

Untersuchung zu den Lichtverhältnissen und Hügelvolumen von
Ameisenhöfen der Arten *Formica rufa* L. und *Formica polyctena* F.
in der UNESCO Biosphäre Entlebuch

Bachelorarbeit am Departement Umweltsystemwissenschaften
ETH Zürich



David Müller

Eingereicht bei: Florian Knaus

Zürich, Februar 2015

David Müller
Lilienweg 44
3098 Köniz
muellerd@student.ethz.ch

Titelfoto – Ameisenhügel in der Nähe von Rengg. Aufgenommen während den Felderhebungen durch Simon Gross (Juli 2014)

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wird der Einfluss verschiedener ökologischer Faktoren auf die Vitalität von Ameisenvölkern beziehungsweise die Populationsgrösse der Arten *Formica rufa* und *Formica polyctena* in der UNESCO Biosphäre Entlebuch untersucht. Speziell beachtet werden die Lichtverhältnisse unter denen die Hügel vorkommen. Dazu wurden Bilder einer Kamera mit einem Fischaugenobjektiv aufgenommen und mit dem Programm Hemisfer ausgewertet. Diese Methode zur Lichtmessung wurde in diesem Fachgebiet erstmals angewendet.

Die Analysen haben gezeigt, dass ein signifikanter Einfluss der Lichtverhältnisse auf die Haufengrösse besteht. So sind an schattigeren Standorten grössere Hügel anzutreffen als an sehr sonnigen. Am Standort Wiese (als hellster Standort) sind die kleinsten Hügel gemessen worden. Die Unterschiede zwischen den restlichen Standorten (Wald, Waldrand und Wegrand) sind geringer. Haufen der *F. rufa* kommen an sonnigeren Standorten vor als solche der *F. polyctena* und letztere haben durchschnittlich grössere Hügel.

Um die Waldameisen im Gebiet der UNESCO Biosphäre Entlebuch zu fördern gilt es die unterschiedlichen Bedürfnisse der beiden Arten bezüglich des Lichts zu berücksichtigen. Es konnte jedoch kein klar umrissener Optimalstandort ermittelt werden. Im Einzelfall kann es aber Sinn machen, einen einzelnen Baum zu entfernen, um einen Standort wieder etwas aufzuhellen. Weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Situation sind Ablegerbildung aus bestehenden Kolonien in noch nicht besiedeltem Gebiet oder die Reduktion von negativen Einflüssen des Menschen auf bereits bestehende Hügel.

Danksagung

Gerne bedanke ich mich an dieser Stelle bei den Personen, die mich beim Erarbeiten und Verfassen dieser Arbeit unterstützt haben:

Florian Knaus für die fachliche Unterstützung und die unkomplizierte Art, das Konzept für die Felderhebung zu erarbeiten, sowie die Tipps, welche mir beim Schreiben der Arbeit geholfen haben.

Simon Gross und **Manja Künzli**, die während den Feldarbeiten sehr angenehme Partner waren, mit denen ich immer lösungsorientiert und in guter Stimmung zusammenarbeiten konnte.

Carmen Rovina, die mich bei der Auswertung der Fischaugenfotos mit Hemisfer sehr unterstützt hat und auch später bei Fragen stets unkompliziert bereit war, mir zu helfen.

Magdalena Nötzli für die Erklärungen und unkomplizierte Hilfe mit der Kamera, ohne die ich die Arbeit nicht in dieser Form hätte durchführen können.

Dem **Verein Freunde der Biosphäre Entlebuch** für die finanzielle Unterstützung, wodurch die Felderhebungen erst möglich gemacht wurden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Anstoss zu dieser Arbeit.....	1
1.2 Stand der Forschung.....	1
1.3 Ziel der Arbeit und Fragestellungen.....	2
2. Methode und Materialien.....	3
2.1 Untersuchte Arten.....	3
2.2 Untersuchtes Gebiet.....	3
2.3 Datenerhebung.....	4
2.4 Konfigurationen im Hemisfer.....	6
2.5 Statistische Auswertung.....	9
3. Resultate.....	10
3.1 Anzahl Ameisenhügel.....	10
3.2 Sonnenscheindauer.....	10
3.3 Direkte, effektive Sonneneinstrahlung.....	13
3.4 Hügelvolumen.....	15
4. Diskussion.....	20
4.1 Standort.....	20
4.2 Art.....	20
4.3 Verlassene Haufen.....	21
4.4 Gebiet.....	21
4.5 Einfluss der Sonne.....	22
4.6 Weitere Beobachtungen.....	22
4.7 Weiterführende Untersuchungen.....	23
5. Schlussfolgerungen.....	24
5.1 Einfluss der Lichtverhältnisse auf die Vitalität der Ameisenvölker.....	24
5.2 Einfluss der Lichtverhältnisse auf das Vorkommen der Arten <i>F. rufa</i> und <i>F. polyctena</i>	24
5.3 Mögliche Massnahmen zur Verbesserung der Situation der Waldameisen in der UBE.....	24
5.4 Reflektion der Methode zur Messung der Lichtverhältnisse mit hemisphärischen Bildern.....	25
6. Literaturverzeichnis.....	26

7. Anhang.....	28
I. Karten der Gebiete.....	28
II. Resultate: Anzahl Sonnenminuten.....	30
III. Resultate: Direkte, effektive Sonneneinstrahlung.....	32
IV. Resultate: Hügelvolumen.....	33
V. Grafiken: Beziehung zwischen Hügelvolumen und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung	34
VI. Impressionen.....	36

1. Einleitung

1.1. Anstoss zu dieser Arbeit

Initiiert wurde die Arbeit durch Herrn Andreas Schnider, der sich in seiner Freizeit stark für die Ameisen im Entlebuch engagiert. Als dieser bei der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) nachgefragt hat, ob er etwas zur Verbesserung der Bedingungen der Ameisen machen könnte, merkte man, dass die Datengrundlage fehlt, um zu entscheiden, ob dies tatsächlich nötig ist. Ausserdem war nicht klar, in welcher Form diese Verbesserungen am sinnvollsten wären. In der Folge wurden an der ETH Zürich drei Bachelorarbeiten ausgeschrieben, in denen verschiedene ökologische Faktoren auf deren Einfluss auf die Vitalität von Ameisenstaaten untersucht werden. Simon Gross befasst sich mit der allgemeinen Lage (Höhe, Neigung und Ausrichtung), dem Bodenverdichtungsrisiko sowie Daten zum Wald (Hauptgesellschaft, Mischungsgrad, Entwicklungsstufe und Schlussgrad). Manja Künzli legt den Fokus besonders auf die Vegetation, die die Ameisenhügel umgibt und die daraus ermittelten Zeigerwerte. In dieser Arbeit werden die Lichtverhältnisse, unter denen Ameisenhügel gefunden wurden, beleuchtet.

1.2. Stand der Forschung

Gesamthaft sind in der Schweiz 132 Ameisenarten aufgenommen worden, davon sind 41 in die „Rote Liste der gefährdeten Tierarten in der Schweiz“ eingetragen und als gefährdet eingestuft worden (BUWAL 1994). Die in dieser Arbeit untersuchten Arten *Formica rufa* Linnaeus (Grosse Rote Waldameise) und *F. polyctena* Förster (Kleine Rote Waldameise) sind hügelbauende, als potentiell gefährdet eingestufte Ameisen (BUWAL 1994). Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese aktuellste Erhebung bereits ungefähr 20 Jahre zurückliegt. Es ist jedoch wichtig, neuere Erkenntnisse über die Entwicklung zu erhalten, da die Nester der Ameisen standortgebunden sind und somit besonders anfällig auf Störungen oder Veränderungen des Lebensraums sind (BUWAL 1994).

Hügelbauende Ameisen sind bereits seit einiger Zeit Gegenstand der Forschung (Andrews 1927, Eidmann 1927, Gösswald 1989, Hartebrodt 1990). Einerseits ist es die faszinierende Organisation des Ameisenstaates, andererseits übernehmen sie viele wichtige ökologische Funktionen, die in Forschungsarbeiten untersucht wurden (Gösswald 1990). Wichtiges Beispiel ist ihre Rolle in der natürlichen Schädlingsbekämpfung (Eidmann 1927, Gösswald 1990).

