Tabelle 1).

Die Spalte R^2 gibt an, wieviel Prozent der Varianz der Hügelvolumen durch die jeweiligen Parameter erklärt werden können. Das gesamte Modell kann 44% der Varianz der Hügelvolumen erklären. Die Parameter mit dem grössten Einfluss sind mit 11% die Hauptgesellschaft, mit 7% das Gebiet, mit 6% die Ausrichtung, mit 5% die Art und mit 5% die Neigung.

Tabelle 1: P-Werte und R2 des Anova-Modells aller Parameter

Parameter	P-Wert	R ²
Art	0.00895 **	0.052504
Gebiet	0.14456	0.072823
Ausrichtung	0.05139 .	0.059335
Neigung	0.01274 *	0.047571
Höhenlage	0.13269	0.017076
Hauptgesellschaft	0.02586 *	0.111391
Verdichtungsrisiko	0.55338	0.015696
Mischungsgrad	0.81474	0.007037
Schlussgrad	0.18474	0.034704
Entwicklungsstufe	0.63694	0.019008
Gesamtes Modell		0.439000
<i>Signif. codes: '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1</i>		

3.2 Art



Die Hügelvolumen zwischen den Arten unterscheiden sich signifikant auf dem 5% Niveau ($p=0.0137$). Die Art *F. polyctena* weist dabei mit durchschnittlich 0.88m^3 die grösseren Hügelvolumen und somit die stärkeren Kolonien als *F. rufa* mit durchschnittlich 0.54m^3 auf (siehe Abbildung 2). Gesamthaft wurden 166 Hügel aufgenommen, wovon 50 der Art *F. polyctena* und 116 der Art *F. rufa* angehören.

Abbildung 2: Balkendiagramm mit Fehlerbalken zu den unterschiedlichen Hügelvolumen zwischen den Arten. Die Buchstaben a und b deuten auf einen signifikanten Unterschied hin.

3.3 Gebiet

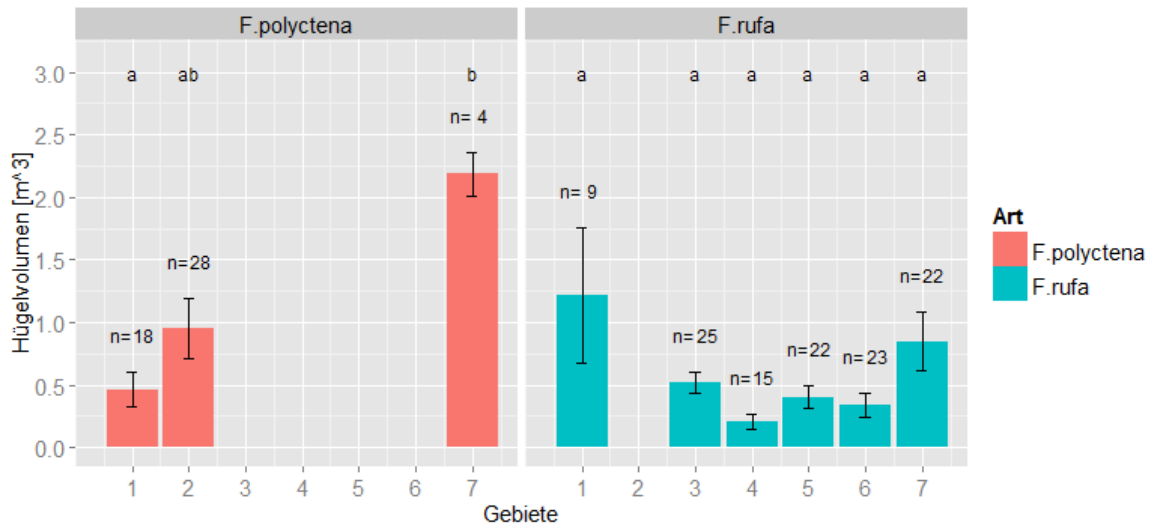


Abbildung 3: Balkendigramm der durchschnittlichen Hügelvolumen mit Fehlerbalken und Anzahl Hügel pro Gebiet. Unterschiedliche Buchstaben deuten auf einen signifikanten Unterschied zwischen den Kategorien hin. Gleiche Buchstaben bedeuten, dass sich die Kategorien nicht signifikant unterscheiden. Unterschiede zwischen den Gebieten wurden nur innerhalb der Arten untersucht.

Die 166 Hügel verteilen sich auf sieben Gebiete in den Gemeinden Escholzmatt (1, 2), Fluehli (3, 4, 5, 6) und Entlebuch (7) (siehe Abbildung 1 im Kapitel Datenerhebung). Mit Ausnahme von *Gebiet 4* mit 15 Hügeln konnten in allen Gebieten zwischen 22 und 28 Hügel aufgenommen werden. Die 50 Hügel der Art *F. polyctena* kamen in drei Gebieten vor. Während vier davon in *Gebiet 7* erfasst wurden, machen sie in *Gebiet 1* zweidrittel aller erfassten Haufen aus und in *Gebiet 2* die Gesamtheit. Dagegen wurden in den Gebieten 3, 4, 5 und 6 nur Ameisen der Art *F. rufa* identifiziert (siehe Abbildung 3).

Bei der Art *F. polyctena* konnte gezeigt werden, dass *Gebiet 7* signifikant grössere Hügelvolumen ($p=0.009$) aufweist als *Gebiet 1*. *Gebiet 2*, welches sich auf die Volumen bezogen dazwischen befindet, zeigt keine signifikanten Unterschiede zu den anderen Gebieten. Innerhalb der *F. rufa* konnten keine signifikanten Unterschiede nach Gebiet ermittelt werden.

In Tabelle 2 ist eine statistische Übersicht der Hügelvolumen beider Arten in den verschiedenen Gebieten aufgelistet. Es fällt auf, dass sich die aufsummierten Hügelvolumen pro Gebiet stark unterscheiden. Die Gebiete mit *F. polyctena* weisen dabei die grössten Gesamthügelvolumen auf. Grosse Unterschiede treten auch zwischen den kleinsten und den grössten Hügeln auf. Bei einem Vergleich der Mittelwerte mit den Medianen fällt auf, dass die Mittelwerte oft fast den doppelten Wert haben. Daran kann erkannt werden, dass die Hügelvolumen exponentiell verteilt sind, was für die Auswertung eine log-Transformation notwendig macht.