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Einfluss des Sonnenlichts auf die Populationsgrößen der untersuchten Waldameisenarten. Denn das Sonnenlicht und die damit eingebrachte Wärme sind für die Aktivität der Waldameisen von zentraler Bedeutung (Gösswald 1989). Weiter sind die Lichtverhältnisse wichtig für den von den Blattläusen produzierten Honigtau, eine der wichtigsten Nahrungsquellen der Ameisen (Hartebrodt 1990). Auch Nelmes (1938) stellte fest, dass Ameisenhaufen in Wäldern oft an Wegrändern oder sonstigen lichtereren Stellen zu finden sind. Seifert (1996) hat erkannt, dass *F. polyctena* im Schatten grössere Hügel haben als an sehr sonnigen Standorten. Weil die beiden Arten *F. rufa* und *F. polyctena* relativ ähnlich sind (Seifert 1996), kann erwartet werden, dass dieser Zusammenhang für beide gefundenen Arten ersichtlich sein wird. Gemäss Kissling (1985) wird zudem erwartet, dass Hügel der *F. rufa* im Durchschnitt an sonnigeren Standorten vorkommen als solche der *F. polyctena*. In der Schweiz gibt es jedoch erst wenige beziehungsweise wenig genaue Untersuchungen zu den Lichtverhältnissen bei Ameisenhöfen. Kissling (1985) hat beispielsweise bloss eine Unterteilung der Hügelstandorte in sonnig, halbsonnig und schattig vorgenommen. Es ist deshalb wichtig, weitere Erkenntnisse zu dieser Thematik zu ermitteln.

1.3. Ziel der Arbeit und Fragestellungen

Ziel dieser Arbeit ist es, zu ermitteln, ob die Anzahl Sonnenstunden sowie die Menge direkter Sonnenstrahlung während der Aktivitätsperiode der Ameisen einen Einfluss auf die Hügelgrösse beziehungsweise die Vitalität haben. Weiter wird untersucht, ob sich dieser Effekt je nach Art oder Standort unterschiedlich verhält. Ausserdem gilt es zu beurteilen, wie geeignet hemisphärische Bilder sind, um die Lichtverhältnisse bei Ameisenhöfen zu untersuchen. Die folgenden vier Fragestellungen werden beantwortet:

- Haben die Lichtverhältnisse einen Einfluss auf die Grösse der Ameisenhöfen und damit auf die Populationsgrösse?
- Beeinflusst das Lichtverhältnis das Vorkommen der beiden Arten *F. rufa* und *F. polyctena*?
- Was sind - unter Berücksichtigung der Erkenntnisse bezüglich der Lichtverhältnisse - die sinnvollsten Massnahmen, um die Situation der Waldameisen in der UBE zu verbessern?
- Kann man die Methode zur Messung der Lichtverhältnisse mit Hilfe von hemisphärischen (Fischaugen-) Fotos für die Analyse der Lichtverhältnisse bei Ameisenhöfen verwenden?

2. Methode und Materialien

2.1. Untersuchte Arten

In dieser Studie liegt der Fokus auf den zwei wichtigsten Waldameisenarten der Schweiz *F. polyctena* und *F. rufa*. Die Arten wurden mit einer Lupe (Triplet, 10-fache Vergrößerung) untersucht und nach Otto (2005) bestimmt. Dabei wurden jeweils mehrere Individuen direkt vom Hügel genommen und untersucht. Für die Unterscheidung wurde besonders die unterschiedliche Behaarung betrachtet. Besass das Individuum am Pronotum mindestens 30 Borsten und an der Kopfunterseite deutlich sichtbare lange Haare, wurde auf *F. rufa* geschlossen. Besass die Ameise jedoch am Pronotum maximal 15 Borsten und kopfunterseitig nur kurze Haare wurde sie als *F. polyctena* eingeteilt. Erstere wird Grosse Rote Waldameise (*Formica rufa* Linnaeus) genannt und die zweite Kleine Rote Waldameise oder wegen ihrer schwachen Behaarung auch Kahlrückige Waldameise (*Formica polyctena* Förster). Es ist jedoch zu bemerken, dass eine Unterteilung relativ schwierig ist, weil auch verschiedene Hybridformen zwischen diesen beiden Arten bestehen (Otto 2005). Die Ameisen der Gattung *Formica* gehören zur Unterfamilie der *Formicinae* (Familie *Formicoidea*, Ameisen) (BUWAL 1994). Diese wiederum gehören der Ordnung der *Hymenoptera* (Hautflügler) an, welche den *Insecta* (Insekten) untergeordnet sind.

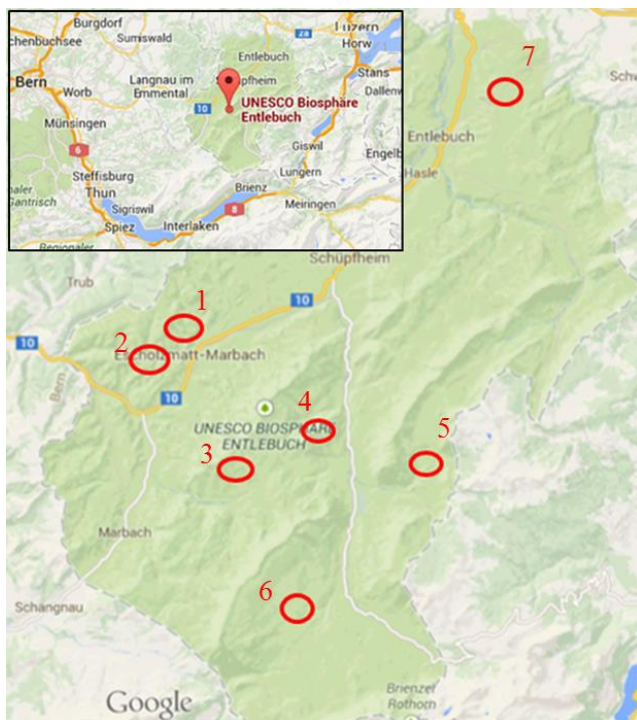


Abbildung 1: Karte der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) mit den sieben Erhebungsorten (rote Kreise). Oben links: Lage der UBE. Quelle: Karte: Google Maps (2014).

2.2. Untersuchtes Gebiet

Die Datenerhebungen fanden in sieben Gebieten in der UBE, im Kanton Luzern statt (Abbildung 1 und Anhang 1 bis Anhang 5). Die Gebiete wurden mit Hilfe des Geoportals des Kantons Luzern ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, Gebiete zu wählen, in denen durch das kantonale Amt bereits Ameisenhügel eingezeichnet sind (Karte für Natur- und Kulturobjekte; Geoinformation Kanton Luzern 2014). Denn die Ameisenhügel sind sehr ungleichmässig verteilt und wie bei einer ersten Vorabklärung im Feld bemerkt wurde, wäre es ansonsten gut

möglich gewesen, dass mit derselben investierten Zeit nur sehr wenige Haufen gefunden worden wären. Mit der Orientierung an bereits inventarisierten Haufen, sollte sichergestellt werden, dass in allen Gebieten genügend grosse Stichproben für eine statistische Analyse gefunden werden.

2.3. Datenerhebung

2.3.1. Allgemeine Daten

Die Erhebungen wurden zwischen dem 23.06.2014 und dem 03.07.2014 durchgeführt. Mit einem GPS-Gerät (Garmin eTrex vista C, Abweichung mit 95% Wahrscheinlichkeit kleiner als 15m) wurden die Koordinaten (Referenzsystem WGS84) aufgenommen. Die Hangneigung wurde mit einem SUUNTO Klinometer gemessen und die Exposition des Hanges mit einem Kompass (360° Silva Ranger 3) ermittelt, dabei wurde die Exposition auf 10° genau unterteilt. Der Standort des Haufens wurde in die vier Hauptkategorien Wald, Waldrand, Wiese und Wegrand unterteilt. Zusätzlich wurden jeweils mehrere Unterkategorien unterschieden. Da sich jedoch bei der Auswertung gezeigt hat, dass die Stichprobengrößen der Unterkategorien generell zu klein waren, um sinnvolle statistische Analysen durchzuführen (bei mehr als der Hälfte der Standorte war $N < 5$), wurden bei der Auswertung nur die vier Hauptkategorien verwendet. Schliesslich wurde notiert, ob ein Teil des Hügels abgerutscht war (meist an sehr steilen Lagen) und ob am jeweiligen Hügel spezielle Merkmale zu verzeichnen waren (z.B. eine direkt angrenzende Kuhweide oder Schäden).

2.3.2. Populationsgrösse

Ursprüngliches Ziel dieser Arbeit war, zu ermitteln was für einen Einfluss die Lichtverhältnisse auf die Entwicklungsfähigkeit beziehungsweise die Vitalität der Ameisen haben. Weil es jedoch sehr schwierig ist, diese Faktoren zu quantifizieren und zu messen, wurde die Populationsgrösse als Mass für die Vitalität eines Ameisenvolkes gewählt.

In der Vergangenheit wurde oft das Hügelvolumen verwendet, um die Populationsgrösse zu schätzen (Seifert 1991, Liautard 2003), deshalb wird auch in dieser Arbeit auf diese Methode zurückgegriffen. Dazu wurden mit einem Doppelmeter der längste Durchmesser des Hügels sowie der Durchmesser rechtwinklig dazu gemessen. Die Höhe wurde am höchsten Punkt des Hügels rechtwinklig zum Boden aufgenommen. Danach wurde die Form des Hügels von Auge in spitz, rund und flach eingeteilt. Flach bedeutet, dass keine oder nahezu keine Wölbung vorhanden war, als rund wurden Hügel mit nahezu halbkugelförmigem Aussehen bezeichnet und spitz waren alle Hügel, die steilere Wände hatten als sie für eine Halbkugel

nötig sind. Anschliessend wurden folgende Formeln verwendet um das Volumen zu berechnen:

$$\text{Spitz: } V = 0.8 * \left(\frac{2}{3} * \pi * \frac{d1}{2} * \frac{d2}{2} * h \right)$$

$$\text{Rund: } V = \frac{2}{3} * \pi * \frac{d1}{2} * \frac{d2}{2} * h$$

$$\text{Flach: } V = \pi * \frac{d1}{2} * \frac{d2}{2} * h$$

Dabei entspricht d1 dem längsten Durchmesser des Hügels, d2 dem Durchmesser rechtwinklig dazu. Weiter steht h für die Höhe des Haufens. Für das Volumen der spitzen Hügel wurde eine Mischung zwischen der Formel eines Kegels und der einer ellipsoiden Halbkugel gewählt, da auch die als spitz bezeichneten Hügel eine leicht abgerundete Spitze hatten. Für die runden Hügel wurde die Formel einer ellipsoiden Halbkugel, für die flachen Hügel die Formel für die Scheibe eines Ellipsoids verwendet.

2.3.3. Angaben zur Messung der Lichtverhältnisse

Um die Lichtverhältnisse bei den Ameisenhügeln zu analysieren wurde jeweils mit einer Kamera (Canon EOS 50D digital SLR, Objektiv 18-200mm, manueller Fokus 200mm) ein Foto des freien Himmels gemacht. Danach konnte an der Kamera der Startwert für die Belichtungsreihe abgelesen werden. Für das Erstellen dieser Belichtungsreihe wurde dieselbe Kamera mit einem Fischaugenobjektiv (Sigma EX DC 4.5mm F2.8 circular fisheye HSM) mit Autofokus verwendet. Weiter wurden folgende Einstellungen gemäss Benutzeranleitung (Version 3.0) von (Doutaz et al. 2014) vorgenommen:

- Blende: F8.0
- ISO-Empfindlichkeit: 200
- Belichtungskorrektur: 0
- Blitzbelichtungskorrektur: 0
- Bildstil: Standard
- Weissabgleich: 5200K
- Messmethode: Mittenbetonte Integralmessung
- Bildqualität: Gross, fein
- Autofokus-Funktion: One Shot
- Betriebsstart: Selbstausslöser, 2 Sekunden

Diese Einstellungen wurden für alle Bilder beibehalten. Beginnend mit der Belichtungszeit, die unter freiem Himmel ermittelt wurde, wurden pro Hügel in der Regel vier Bilder mit dem Fischaugenobjektiv gemacht. Vor dem nächsten Bild wurde die Belichtungszeit jeweils halbiert. In einigen Fällen, beispielsweise bei sehr schnell wechselnder Wolkenbedeckung, wurden zusätzliche Bilder mit weiteren Belichtungszeiten gemacht. Das Ziel der Belichtungsreihe war, Bilder mit unterschiedlicher Helligkeit zu erhalten um für die Auswertung dasjenige auswählen zu können, welches den besten Kontrast zwischen Himmel und Bäumen ergibt. Damit die Kamera für die Belichtungsreihe genau senkrecht gegen den Himmel zeigt, wurden ein dreibeiniges Stativ und ein



Abbildung 2: Fischaugenkamera auf selbstnivellierendem Kamerahalter.

selbstnivellierender Kamerahalter (Self Levelling Mount SLM8, Abbildung 2) mit integrierter Wasserwaage verwendet. Anhand des am SLM8 befestigten Kompasses wurde die Kamera nach Norden ausgerichtet, damit bei der Auswertung der Bilder klar ist, wo sich welche Himmelsrichtung befindet. Das Stativ wurde jeweils so eingestellt, dass sich die Kamera ca. einen Meter über dem Boden befindet. Für die Aufnahmen wurde darauf geachtet, dass der Himmel mindestens leicht bewölkt war, weil eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Linse der Kamera die Auswertung erschwert hätte. Ausserdem musste bei einigen Hügeln auf eine Aufnahme verzichtet werden, weil der Regen zu stark war und sonst die Kamera beschädigt worden wäre.

2.4. Konfigurationen in Hemisfer

Bei der Auswertung der Bilder der Fischaugenkamera wurde mit dem Programm Hemisfer (Version 2beta2) gearbeitet. Dabei handelt es sich um ein Programm, zur Schätzung des Blattflächenindex und der Lichtverhältnisse aus hemisphärischen (Fischaugenobjektiv-) Fotos (Schleppi 2014a). Dazu wurden die in den folgenden Kapiteln erläuterten Einstellungen verwendet.

2.4.1. Objektiveinstellungen

Zentrum sowie Radius sind bei allen Bildern gleich (x-Koordinate des Zentrums = 2335, y-Koordinate = 1600, Radius $r = 1325$). Auch für die Geometrie des Objektivs konnte immer die gleiche Standardeinstellung (default) verwendet werden.

2.4.2. Bildeinstellungen

Nord (°)	90.0
Abweichung (°)	0.1
Steigung (°)	26.0
Exposition (°)	90.0
Ringe	5
Breite (°)	15.0

Abbildung 3:
 Bildeinstellungen in
 Hemisfer.

Wie bereits in Kapitel 2.3.3 erwähnt, wurde die Kamera mit einem Kompass gegen Norden ausgerichtet. Für die Analyse konnte der Norden im Bild entsprechend definiert werden (hier 90° , Abbildung 3). Die Abweichung des tatsächlichen Nordpols vom gemessenen (magnetischen) Nordpol wurde online ermittelt (National Geophysical Data Center 2014). Für die Steigung und die Exposition wurden die im Feld erhobenen Daten verwendet. Die Anzahl Ringe definiert, in wie viele Teile (Ringe) das Bild für die späteren Berechnungen unterteilt wird. Dabei wurden die Standardeinstellungen benutzt (Abbildung 3 und Abbildung 4).

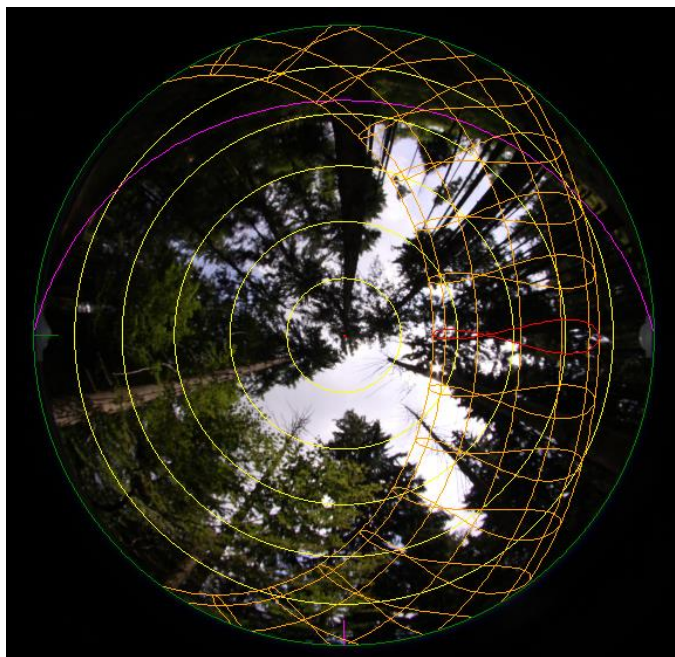


Abbildung 4: Hemisphärisches Foto dargestellt in Hemisfer: Die gelben Ringe dienen der Unterteilung des Bildes für die Berechnungen der Sonnenstunden. Die violette Linie zeigt die Neigung an und die orangefarbene Linien symbolisieren die Sonnenbahnen.

Abbildung 4 zeigt, wie ein hemisphärisches Bild in Hemisfer dargestellt wird. Die gelben Kreise sind die Ringe, die für die Berechnungen der Sonnenstunden benötigt werden, die lila Linie zeigt die Hangneigung an und die orangefarbene Linien zeigen die Sonnenbahnen für verschiedene Monate (die innerste Linie entspricht dem Monat Juni) und Tageszeiten (rot bedeutet 12.00 Uhr, unterhalb bedeutet Morgen, oberhalb Nachmittag) an.