Tabelle 2: Volumenstatistik aller Ameisenhügel zu den einzelnen Gebieten

Gebiet	1	2	3	4	5	6	7
Gesamthügelvolumen im Gebiet in [m³]	19	27	13	3	9	8	27
Durchschnittliches Hügelvolumen in [m³]	0.72	0.95	0,52	0.21	0.4	0.34	1.05
Median der Hügelvolumen in [m³]	0.34	0.53	0.47	0.14	0.28	0.17	0.56
Grösster Hügel in [m³]	4.46	6.59	1.32	0.74	1.16	1.84	3.46
Kleinster Hügel in [m³]	0.006	0.012	0.011	0.002	0.007	0.003	0.01

3.4 Ausrichtung

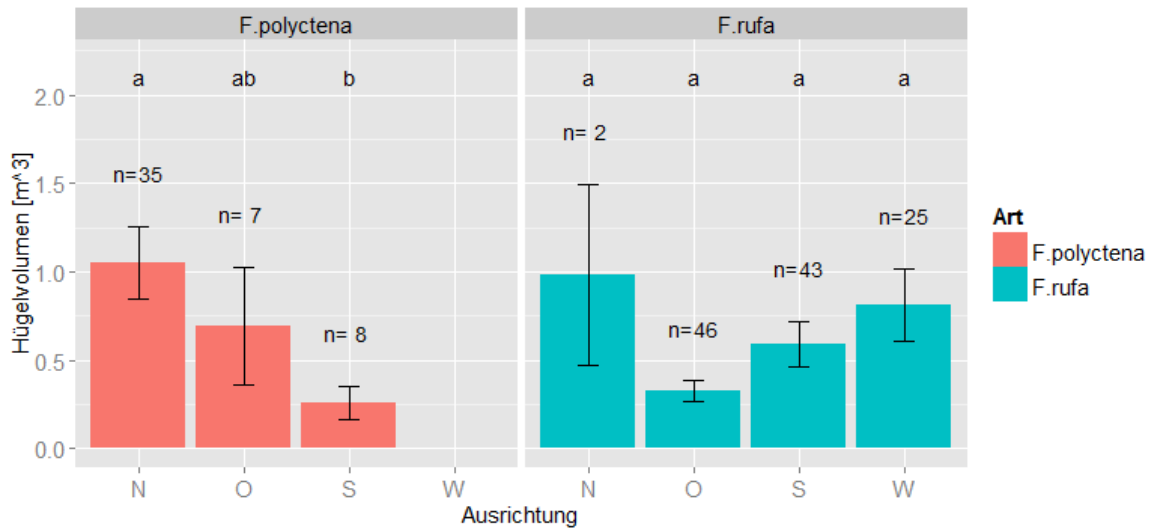


Abbildung 4: Die Hügelvolumen sind artgetrennt je nach Ausrichtung des Hangs dargestellt. Im Balkendiagramm sind Fehlerbalken, Anzahl Ameisenhügel sowie signifikante Unterschiede zwischen den Kategorien innerhalb der Arten mit Buchstaben vermerkt.

Bei der Art *F. polyctena* konnte zwischen der Ausrichtung Nord und Süd ein signifikanter Unterschied ($p=0.032$) gezeigt werden. An Hängen mit einer Ausrichtung nach Norden hatten die Ameisenhügel durchschnittlich etwa das vierfache Volumen gegenüber den Hügeln mit Südausrichtung. Die Volumen der Ameisenhügel mit Ostausrichtung lagen etwa in der Mitte zwischen Nord und Süd. An Westhängen wurde die Art *F. polyctena* nicht gefunden (siehe Abbildung 4).

Bei der Art *F. rufa* wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Hangausrichtungen erkannt. Die Hügel waren jedoch an Südhängen mit einem p-Wert von 0.073 nur knapp nicht signifikant grösser als die Ameisenhügel an Hängen mit einer Ostausrichtung. Die durchschnittlichen Hügelvolumen waren bei einer Ostausrichtung am kleinsten, erreichten bei Südausrichtung fast den doppelten Wert und bei Westausrichtung waren sie nochmals um ca. 0.2m^3 grösser. Auf das Hügelvolumen bei Nordausrichtung wird nicht weiter eingegangen, da sich dieses nur aus zwei Hügeln zusammensetzt.

3.5 Neigung

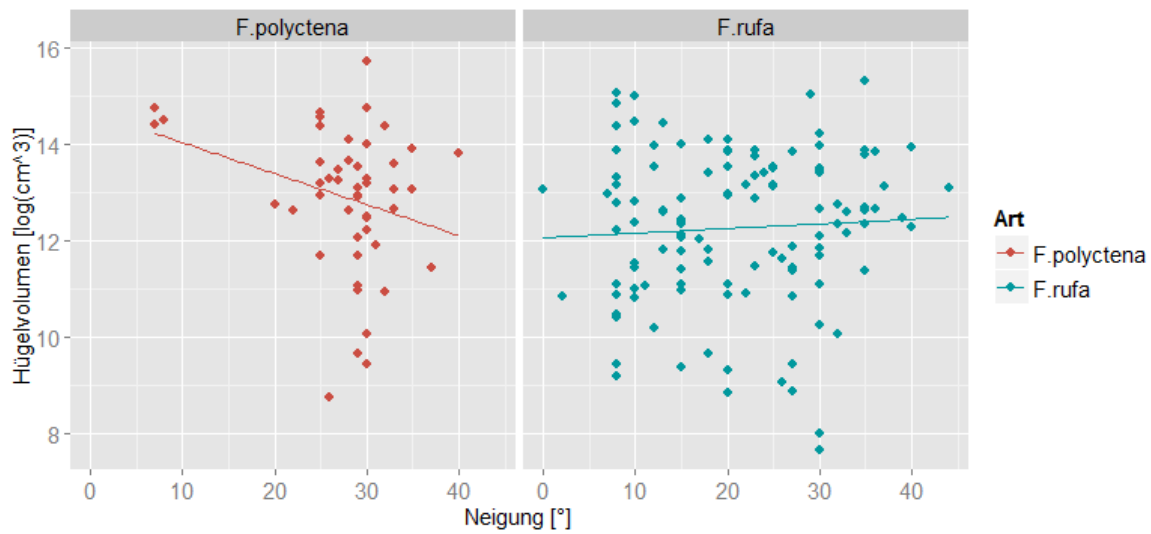


Abbildung 5: Diese Grafik zeigt die Volumen der einzelnen Ameisenhögel in Abhängigkeit der Hangneigung. Die Punktwolken sind mit Regressionsgeraden versehen und sind in der Einheit cm^3 auf logarithmischer Skala dargestellt.

Die Abbildung 5 zeigt auf, dass die Ameisenhögel der Art *F. polyctena* mit $p=0.035$ eine signifikante Abnahme der Hügelvolumen mit zunehmender Hangneigung aufweisen. Für die Art *F. rufa* hingegen zeigt sich an steileren Hängen tendenziell eine leichte Zunahme der Hügelvolumen. Jedoch konnte kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden.