2.4.3. *Einstellungen zur Berechnung der potentiellen Sonnenscheindauer und der direkten, effektiven Strahlung*

Für die Berechnung der Sonnenstunden und –strahlung war es nötig, die im Feld ermittelten Koordinaten (Kap. 2.3.1) sowie die Meereshöhe im Programm einzutragen. Die Höhe über Meer konnte online nach Eingabe der Koordinaten ermittelt werden (Swisstopo 2014).

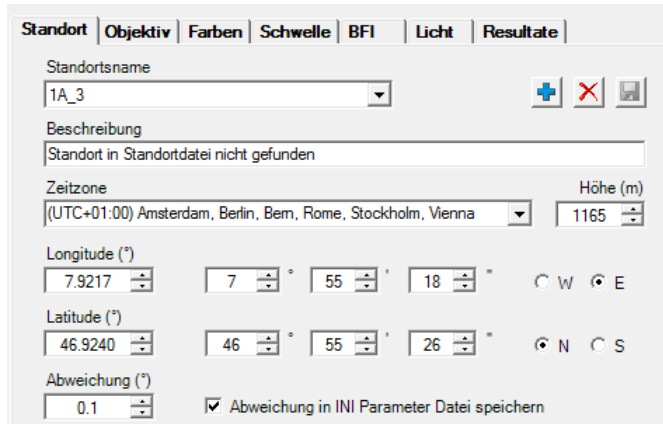


Abbildung 5: Angaben zum Standort im Programm Hemisfer.

Damit zwischen Blätterdach und Himmel möglichst gute Kontraste resultierten, wurde die Farbe Blau maximal gewichtet.

Für jeden Ameisenhügel wurden die Bilder von Auge verglichen und dasjenige ausgewählt, bei dem der beste Kontrast zwischen Himmel und Kronendach vorliegt. Zusätzlich wurde der Schwellenwert, die Grenze zwischen hellen und dunklen Teilen des Bildes, zur Hilfe genommen. Der Grenzwert wurde nach Ridler und Calvard (1978) berechnet, da diese Methode im Vergleich zu derjenigen nach Nobis und Hunziker (2005) für unregelmässige Bewölkung robustere Resultate liefert. Der für die Berechnung des Schwellenwerts benötigte γ -Wert wurde gemäss Standardeinstellung auf 2.2 gesetzt. Der γ -Wert definiert die Beziehung zwischen der Lichtintensität und der im Bild codierten Farben (Schleppi 2014b).

Berechnungsperiode und Strahlungsmodell

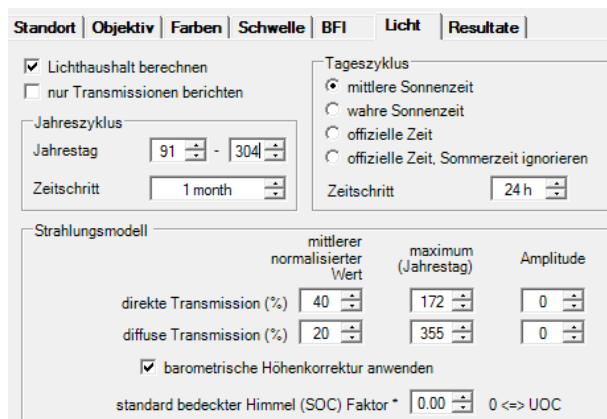


Abbildung 6: Angaben zu den Berechnungen der Sonnenstunden und der direkten, effektiven Strahlung.

Mit Hemisfer wurde die mittlere Sonnenscheindauer und Sonneneinstrahlung pro Quadratmeter für jeden einzelnen Tag der Aktivitätsperiode berechnet. Dabei wurden die mittlere Sonnenzeit und Zeitschritte von 24 Stunden verwendet, da in dieser Arbeit nicht der stündliche Tagesverlauf von Interesse war, sondern der aufsummierte Durchschnitt über die ganze Aktivitätsperiode. Die Aktivitätsperiode

wurde folgendermassen festgelegt: Gemäss Weber (1935) ist *Formica rufa obscuripes* Forel, eine Unterart der *F. rufa*, zwischen April und Oktober, maximal November aktiv. Auch die Ameisen der Art *F. polyctena* sind unterhalb von 5°C Umgebungstemperatur nur wenig aktiv (Gösswald 1989). Betrachtet man die Durchschnittstemperaturen in Schüpflheim oder umliegenden Dörfern (AmbiWeb GmbH 2014), entspricht diese Grenze ebenfalls einer Periode von April bis Oktober. Deshalb wurde die Berechnung der Sonnenstunden und Sonnenstrahlung für die Periode vom 1. April (Tag 91) bis 31. Oktober (Tag 304) durchgeführt. Für die Auswertung wurden die Tageswerte über die gesamte Aktivitätsperiode aufsummiert. Beim Strahlungsmodell (z.B. wie gross der Anteil an diffuser Strahlung ist) wurden die Standardeinstellungen von Hemisfer verwendet (Abbildung 6).

2.5. Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Statistikprogramm R (Version 3.1.0) durchgeführt. Um zu ermitteln, welche der erklärenden Variablen (Art, Exposition, Gebiet, Lichtdauer, Neigung, Standort, Strahlungsmenge) einen signifikanten Effekt auf das Hügelvolumen haben, wurde eine ANOVA durchgeführt. Weil die Werte der Hügelvolumen rechtsschief verteilt sind, wurden die Auswertungen für das Hügelvolumen mit log-transformierten Daten durchgeführt.

3. Resultate

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Resultate der Arbeit dargelegt. Eine Zusammenstellung weiterer interessanter, aber hier nicht aufgeführter Werte befindet sich im Anhang.

3.1. Anzahl Ameisenhügel

Gesamthaft wurden 172 Ameisenhügel gefunden. Für die Auswertung konnten jedoch nicht alle verwendet werden, da bei einigen wegen zu starkem Regenfall keine Fotos für die Auswertung der Lichtverhältnisse gemacht werden konnten. Weil die Stichprobe der verlassenen Hügel zu klein war um sie getrennt zu analysieren ($N = 5$), wurden diese ebenfalls weggelassen. Von den übriggebliebenen 159 Hügeln gehören 48 der Art *F. polyctena* und 111 der *F. rufa* an.

3.2. Sonnenscheindauer

In diesem Kapitel wird dargelegt, wie sich die verschiedenen Standorte, Arten und Untersuchungsgebiete bezüglich der über die gesamte Aktivitätsperiode der Ameisen aufsummierten Sonnenscheindauer unterscheiden. Allgemein gilt, dass die Ameisen ein Mindestmass an direkter Sonnenstrahlung benötigen, aber auch einen maximal ertragbaren Bereich kennen. Alle gefundenen Hügel waren mindestens teilweise durch Vegetation überdeckt.

Durchschnittlich bekommen Hügel am Standort Wiese deutlich mehr Sonne (7.03 h/d), als solche an den Standorten Wald (3.63 h/d), Waldrand (4.61 h/d) und Wegrand (2.9 h/d; Abbildung 7).

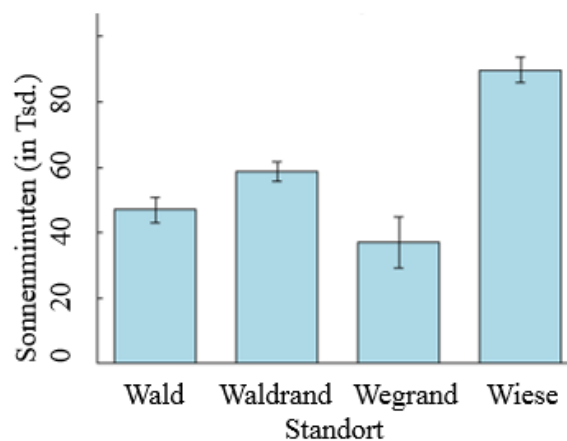


Abbildung 7: Durchschnittliche potentielle Sonnenscheindauer (aufsummierte Minuten (in Tausend) pro Aktivitätsperiode) \pm Standardfehler, aufgetrennt nach Standort.

Bei den beiden Arten ist der Unterschied der durchschnittlichen Sonnenscheindauer etwas weniger gross, aber dennoch gut erkennbar. Hügel der *F. rufa* kommen im Durchschnitt an sonnigeren Standorten (5.01 h/d) vor als solche der *F. polycтена* (3.55 h/d; Abbildung 8).

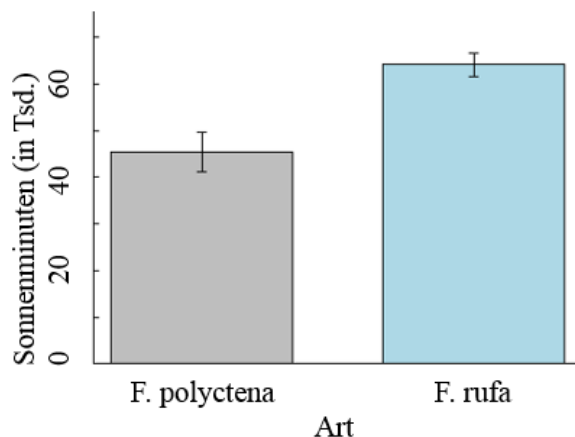


Abbildung 8: Durchschnittliche potentielle Sonnenscheindauer (aufsummierte Minuten (in Tausend) pro Aktivitätsperiode) \pm Standardfehler, aufgetrennt nach

Bei den untersuchten Gebieten sind ebenfalls Unterschiede auszumachen. Am meisten von der Sonne beschienen werden die Hügel in Gebiet 5 (6.02 h/d; Schwändiliflue, östlich von Flühli). Die Gebiete 2 (3.62 h/d, westlich von Escholzmatt) und 4 (3.89 h/d, nordwestlich von Flühli) haben durchschnittlich am wenigsten Sonnenschein (Abbildung 9). Weitere Werte zu allen Gebieten befinden sich in Anhang 8.

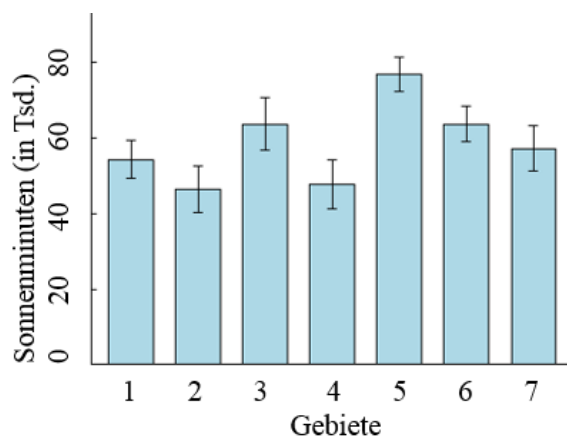


Abbildung 9: Über eine Aktivitätsperiode aufsummierte durchschnittliche potentielle Sonnenscheindauer (in Tausend) \pm Standardfehler, pro Gebiet.

Für die Sonnenscheindauer ist eine Interaktion zwischen Standort und Art erkennbar. Das bedeutet, dass die Änderung der durchschnittlichen Sonnenscheindauer zwischen zwei Standorten nicht für beide Arten gleich ist. Beispielsweise sind Ameisenhügel der *F. rufa* im Standort Wald durchschnittlich an sonnigeren Orten anzutreffen als solche der *F. polyctena*. Für den Standort Wiese ist es jedoch genau umgekehrt. Dies bedeutet, dass die Zunahme der Sonnenscheindauer vom Standort Wald zum Standort Wiese bei *F. polyctena* grösser ist als bei *F. rufa*. Grafisch sieht man dies in den unterschiedlichen Steigungen der beiden Verbindungsgeraden in Abbildung 10. Für diese Zusammenhänge gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass die Stichprobengrößen besonders für die *F. polyctena* zum Teil sehr klein sind.

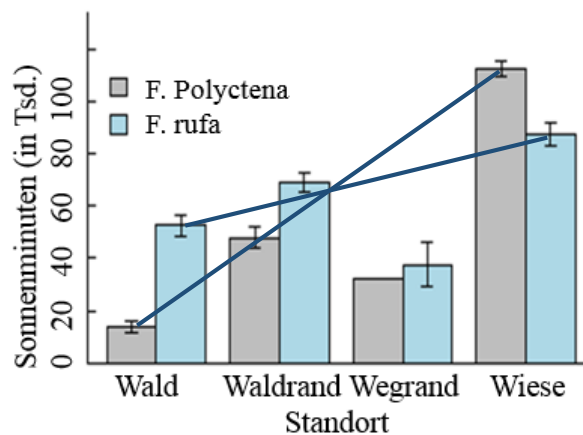


Abbildung 10: Über die ganze Aktivitätsperiode summierte potentielle Sonnenminuten in Tausend, aufgetrennt nach Standort und Art. Es sind die Mittelwerte und die dazugehörigen Standardfehler aufgezeichnet. Die beiden Geraden zeigen die unterschiedlich starken Veränderungen der Sonnenscheindauer vom Standort Wald zum Standort Wiese je nach Art.

3.3. Direkte, effektive Sonneneinstrahlung

Im Gegensatz zur gesamten Sonnenscheindauer (Kap. 3.2) unterscheidet sich bei der direkten, effektiven Einstrahlung nur der Standort Wiese (88.54 W/m^2) wesentlich von den anderen Standorten (Abbildung 11). An den anderen drei anderen Standorten beträgt die durchschnittliche direkte, effektive Sonneneinstrahlung nur etwas mehr als halb so viel (Wald: 50.16 W/m^2 , Waldrand: 48.01 W/m^2 und Wegrand: 45.07 W/m^2).

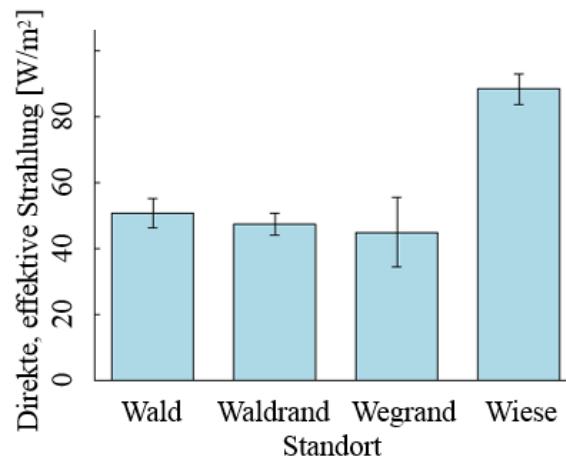


Abbildung 11: Über die gesamte Aktivitätsperiode aufsummierte direkte, effektive Sonneneinstrahlung [W/m^2], aufgetrennt nach Standort, jeweils \pm Standardfehler.

Gleich wie bei der gesamten Sonnenscheindauer haben Hügel der *F. rufa* auch bezüglich direkter, effektiver Sonneneinstrahlung durchschnittlich die höheren Werte (*F. rufa*: 63.54 W/m^2 , *F. polycтена*: 33.73 W/m^2 ; Abbildung 12).

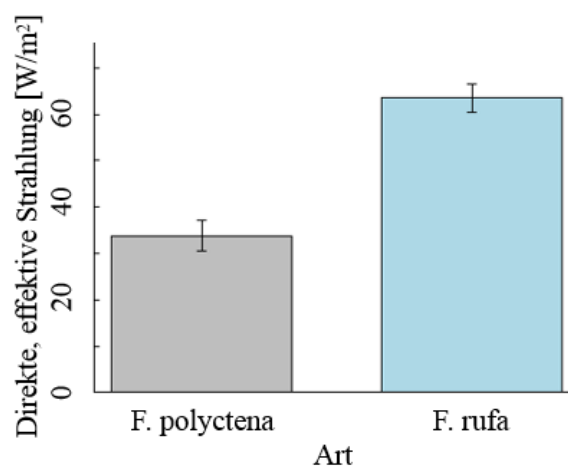


Abbildung 12: Über die gesamte Aktivitätsperiode aufsummierte direkte, effektive Sonneneinstrahlung [W/m^2], pro Art \pm Standardfehler.

Bezüglich verschiedener Untersuchungsgebiete ist bei der direkten, effektiven Sonneneinstrahlung dasselbe Muster erkennbar wie bei der Sonnenscheindauer, jedoch mit etwas grösseren Unterschieden: Gebiet 5 (89.81 W/m^2) erhält am meisten Strahlung, Gebiet 2 (28.99 W/m^2) am wenigsten (Abbildung 13). Weitere Daten zu allen Gebieten sind in Anhang 12 ersichtlich.