3.6 Höhe über Meer

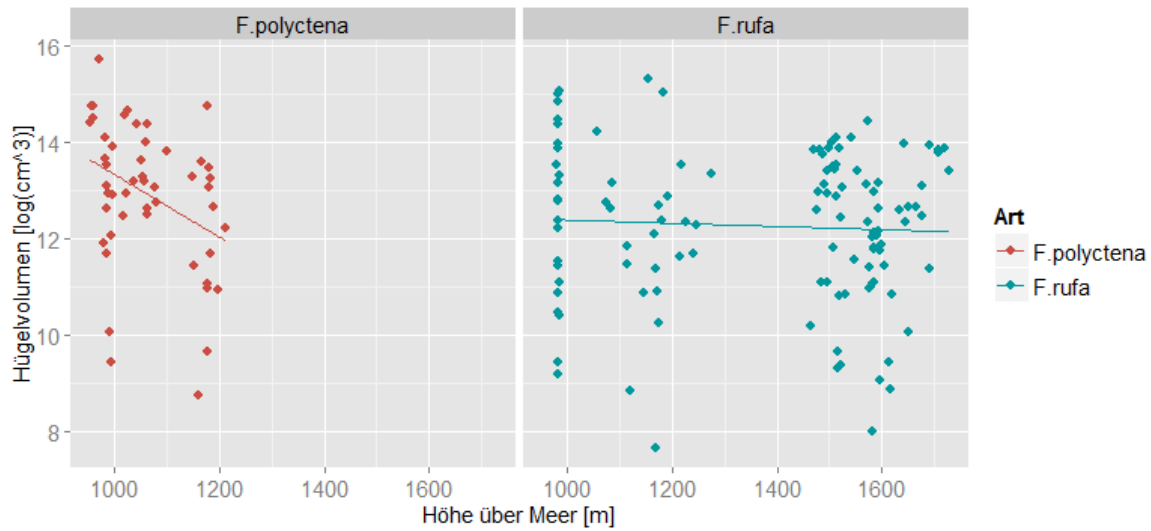


Abbildung 6: Die Regressionsgeraden zeigen den Zusammenhang der Hügelvolumen und der Höhe über Meer. Zur besseren Übersicht wurden die Volumina in cm³ auf logarithmischer Skala dargestellt.

Mit einem p-Wert von 0.009 zeigt die Grafik für die Art *F. polyctena* einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen Hügelvolumen und der Höhe über Meer. Das heisst, dass bei dieser Art mit zunehmender Höhe kleinere Hügel gebaut wurden. (siehe Abbildung 6).

Für die Art *F. rufa* konnte kein signifikanter Zusammenhang mit der Höhe über Meer gezeigt werden. Doch auch bei dieser Art zeigt sich eine Tendenz zu einer negativen Korrelation.

3.7 Hauptgesellschaft

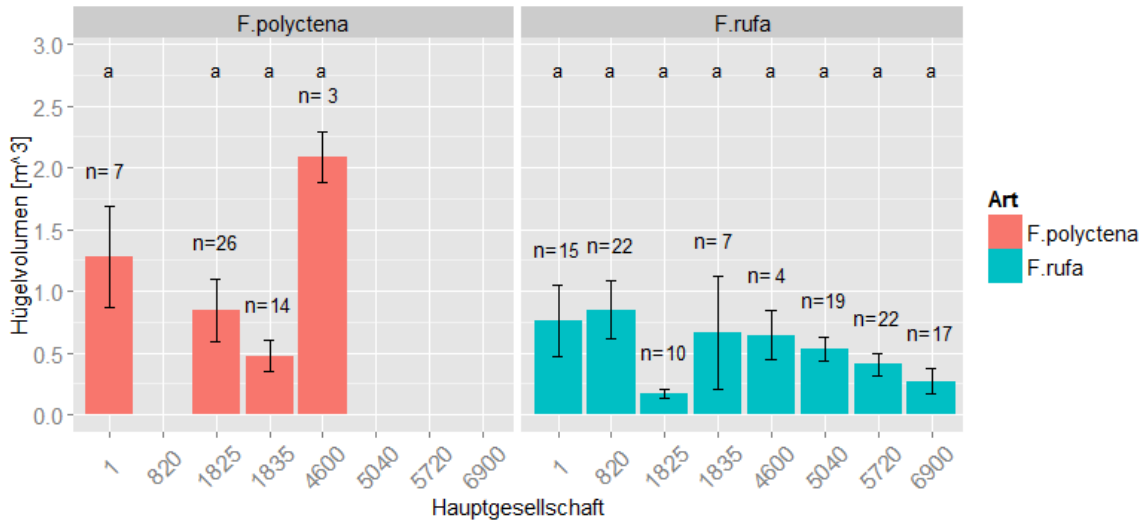


Abbildung 7: Die Grafik zeigt die durchschnittlichen Hügelvolumen der artgetrennten Ameisenhögel pro Hauptgesellschaft. Das Balkendiagramm ist mit Fehlerbalken und Anzahl Hügel pro Gebiet versehen. Die gleichen Buchstaben deuten darauf hin, dass sich die Kategorien nicht signifikant unterscheiden.

Die erfassten Hügel befanden sich in insgesamt 21 verschiedenen Hauptgesellschaften. Diese geben an, wie sich die Hauptvegetation des Waldes zusammensetzt. Oftmals waren die Hauptgesellschaften aber nur durch ein oder zwei Hügel vertreten, weshalb sie in der Kategorie 1 zusammengefasst wurden.

Bei der Art *F. polyctena* gibt es mit $p=0.062$ nur knapp keinen signifikanten Unterschied zwischen 4600 - typischer Heidelbeer-Fichten-Tannenwald und der Kategorie 1835 - typischer Tannen-Buchenwald. Bei *F. rufa* konnten keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden (siehe Abbildung 7).