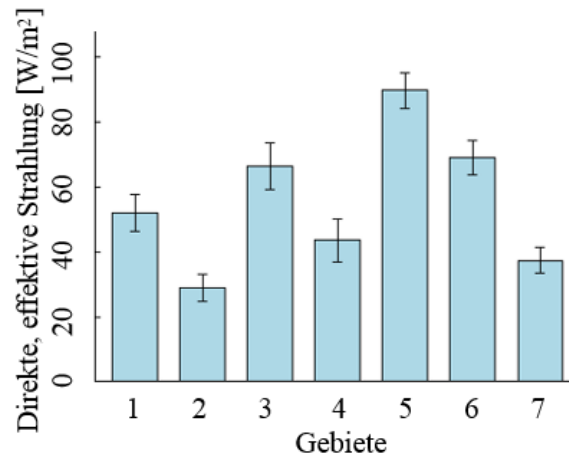


Abbildung 13: Über die gesamte Aktivitätsperiode aufsummierte direkte, effektive Sonneneinstrahlung [W/m^2], aufgeteilt in die sieben Erhebungsgebiete, jeweils \pm Standardfehler.

Eine Interaktion, wie sie bei der Sonnenscheindauer sichtbar war, konnte für die direkte, effektive Sonneneinstrahlung nicht festgestellt werden.

3.4. Hügelvolumen

In diesem Kapitel werden die Beziehungen der verschiedenen Variablen mit der Hügelgrösse aufgezeigt und mit einer ANOVA untersucht, welche Faktoren einen signifikanten Einfluss auf das Volumen der Ameisenhügel haben.

Der Mittelwert für das Hügelvolumen ohne die verlassenen Ameisenhügel beträgt 0.70 m^3 . Am Standort Wegrand sind die grössten Hügel anzutreffen (0.94 m^3), am Standort Wiese die kleinsten (0.28 m^3). Die Hügelvolumen an den Standorten Wald und Waldrand liegen dazwischen und sind mit 0.71 m^3 und 0.66 m^3 relativ nahe beieinander.

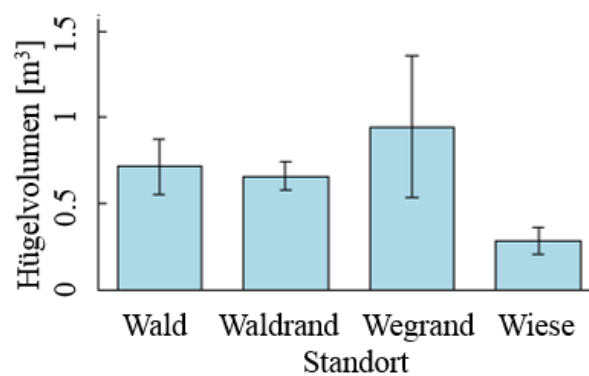


Abbildung 14: Durchschnittliches Hügelvolumen an den vier Standorten, jeweils \pm Standardfehler.

Ameisen der Art *F. polycтена* bauen im Durchschnitt grössere Hügel (0.91 m^3) als solche der Art *F. rufa* (0.52 m^3 ; Abbildung 15).

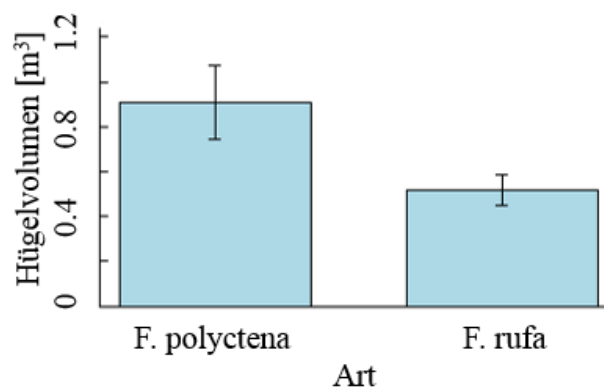


Abbildung 15: Durchschnittliches Hügelvolumen der beiden Arten, jeweils \pm Standardfehler.

Zwischen den Gebieten unterscheiden sich die Hügelvolumen ebenfalls deutlich. In Gebiet 7 (1.08 m^3) sind die Haufen durchschnittlich mehr als fünfmal so gross wie in Gebiet 4 (0.21 m^3 ; Abbildung 16). Die Werte für alle Gebiete sind in Anhang 15 aufgeführt.

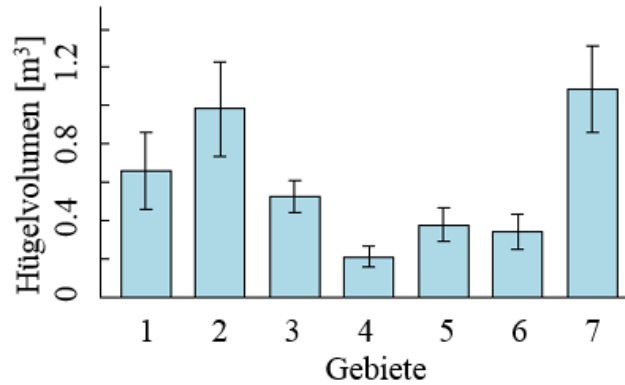


Abbildung 16: Durchschnittliches Hügelvolumen in den sieben Untersuchungsgebieten, jeweils \pm Standardfehler.

In den Abbildungen 17 und 18 ist sichtbar, dass die Hügel bei weniger Sonnenschein, beziehungsweise weniger starker Einstrahlung tendenziell grösser sind. Das R^2 beträgt dabei für die Sonnenscheindauer 0.274 und für die direkte, effektive Sonneneinstrahlung 0.267. Damit sind beide Werte relativ tief, was auf einen eher schwachen Zusammenhang hindeutet.

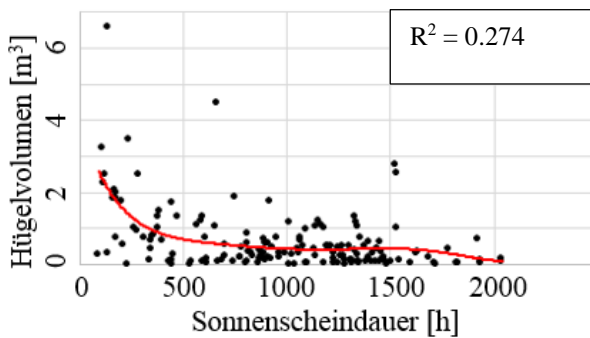


Abbildung 17: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m^3] und Sonnenscheindauer für die gesamte Aktivitätsperiode [h / Aktivitätsperiode]. In Rot ausserdem die Regressionslinie und oben rechts das zugehörige R^2 .

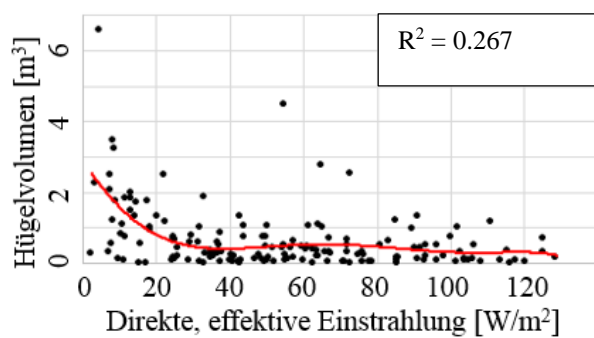


Abbildung 18: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m^3] und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung [W/m^2] für die gesamte Aktivitätsperiode. In Rot ausserdem die Regressionslinie und oben rechts das zugehörige R^2 .

Werden die Hügel zusätzlich nach Standort aufgeteilt, ist sehr gut sichtbar, dass am Standort Wiese im Gegensatz zu den anderen Standorten keine Hügel an eher schattigeren Plätzen vorkommen. Ausserdem ist erkennbar, dass am Standort Wiese als einziger Standort keine Hügel über 2 m³ vorkommen (Abbildung 19). Für die direkte, effektive Sonneneinstrahlung zeigt sich ein sehr ähnliches Bild (Anhang 16).

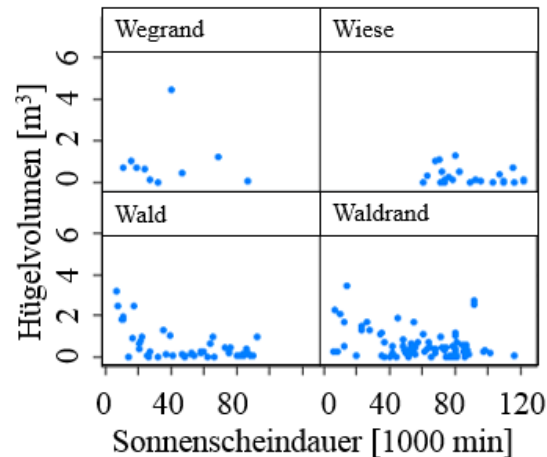


Abbildung 19: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m³] und Sonnenscheindauer [1000 min / Aktivitätsperiode], aufgeteilt nach Standort.