3.8 Bodenverdichtungsrisiko

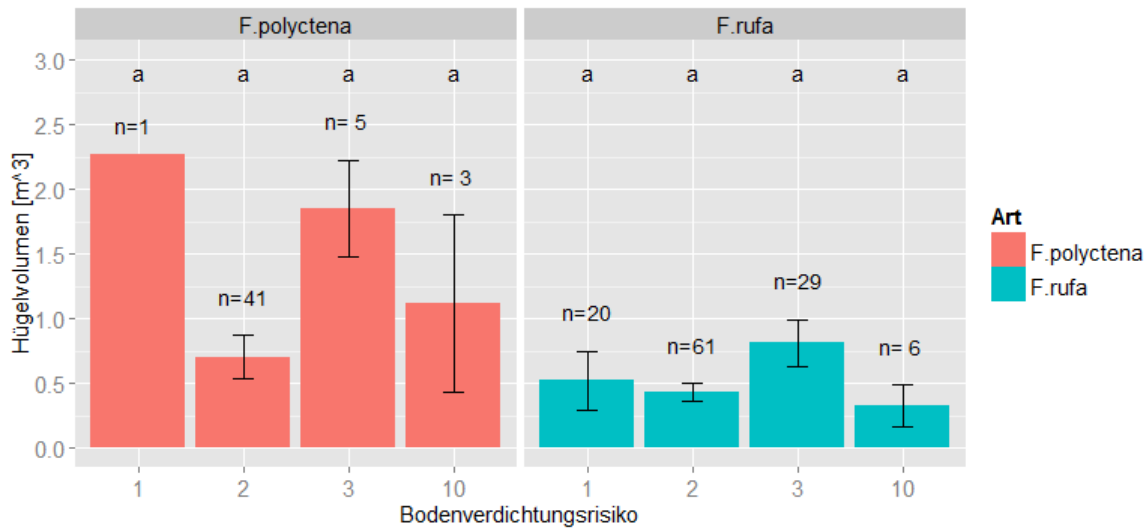


Abbildung 8: In dieser Grafik sind die Hügelvolumen je nach Verdichtungsrisiko der Böden dargestellt. Das Verdichtungsrisiko nimmt dabei mit steigender Zahl zu. Die Daten sind nach Arten getrennt, mit Fehlerbalken und Anzahl Ameisenhügel versehen. Die gleichen Buchstaben deuten darauf hin, dass sich die Kategorien innerhalb der Arten nicht signifikant unterscheiden.

Innerhalb der Arten konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kategorien gezeigt werden. Jedoch gibt es bei *F. polyctena* zwischen der Kategorie 2 - mittleres Verdichtungsrisiko und 3 - hohes Verdichtungsrisiko mit $p=0.086$ nur knapp keine Signifikanz. Bei *F. rufa* traten die durchschnittlich grössten Hügelvolumen in der Kategorie 3 - hohes Verdichtungsrisiko auf (siehe Abbildung 8).

3.9 Mischungsgrad

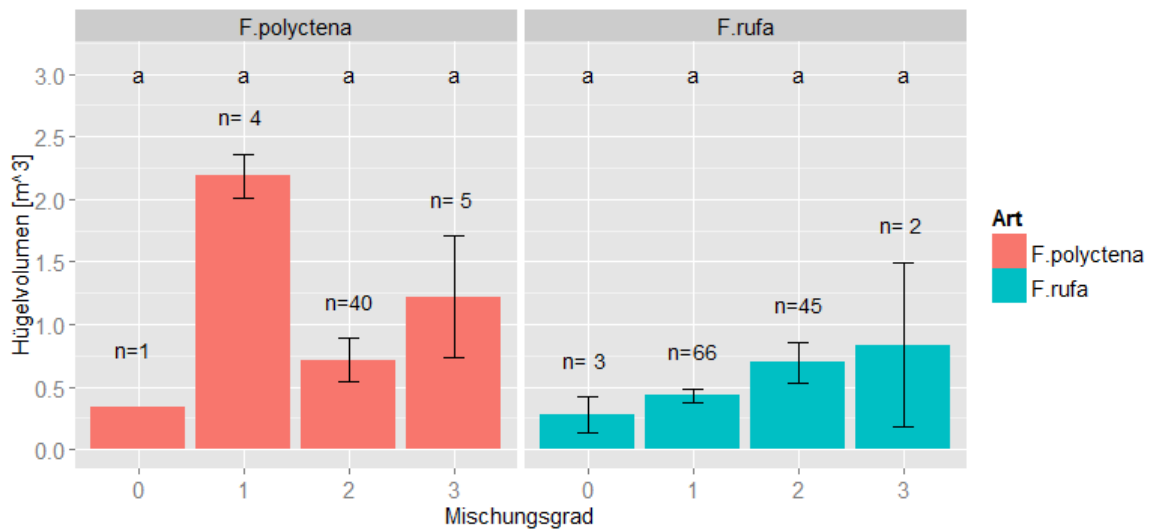


Abbildung 9: Abhängigkeit der Hügelvolumen vom Mischungsgrad von Nadel- und Laubwald. Der Anteil Laubbäume nimmt jeweils von Kategorie 1 zu 3 zu. In Kategorie 0 wurde keine Angabe zum Mischungsgrad gemacht. Im Balkendiagramm sind die Fehlerbalken, Anzahl Hügel pro Kategorie und Buchstaben, welche eine Signifikanz anzeigen aufgeführt.

Mit $p=0.059$ besteht bei *F. polyctena* nur knapp kein signifikanter Unterschied zwischen den Kategorien 1 - *Nadel rein* und 2 - *Nadel gemischt*. Bei *F. rufa* zeigt sich eine Tendenz zu durchschnittlich grösseren Hügelvolumen mit zunehmendem Anteil Laubbäume (siehe Abbildung 9).

3.10 Schlussgrad

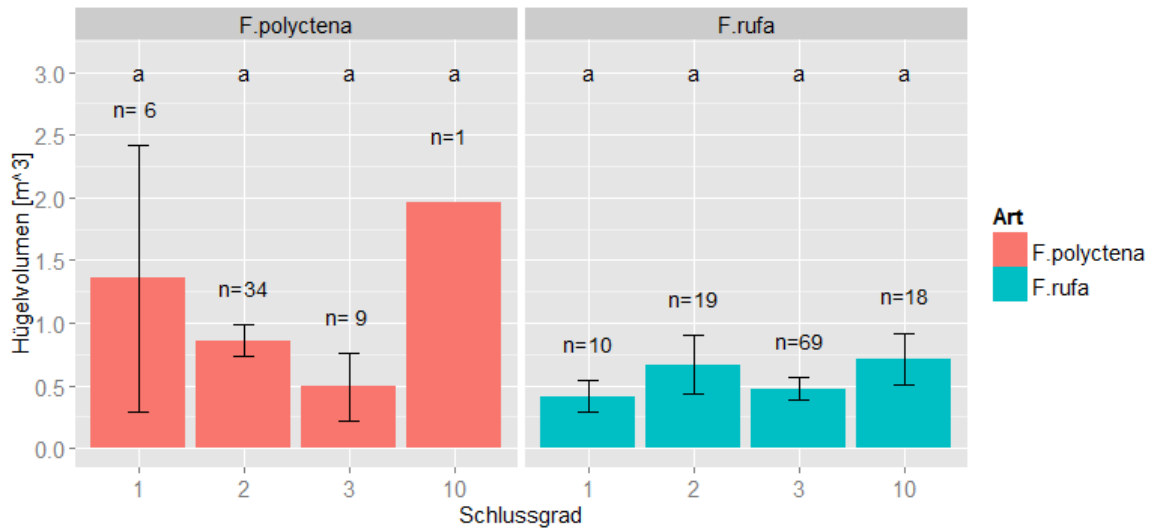


Abbildung 10: Diese Grafik stellt den Schlussgrad des Waldes mit dem Hügelvolumen der Waldameisen in Verbindung. Der Schlussgrad ist ein Mass für die Bestandesdichte des Waldes. Diese nimmt von 1 nach 3 ab. In der Grafik sind zudem die Anzahl Ameisenhügel pro Kategorie, Fehlerbalken sowie Buchstaben zur signifikanten Unterscheidung der Kategorien angegeben.