Werden die Hügel nach Art unterteilt, ist bezüglich Hügelvolumen kein klares Bild ersichtlich. Für die Sonnenscheindauer ist die Tendenz erkennbar, dass Hügel der *F. polycytena* eher an schattigeren Orten vorkommen (Abbildung 20). Für Hügel der *F. rufa* ist die Verteilung gleichmässiger, im Vergleich zu *F. polycytena* kommen sie jedoch öfter an sonnigeren Standorten vor. Auch bei der Art unterscheidet sich die Verteilung für die direkte, effektive Sonneneinstrahlung kaum von der Sonnenscheindauer (Anhang 17).

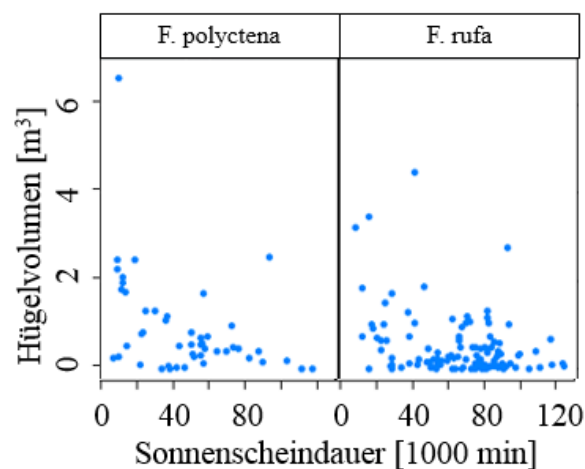


Abbildung 20: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m³] und Sonnenscheindauer [1000 min / Aktivitätsperiode], aufgeteilt nach Art.

Bei der Unterteilung der Hügel in die verschiedenen Untersuchungsgebiete sind sowohl für die Hügelvolumen wie für die Sonnenscheindauer teilweise beträchtliche Unterschiede erkennbar (Abbildung 21). Die Beziehung zwischen Hügelvolumen und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung ist in Anhang 18 ersichtlich. Die Verteilung gleicht derjenigen der Sonnenscheindauer stark.

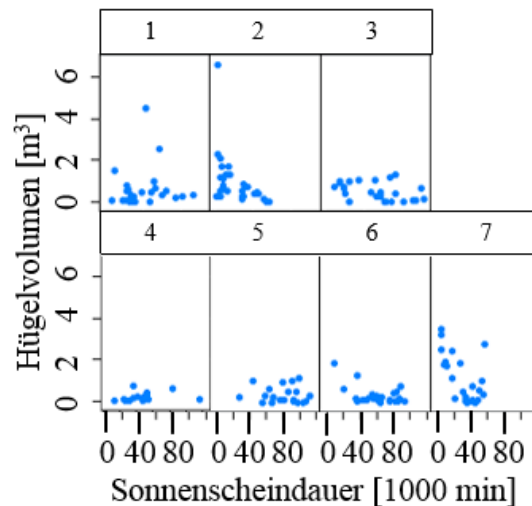


Abbildung 21: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m³] und Sonnenscheindauer [1000 min / Aktivitätsperiode], aufgeteilt nach Gebiet.

Die Ergebnisse der ANOVA mit den Variablen Gebiet, Standort, Sonneneinstrahlung, direkte, effektive Sonneneinstrahlung, Neigung, Exposition und Art sowie deren Interaktionen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Für die ersten vier Variablen wird ein signifikanter Einfluss auf das Hügelvolumen festgestellt. Die beiden Faktoren potentielle Sonnenscheindauer und direkte, effektive Sonneneinstrahlung, auf die in dieser Arbeit das Hauptaugenmerk gelegt wird, sind somit beide signifikant. Ebenfalls signifikant sind die vier Interaktionsterme zwischen Gebiet und Sonnenscheindauer, Gebiet und Standort, Gebiet und Exposition sowie Neigung und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung.

*Tabelle 1: Liste der p- und F-Werte sowie der Freiheitsgrade aller Variablen des grossen Modells, inklusive deren Interaktionen. Die mit * markierten p-Werte sind signifikant für $\alpha = 0.05$.*

Faktoren	P-Wert	F-Wert	df
Gebiet	0.00079 *	4.29	6
Standort	0.00017 *	7.46	3
Sonnenscheindauer	0.00052 *	13.01	1
Direkte Einstrahlung	0.00790 *	7.4	1
Neigung	0.06564	3.48	1
Exposition	0.68005	0.17	1
Art	0.70314	0.15	1
Gebiet : Sonnenscheindauer	0.04545 *	2.26	6
Gebiet : Direkte Einstrahlung	0.56161	0.81	6
Gebiet : Standort	0.00011 *	4.15	10
Gebiet : Exposition	0.04616 *	2.25	6
Gebiet : Neigung	0.61784	0.74	6
Gebiet : Art	0.28747	1.15	1
Neigung : Sonnenscheindauer	0.24546	1.37	1
Neigung : Direkte Einstrahlung	0.01638 *	6.0	1
Neigung : Standort	0.33620	1.14	3
Neigung : Exposition	0.75761	0.1	1
Neigung : Art	0.89272	0.02	1
Standort : Sonnenscheindauer	0.14351	1.85	3
Standort : Direkte Einstrahlung	0.50050	0.79	3
Standort : Exposition	0.06524	2.5	3
Standort : Art	0.60917	0.26	1
Exposition : Sonnenscheindauer	0.40584	0.7	1
Exposition : Direkte Einstrahlung	0.45131	0.57	1
Exposition : Art	0.54505	0.37	1
Sonnenscheindauer : Direkte Einstrahlung	0.78660	0.07	1
Sonnenscheindauer : Art	0.69085	0.16	1
Direkte Einstrahlung : Art	0.48411	0.49	1

Wird das Adjusted R^2 für dieses Modell mit allen Variablen und deren Interaktionen berechnet, ergibt sich ein Wert von 40.8%. Für eine ökologische Untersuchung ist dies ein relativ hoher Wert. Zusätzlich zum Modell mit allen sieben Variablen wurde ein Modell nur mit den vier Variablen Gebiet, Standort, potentielle Sonnenscheindauer und direkte, effektive Sonneneinstrahlung durchgeführt. Diese können zusammen bloss noch 19.8% der Varianz erklären. Die zugehörigen p- und F-Werte sowie die Freiheitsgrade sind in Tabelle 2 aufgelistet.

*Tabelle 2: Liste der p- und F-Werte der vier Variablen des verkleinerten Modells sowie die dazugehörigen Freiheitsgrade. Die mit * markierten p-Werte sind signifikant für $\alpha = 0.05$.*

Faktoren	P-Wert	F-Wert	df
Gebiet	0.0057 *	3.19	6
Standort	0.0012 *	5.59	3
Sonnenscheindauer	0.0042 *	8.44	1
Direkte Einstrahlung	0.0179 *	5.73	1

4. Diskussion

Ziel der Arbeit war zu ermitteln, ob die Lichtverhältnisse einen Einfluss auf die Vitalität haben. Als Mass für die Vitalität wurden das Hügelvolumen und damit die Populationsgrösse verwendet. In den folgenden Kapiteln wird dieser Zusammenhang zwischen Hügelvolumen und Lichtverhältnissen unter Berücksichtigung der weiteren untersuchten Faktoren genauer diskutiert.

4.1. Standort

Gemäss Angaben aus der Literatur (Sudd et al. 1977, Seifert 1996) kommen an schattigeren Standorten durchschnittlich grössere Hügel vor. Dies stimmt mit den Erkenntnissen dieser Arbeit überein. Beim Standort Wiese, mit der höchsten Sonnenscheindauer und der grössten direkten, effektiven Sonnenstrahlung, sind durchschnittlich die kleinsten Hügel anzutreffen. Am grössten sind die Hügel am Standort Wegrand, wo der Wert für die Sonnenscheindauer am kleinsten ist. Befanden sich Hügel im Waldesinnern, waren sie immer an etwas lichterem Stellen anzutreffen. Bezüglich dem Standort Wegrand gilt es jedoch zu beachten, dass der Standardfehler relativ gross ist, da die Stichprobe eher klein ist. Es könnte jedoch sein, dass es grundsätzlich mehr geeignete Standorte an Wegrändern gäbe, sich aber keine neuen Haufen entwickeln, weil kleine, sich entwickelnde Haufen durch den Menschen absichtlich oder unabsichtlich wieder zerstört werden. Diese Hypothese müsste jedoch in einer weiteren Arbeit überprüft werden.