Innerhalb der Arten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bei *F. polyctena* nimmt das Hügelvolumen tendenziell mit abnehmendem Schlussgrad ab. Kategorie 10 mit nur einem Hügel soll nicht weiter beachtet werden. Bei *F. rufa* lassen sich keine auffälligen Zusammenhänge erkennen (siehe Abbildung 10).

3.11 Entwicklungsstufe

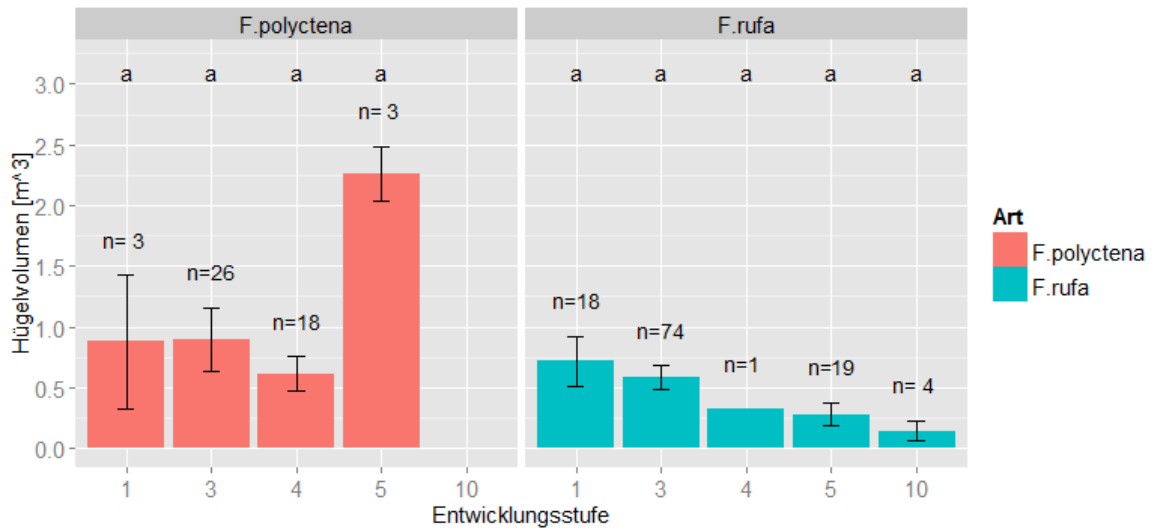


Abbildung 11: Die Grafik zeigt die Entwicklungsstufen des Waldes und die durchschnittlichen Hügelvolumen der darin vorkommenden Waldameisen. Je grösser dabei die Zahl der Kategorie, desto älter der Wald. Die Daten sind nach Art getrennt mit Fehlerbalken und Anzahl Hügel pro Kategorie dargestellt. Die gleichen Buchstaben deuten darauf hin, dass sich die Kategorien nicht signifikant unterscheiden.

Innerhalb der Arten konnten zwischen den Kategorien keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die durchschnittlich grössten Hügelvolumen bei *F. polyctena* wurden in Kategorie 5 - *gemischt Strukturiert/ Plenterwald* gemessen. Bei *F. rufa* lässt sich eine Tendenz zu geringeren Hügelvolumen mit zunehmender Entwicklungsstufe erkennen (Abbildung 11).

4 Diskussion

Im Anova-Modell wurden zehn Parameter auf ihre Auswirkungen auf die Vitalität untersucht. Neben der Art mit dem kleinsten p-Wert ($p=0.009$) konnten zwei weitere Parameter erfasst werden, welche einen signifikanten Einfluss auf das Hügelvolumen hatten. Einerseits ist das die Neigung mit einem p-Wert von 0.013, andererseits die Hauptgesellschaft mit einem p-Wert von 0.026. Nur knapp über der 5% Grenze befindet sich die Ausrichtung mit einem p-Wert von $p=0.051$. Die Wichtigkeit dieser Parameter wird bei der Betrachtung der R^2 Werte unterstrichen, welche angeben wieviel Prozent der Varianz der Hügelvolumen erklärt werden konnten. Mit dem gesamten Modell konnten 44% der Varianz der Hügelvolumen erklärt werden. Im Vergleich dazu kann in der Ökologie mit einer solchen Anzahl Parameter vermutlich kaum mehr als 50% einer Varianz erklärt werden. Die Parameter, welche davon den grössten Teil der Varianz erklären konnten, sind mit 11% die Hauptgesellschaft, mit 7% das Gebiet, mit 6% die Ausrichtung, mit 5% die Art und ebenfalls mit 5% die Neigung. Das sind mit einer Ausnahme (Gebiet) dieselben Parameter, welche auch von der Signifikanz her den grössten Einfluss hatten. Das heisst, dass die **Hauptgesellschaft**, die **Ausrichtung** und die **Neigung** eine wesentliche Auswirkung auf die Vitalität der Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch haben.

F.polyctena baut grössere Ameisenhögel als *F.rufa*. Darauf wurde in der Literatur bereits hingewiesen (siehe Gösswald 2012; Otto 2005). Als zentraler Baustein dieser Arbeit konnte diese Annahme nun auch für die UNESCO Biosphäre Entlebuch bestätigt werden. Mit einem durchschnittlichen Volumen von 0.88m^3 verfügte *F.polyctena* über signifikant grössere Ameisenhögel ($p=0.0137$) als *F.rufa* mit einem durchschnittlichen Volumen von 0.54m^3 . Dieses Ergebnis ist insbesondere deshalb wichtig, weil die Analysen der Parameter artgetrennt durchgeführt wurden. Die Auswirkungen der Parameter auf die Vitalität der Waldameisen, welche anhand der Hügelvolumen untersucht wurde, sollte nicht durch die bekannten Volumenunterschiede zwischen den Arten verzerrt werden.

Eine Analyse der Hügelvolumen innerhalb der Ausrichtung zeigt, dass die Vitalität von *F.polyctena* an Nordhängen signifikant grösser ist als an Südhängen. Ein solch explizites Resultat wurde in der Literatur nicht gefunden. Ambach (2009) schreibt jedoch, dass diese Art aufgrund der Stoffwechselwärme der Ameisen weniger abhängig von der Sonne ist, um ihre Nester zu erwärmen. Somit kann sie in dichteren und dunkleren Beständen (z.B. an Nordhängen) eine bessere Vitalität erreichen als beispielsweise *F.rufa* und ist vermutlich auch nicht besonders auf Südhänge angewiesen. Ähnliches schreiben auch Chen und Robinson (2014) für eine andere Art. Sie fanden heraus, dass die Ameisenhögel in schattigeren Gebieten mit kühleren und stabileren Bedingungen grösser waren als in offeneren Flächen. Sie betonen dabei insbesondere den Zusammenhang mit der Temperatur am Waldboden. Das heisst, die volkstärkere Art *F.polyctena* kann in ihren eher grösseren Högeln die Nestinnentemperatur selber konstant hoch halten und ist nicht auf die Wärmezufuhr durch die Sonne angewiesen. Eventuell wird diese Art durch die schwankenden Wärmeeinträge sogar gestört. Der Einfluss der Temperatur könnte also eine mögliche Erklärung sein, für die grössere Vitalität von *F.polyctena* an Nordhängen.

Wenn man davon ausgeht, dass mit zunehmender Neigung die Wälder eher lichter werden, könnte dies auch eine mögliche Erklärung für die signifikante Abnahme der Vitalität von *F.polyctena* mit zunehmender Neigung sein. Denn die Flächen werden mit zunehmendem Gefälle automatisch weniger dicht besiedelt, offener und können so auch für weniger stabile Temperaturen sorgen als beispielsweise ein flaches, abgeschirmtes Stück Wald. Das heisst, *F.polyctena* findet mit zunehmender Neigung immer weniger der schattigeren, kühleren Flächen mit stabilen Verhältnissen unter welchen sie am vitalsten ist. Der dritte als wichtig identifizierte Parameter, die Hauptgesellschaft kann mit 11% den grössten Teil der Varianz der Hügelvolumen erklären. Einen Hinweis auf diesen grossen Einfluss könnte Glaser (2006) liefern. Zwar hat er sich nicht mit Hügelvolumen sondern mit dem Vorkommen der Waldameisen beschäftigt, aber dennoch interessante Erkenntnisse geliefert.

Er weist darauf hin, dass warm-trockene Föhrenwälder eine der artenreichsten Ameisenlebensräume Mitteleuropas bilden. Zudem erwähnt er auch die eher feucht-kühlen Bestandsbedingungen in Laubwäldern. Das Mikroklima scheint also von gewisser Relevanz zu sein. Die Hauptgesellschaft hat vermutlich einen entscheidenden Effekt auf die Temperatur und das Mikroklima allgemein, was eine mögliche Erklärung für den grossen Einfluss sein könnte. Leider konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Hauptgesellschaften gezeigt werden. Auch in der Literatur sind spezifische Untersuchungen zur Auswirkung von Vegetationsgruppen auf die Ameisenhügelgrösse selten anzutreffen. Vermutlich liegt dies auch an der Komplexität dieses Parameters, welcher aber scheinbar von zentraler Bedeutung ist.

Ein weiteres signifikantes Resultat entstand bei der Auswertung der der Höhe über Meer. Die signifikante Abnahme der Vitalität von *F.polyctena* mit zunehmender Höhe kann vermutlich mit dem Verbreitungsgebiet dieser Waldameisenart erklärt werden. Denn in der Literatur wird eine Höhe von 1200m als Obergrenze der Verbreitung von *F.polyctena* beschrieben (Ambach 2009).

Im Gegensatz zu *F.polyctena* zeigt sich *F.rufa* in der Literatur an Südhängen mit grösserem Sonneneinfluss eher vitaler (Gösswald 2012, Kissling 1985). Dieser wichtige Unterschied zu *F.polyctena* ist aber in der Auswertung nicht deutlich aufgetreten. Für diese Art konnten kaum signifikante Resultate generiert werden. Einzig für die Neigung und die Ausrichtung verhielt sich diese Art tendenziell eher entgegengesetzt zu *F.polyctena*. Es wären möglicherweise weitere Parameter nötig, welche noch andere Eigenschaften der Umgebung abdecken, um allenfalls zu signifikanten Resultaten zu kommen. Es gilt auch zu berücksichtigen, dass mit dem Anova-Modell lediglich 44% der Varianz erklärt werden konnten. Somit muss es noch weitere Parameter geben, welche einen Einfluss auf die Vitalität der Waldameisen haben.

Sorvari und Hakkarainen (2005) haben beispielsweise gezeigt, dass Abholzung zu kleineren Hügeln und einer reduzierten Anzahl Nachkommen führt. Ebenso weisen Chen und Robinson (2014) darauf hin, dass auch die Nahrungsverfügbarkeit einen entscheidenden Einfluss auf das Hügelvolumen hat. Vermutlich gibt es noch viele weitere Parameter welche einen Einfluss auf die Vitalität haben.

An dieser Stelle soll ein einfacher Ansatz in Betracht gezogen werden, um in der ganzen Komplexität die Orientierung nicht zu verlieren. Welche Parameter alle einen entscheidenden Einfluss auf die Vitalität haben und welche Bedingungen gefördert werden sollten, kann hier nicht abschliessend gesagt werden. Doch der Ort an dem die Waldameisen eine grosse Vitalität aufweisen ist bekannt. Und zwar im Parameter Gebiet, welcher 7% der Varianz erklären konnte. Eine besonders interessante Zahl ist deshalb das Gesamthügelvolumen pro erfasstes Gebiet (siehe Tabelle 2 in Kapitel 3.3). Diese zeigt, dass sich die Gesamthügelvolumen oder Gesamtvitalität zwischen den Gebieten stark unterscheiden und dass die drei Gebiete in denen *F.polyctena* vorkommen die grössten Gesamtvolumen aufweisen. Würden diese Gebiete geschützt, könnte dies auch den Waldbesitzern dienen. Denn für den forstwirtschaftlichen Nutzen ist *F.polyctena* aufgrund ihres aggressiven Verhaltens und ihrer grossen Volksstärke die von den Ameisen wichtigste Art (Gösswald 2012).

Wie bei den meisten Feldstudien, gibt es auch bei dieser Arbeit Grenzen der Methode und der Genauigkeit. Diese sollen kurz erläutert werden. Bei allen Resultaten sollten mögliche Messfehler nicht vernachlässigt werden. Insbesondere die Identifizierung der Arten hat sich als sehr schwierig erwiesen. So konnte meist erst nach der Betrachtung von mehreren Individuen auf eine Art geschlossen werden. Dabei könnten auch Hybridformen eine entscheidende Rolle gespielt haben. Bei weiteren Parametern könnte es zudem zu Verzerrungen gekommen sein. Denn die Ameisenhögel fanden sich oftmals an den Waldrändern. Somit könnte es sein, dass z.B. der Schlussgrad bzw. die Lichtverhältnisse am unmittelbaren Standort der Högel (z.B. Sonniger Waldrand) nur schlecht durch den Schlussgrad der umliegenden Waldfläche (z.B. Dunkler, gedrängter Wald) widerspiegelt wird.

In möglichen weiteren Untersuchungen könnte zudem der Zeitfaktor entscheidende Erkenntnisse liefern. Im Umfang dieser Arbeit war es leider nicht möglich auf die Dynamik der Waldameisen einzugehen oder das Alter der Ameisenhögel zu bestimmen. So hat jedoch bereits Klimetzki (1981) festgestellt, dass die Volumen abhängig sind vom Alter der Ameisenhögel. Einen entscheidenden Beitrag um diesen Parameter zu berücksichtigen könnte sicher ein Monitoring leisten, welches Daten über einen längeren Zeitraum auswertet.

5 Schlussfolgerung

Es konnte gezeigt werden, dass die Parameter Hauptgesellschaft, Ausrichtung und Neigung einen wesentlichen Einfluss auf die Vitalität der Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch haben. Dabei hatten bei der Art *F.polyctena* besonders die Nordlage sowie eine eher geringe Neigung eine positive Wirkung auf die Vitalität. Ein wichtiger Zusammenhang zwischen diesen Parametern scheint dabei die Temperatur am Waldboden und das Mikroklima allgemein darzustellen. Gerade zwischen den vielfältigen Auswirkungen der Umgebung auf die Vitalität könnte die Temperatur und das Mikroklima ein Schlüsselement sein, um das ganze Wirkungsgefüge besser zu verstehen. Dazu ist sicherlich noch weitere Forschung nötig, auch um Schutzmassnahmen besser koordinieren zu können. Wahrscheinlich könnte man mit einem Monitoring über mehrere Jahre noch aussagekräftigere Daten zum Wohlergehen der Waldameisen erlangen und Störungen liessen sich schneller erkennen. Vorerst wird empfohlen sich darauf zu konzentrieren besonders die Gebiete mit hoher Gesamtvitalität vor menschlichen Eingriffen besser zu schützen.

Was kann in der UNESCO Biosphäre Entlebuch für die Waldameisen getan werden?

Nach heutigem Wissensstand sind künstliche Ablegerbildungen als Schutzmassnahme meist nicht zielführend und werden heute nicht mehr empfohlen. Die von Karl Gösswald gegründete Deutsche Ameisenschutzware etwa konzentriert sich auf die Kartierung der Neststandorte, Notumsiedlungen und Öffentlichkeitsarbeit. Dies beinhaltet u.a. auch die Einflussnahme auf die Forstwirtschaft und die Durchsetzung des gültigen Natur- und Artenschutzes in der Schweiz (Gösswald 2012; Otto 2005; Ambach 2009).

In erster Linie stellen die Menschen für die Waldameisen sowohl bei der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung als auch im Freizeitverhalten die grösste Gefährdung dar. Deshalb kann schon eine kleine Massnahme grosse Auswirkungen haben, wie Andreas Schnider (2014) eindrücklich demonstrierte. Eine geringfügige Umleitung eines Wanderweges welcher direkt an einem Ameisenhaufen vorbeiführte konnte zu einer Erholung und einem kräftigem Wachstum der Kolonie beitragen. Die Kenntnis der Situation in den einzelnen Gebieten ist von grösster Bedeutung.

Als erste Massnahme wird empfohlen das Gebiet 7 nördlich von Rengg zu schützen. Dort befinden sich auf kleinem Raum sehr viele Ameisenhaufen entlang eines Waldrandes. Dieser grenzt direkt an ein landwirtschaftlich genutztes Feld. Die zu dicht an den Waldrand geführte Mahd hat mehrere Ameisenhügel zerstört. Hier ist dringend zusammen mit dem Landbewirtschafter eine Ausscheidung einer Teilfläche zu Gunsten der Ameisenentwicklung vorzunehmen.

6 Danksagung

Herzlichen Dank an:

Den **Verein Freunde Biosphäre Entlebuch** welcher uns finanziell unterstützt hat,

meinem Betreuer **Florian Knaus** für eine starke Unterstützung bei der Projektplanung, dem Testen der Vorgehensweise im Feld bei stürmischen Wetterbedingungen und ergiebigen Feedbacks zur schriftlichen Ausarbeitung,

Sarah Salvini-Brugger für Ihre kompetente Beratung im Umgang mit ArcGIS,

Claude Renaux von der statistischen Beratung der ETH für seine spontane Hilfe,

dem **Kanton Luzern** für das zur Verfügung stellen der Geoprodukte,

Andreas Schnider für seine Zeit im Feld und seine lokalen Fachkenntnisse,

Mélanie Siegrist und **Daniel Gross** für ihre wertvollen Kommentare beim Korrekturlesen

sowie meinen Kommilitonen **Manja Künzli** und **David Müller**, welche mit viel Humor und Engagement für eine unvergessliche Zeit während der Datenerfassung dieser Bachelorarbeit sorgten.

7 Quellenverzeichnis

- Ambach, J. (2009). "Hügelbauende Waldameisen (Formica rufa-Gruppe) Ein aktueller Überblick." Denisia 25
- BUWAL (1994). Rote Listen der gefährdeten Tierarten in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft 45-47.
- Chen Y-H, Robinson EJH (2014) The Relationship between Canopy Cover and Colony Size of the Wood Ant Formica lugubris - Implications for the Thermal Effects on a Keystone Ant Species. PLoS ONE 9(12): e116113. doi:10.1371/journal.pone.0116113
- Chen Y-H, Robinson EJH (2013). "A comparison of mark–release–recapture methods for estimating colony size in the wood ant Formica lugubris." Insectes Sociaux 60(3): 351-359.
- Ellenberg, H. and F. Klötzli (1972). Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz, Mitteilungen EAFV 48: 587-930.
- Freitag A., D. C. e. C. D. (2008). "Formica pratensis (Hyménoptères: Formicidae) dans le canton de Vaud: état des peuplements et importance des talus de routes comme milieu de substitution." Bull. Soc. vaud Sc.nat 91.1: 47-68.
- Glaser, F. (2006). Waldameisenmonitoring im Rahmen der Verjüngungs-Zustands-Inventur im Tiroler Wald. Umweltschutz, Tiroler Landesregierung.
- Gösswald, K. (2012). Die Waldameise. Biologie, Ökologie und forstliche Nutzung 1. Auflage, gekürzte Sonderausgabe in einem Band. Wiebelsheim, Deutschland, Aula Verlag.
- Kissling, E. M. (1985). "Untersuchungen über die Biotopansprüche und einen allfälligen Rückgang der roten Waldameisen aus der Formica rufa-Gruppe in der Schweiz."
- Klimetzek, D. (1981). "Population studies on hill building wood-ants of the Formica rufa-Group" Oecologia 48, pp. 418–421
- Künzli, M. (2015). "Beurteilung der Neststandorte der Roten Waldameisen anhand von Vegetationsaufnahmen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch."
- Marti, U. (2005). Näherungslösung für die direkte Transformation CH1903 <--> WGS84. B. f. L. Swisstopo.
- Müller, D. (2015). "Untersuchungen zu den Lichtverhältnissen und Hügelvolumen von Ameisenhügeln der Arten Formica rufa L. und Formica polyctena F. in der UNESCO Biosphäre Entlebuch."
- NHV (1966). Verordnung über den Natur und Heimatschutz BG. SR 451.1
- Otto, D. (2005). Die Roten Waldameisen. (3., überarbeitete und erweiterte Auflage.), Westarp Wissenschaften.
- Schnider, A. (2014). Gespräch mit einem lokalen Fachmann zur Situation der Waldameisen im Entlebuch durch Gross S., Künzli M. und Müller D.

Seifert, Bernhard. (2007). "Die Ameisen Mittel- und Nordeuropas." Tauer/ Gorlitz, Lutra Verlags- und Vertriebsgemeinschaft

Social Insects Specialist Group (1996). *Formica rufa*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 07 February 2015

Sorvari, J. & Hakkarainen, H. (2005). "Deforestation reduces nest mound size and decreases the production of sexual offspring in the wood ant *Formica aquilonia*." Ann. Zool. Fennici 42: 259-267

8 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ÜBERSICHTSKARTE DER ERFASSTEN GEBIETE	5
ABBILDUNG 2: BALKENDIAGRAMM MIT FEHLERBALKEN ZU DEN UNTERSCHIEDLICHEN HÜGELVOLUMEN ZWISCHEN DEN ARTEN. DIE BUCHSTABEN A UND B DEUTEN AUF EINEN SIGNIFIKANTEN UNTERSCHIED HIN.	11
ABBILDUNG 3: BALKENDIAGRAMM DER DURCHSCHNITTLICHEN HÜGELVOLUMEN MIT FEHLERBALKEN UND ANZAHL HÜGEL PRO GEBIET. DIE UNTERSCHIEDLICHEN BUCHSTABEN DEUTEN AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN KATEGORIEN HIN. UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN GEBIETEN WURDEN NUR INNERHALB DER ARTEN UNTERSUCHT.	12
ABBILDUNG 4: DIE HÜGELVOLUMEN SIND ARTGETRENNT JE NACH AUSRICHTUNG DES HANGS DARGESTELLT. IM BALKENDIAGRAMM SIND FEHLERBALKEN, ANZAHL AMEISENHÜGEL SOWIE SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN KATEGORIEN INNERHALB DER ARTEN MIT BUCHSTABEN VERMERKT.	13
ABBILDUNG 5: DIESE GRAFIK ZEIGT DIE VOLUMEN DER EINZELNEN AMEISENHÜGEL IN ABHÄNGIGKEIT DER HANGNEIGUNG. DIE PUNKTWOLKEN SIND MIT REGRESSIONSGERADEN VERSEHEN UND SIND IN DER EINHEIT cm^3 AUF LOGARITHMISCHER SKALA DARGESTELLT.	14
ABBILDUNG 6: REGRESSIONSGERADEN ZEIGEN DEN ZUSAMMENHANG DER HÜGELVOLUMEN UND DER HÖHE ÜBER MEER. ZUR BESSEREN ÜBERSICHT WURDEN DIE VOLUMEN IN cm^3 AUF LOGARITHMISCHER SKALA DARGESTELLT.	15
ABBILDUNG 7: DIE GRAFIK ZEIGT DIE DURCHSCHNITTLICHEN HÜGELVOLUMEN DER ARTGETRENNTEN AMEISENHÜGEL PRO HAUPTGESELLSCHAFT. DAS BALKENDIAGRAMM IST MIT FEHLERBALKEN UND ANZAHL HÜGEL PRO GEBIET VERSEHEN. DIE GLEICHEN BUCHSTABEN DEUTEN DARAUF HIN, DASS SICH DIE KATEGORIEN NICHT SIGNIFIKANT UNTERSCHIEDEN.	16
ABBILDUNG 8: IN DIESER GRAFIK SIND DIE HÜGELVOLUMEN JE NACH VERDICHTUNGSRISIKO DER BÖDEN DARGESTELLT. DAS VERDICHTUNGSRISIKO NIMMT DABEI MIT STEIGENDER ZAHL ZU. DIE DATEN SIND NACH ARTEN GETRENNT, MIT FEHLERBALKEN UND ANZAHL AMEISENHÜGEL VERSEHEN. DIE GLEICHEN BUCHSTABEN DEUTEN DARAUF HIN, DASS SICH DIE KATEGORIEN INNERHALB DER ARTEN NICHT SIGNIFIKANT UNTERSCHIEDEN.	17
ABBILDUNG 9: ABHÄNGIGKEIT DER HÜGELVOLUMEN VOM MISCUNGSGRAD VON NADEL- UND LAUBWALD. DER ANTEIL LAUBBÄUME NIMMT JEWEILS VON KATEGORIE 1 ZU 3 ZU. IN KATEGORIE 0 WURDE KEINE ANGABE ZUM MISCUNGSGRAD GEMACHT. IM BALKENDIAGRAMM SIND DIE FEHLERBALKEN, ANZAHL HÜGEL PRO KATEGORIE UND BUCHSTABEN, WELCHE EINE SIGNIFIKANZ ANZEIGEN AUFGEFÜHRT.	18
ABBILDUNG 10: DIESE GRAFIK STELLT DEN SCHLUSSGRAD DES WALDES MIT DEM HÜGELVOLUMEN DER WALDAMEISEN IN VERBINDUNG. DER SCHLUSSGRAD IST EIN MASS FÜR DIE BESTANDESDICHTE DES WALDES. DIESE NIMMT VON 1 NACH 3 AB. IN DER GRAFIK SIND ZUDEM DIE ANZAHL AMEISENHÜGEL PRO KATEGORIE, FEHLERBALKEN SOWIE BUCHSTABEN ZUR SIGNIFIKANTEN UNTERSCHIEDUNG DER KATEGORIEN ANGEGBEN.	19
ABBILDUNG 11: DIE GRAFIK ZEIGT DIE ENTWICKLUNGSSTUFEN DES WALDES UND DIE DURCHSCHNITTLICHEN HÜGELVOLUMEN DER DARIN VORKOMMENDEN WALDAMEISEN. JE GRÖßER DABEI DIE ZAHL DER KATEGORIE, DESTO ÄLTER DER WALD. DIE DATEN SIND NACH ART GETRENNT MIT FEHLERBALKEN UND ANZAHL HÜGEL PRO KATEGORIE DARGESTELLT. DIE BUCHSTABEN DEUTEN AUF EINE SIGNIFIKANZ.	20