4.2. Art

Wie im Kapitel 3.2 erklärt, haben Hügel der *F. rufa* bezüglich Sonnenscheindauer und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung höhere Werte als solche der *F. polycytena*. Damit werden die Beobachtungen von Kissling (1985) bestätigt. Auf das Hügelvolumen hat die Art aber gemäss der durchgeführten ANOVA keinen signifikanten Effekt. Gemäss Seifert (1996) würde man jedoch erwarten, dass bei *F. polycytena* die Volksstärke und somit das Hügelvolumen durchschnittlich grösser ist, als bei *F. rufa*. Auch Otto (2005) erklärt, dass für die polygyne *F. polycytena* im Gegensatz zur monogynen *F. rufa* grössere Populationen erwartet werden können. Wird der Effekt der Art auf das Hügelvolumen mit einer ANOVA untersucht, ohne weitere Faktoren wie zum Beispiel die Lichtverhältnisse miteinzubeziehen, resultiert ein signifikanter Effekt ($F_1 = 6.84$, $df_{\text{total}} = 157$, $p = 0.098$). Mit dem Modell, das Standort, Lichtverhältnisse und alle restlichen Parameter integriert, ist die Art also nicht signifikant, alleine betrachtet jedoch schon. Das bedeutet, dass im grösseren Modell ein Teil

des Effekts der Art durch andere Faktoren erklärt wird respektive auch, dass andere Faktoren einen grösseren Einfluss haben. Für beide Arten gilt aber, dass an schattigeren Standorten tendenziell grössere Hügel anzutreffen sind. Gösswald (1989) erklärt, dass ein Teil der Wärmeregulation des Ameisenhügels durch das Aufwärmen der Ameisen an der Sonne und das Abkühlen im Hügelinnern geschieht. Dies könnte eine Erklärung für die grösseren Hügel im Waldesinnern sein, weil dort dieser Mechanismus möglicherweise eine wichtigere Rolle spielt und dafür grössere Populationen notwendig sind. Ausserdem ist es möglich, dass negative Effekte durch zu viel starke Sonneneinstrahlung an sonnigeren Standorten den Bau grosser Hügel verhindern (s. Kap. 4.6). Da für die Standorte Wegrund und Wiese jedoch nicht genügend Daten zu *F. polyctena* gesammelt werden konnten, ist dort eine weitergehende Interpretation für diese Art nicht sinnvoll. Auch für Hügel der *F. rufa* am Standort Wegrund sind für eine aussagekräftige Analyse mehr Daten notwendig. Die Tendenz stimmt aber mit den erwarteten Ergebnissen überein. Um weitere Sicherheit zu erhalten muss für Hügel der *F. rufa* am Standort Wegrund aber eine grössere Stichprobe untersucht und für die *F. polyctena* allgemein mehr Daten gesammelt werden.

4.3. Verlassene Haufen

Mit bloss fünf verlassenen Haufen ist die Stichprobengrösse zu klein, um eine fundierte Analyse der verlassenen Hügel durchzuführen. Um zu beurteilen, wieso die Haufen verlassen wurden oder ob die Völker ausgestorben sind, sind weitere (Langzeit-) Studien nötig. Als problematisch könnte sich dabei erweisen, dass es schwierig zu beurteilen ist, von was für einer Art der jeweilige Haufen besetzt war.

4.4. Gebiet

Die Signifikanzen der Interaktionen zwischen Gebiet und Sonnenscheindauer, Gebiet und Standort sowie Gebiet und Exposition weisen darauf hin, dass sich diese drei Variablen zwischen den Gebieten stark unterscheiden. Das bedeutet beispielsweise, dass die Hügelgrösse in den verschiedenen Gebieten nicht immer beim selben Standort oder an der gleichen Exposition am grössten beziehungsweise am kleinsten ist und dass sich die Beziehung zwischen Sonneneinstrahlung und Hügelvolumen je nach Gebiet unterschiedlich verhält. Trotz diesen signifikanten Einflüssen, wird in dieser Arbeit nicht genauer auf die möglichen Gründe dafür eingegangen. Denn für eine detaillierte Analyse der verschiedenen Gebiete sind weitere Faktoren, wie beispielsweise die Höhe über Meer, das Bodenverdichtungsrisiko oder die Waldhauptgesellschaft wichtig, welche in der Arbeit von

Gross (2014) genauer behandelt werden. Es gilt also festzuhalten, dass weitere Faktoren einen Einfluss auf das Hügelvolumen und somit die Populationsgrösse haben, welche in dieser Arbeit unter der Variable Gebiet zusammengefasst sind.

4.5. Einfluss der Sonne

Wie in Kapitel 3.4 gezeigt wurde, sind die beiden Variablen Sonnenscheindauer und direkte, effektive Sonneneinstrahlung sowohl im umfangreicheren, wie im vereinfachten Modell signifikant. Es muss berücksichtigt werden, dass der Anteil der durch das Modell erklärten Varianz vom grösseren zum kleineren Modell von 40.8 % auf 19.8 % sinkt. Das bedeutet, dass durch die Vereinfachung ein beträchtlicher Teil der Aussagekraft verloren geht und somit andere Faktoren als die vier Variablen eine wichtige Rolle spielen. Im Speziellen heisst dies, dass die beiden Variablen Sonnenscheindauer und direkte, effektive Sonneneinstrahlung alleine nur einen geringen Teil der Varianz erklären können. Möglicher Grund ist, dass mit dem Weglassen der drei nicht signifikanten Variablen auch deren Interaktionen aus dem Modell verschwinden. Weiter weisen die eher tiefen R^2 für die beiden untersuchten Variablen auf eine eher schwache Beziehung hin. Das durchschnittliche Hügelvolumen nimmt mit zunehmender potentieller Sonnenscheindauer, beziehungsweise zunehmender direkter, effektiver Sonneneinstrahlung nur wenig ab. Weiter ist erkennbar, dass dieser Zusammenhang bei Hügeln an sehr schattigen Orten stärker ist, und bei solchen an sonnigeren Standorten kaum mehr sichtbar ist. Das heisst in einem bestimmten Bereich (ab ca. 700 h pro Aktivitätsperiode oder ca. $30 \text{ W} / \text{m}^2$) nimmt das Hügelvolumen mit zunehmender Besonnung kaum mehr ab. Interessant für weitere Studien wäre nun zu ermitteln, ob die Sonne ab einer bestimmten Dauer oder Intensität tatsächlich limitierend auf das Hügelvolumen wirkt oder ob weitere Faktoren einen Einfluss haben.

4.6. Weitere Beobachtungen

Bei der Datenerhebung wurde eine interessante Feststellung gemacht. Bei relativ hohem Sonnenstand und direkter Einstrahlung auf einen Ameisenhügel wurde praktisch keine Aktivität an der Hügeloberfläche festgestellt. Wurde jedoch mit dem Körper der untersuchenden Person ein Schatten auf den Hügel geworfen, kamen fast augenblicklich Ameisen an die Oberfläche. Die Vermutung ist, dass die Ameisen zwar auf Licht angewiesen sind, es aber eine Grenze der ertragbaren Strahlung oder Temperatur gibt. Sucht man in der Literatur nach ähnlichen Vorfällen, erklärt beispielsweise (Gösswald 1989), dass bei zunehmender Sonneneinstrahlung immer weniger Ameisen vorhanden sind bis sie schliesslich

bei Temperaturen zwischen 40° und 50° C ganz aus dem Einstrahlungsbereich flüchten. Diese Obergrenze der ertragbaren Temperatur könnte mit ein Grund sein, wieso die Hügel an schattigeren Standorten grösser sind, weil die Aktivität und damit der Ausbau des Hügels, an sonnigen Standorten öfter eingeschränkt werden. Um dies genauer beurteilen zu können, müsste der Zusammenhang zwischen Aktivität, Lichtverhältnissen und Hügelvolumen weiter untersucht werden.

4.7. Weiterführende Untersuchungen

Für weitere Untersuchungen wäre es wünschenswert, mehr Hügel der *F. polyctena* einzubeziehen. Das heisst, dass vermehrt schattigere Standorte abgesucht werden sollten. Ausserdem könnten verschiedene Faktoren (z. B. die Aktivität oder das Alter der Ameisenhügel), die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden, weitere spannende Ergebnisse liefern. Das Alter der Ameisenhügel ist insbesondere für das Hügelvolumen und die Schätzung der Populationsgrösse wichtig, da ältere Hügel tendenziell auch grösser sind (Dreyer 1942). Bezüglich der Lichtverhältnisse wäre zudem interessant, die Temperatur des Hügels sowie die Umgebungstemperatur zu untersuchen, da die Temperatur stark durch die Sonneneinstrahlung beeinflusst wird und die Temperatur eine wichtige Rolle für die Aktivität der Ameisen spielt (Gösswald 1989).

5. Schlussfolgerungen

5.1. Einfluss der Lichtverhältnisse auf die Vitalität der Ameisenvölker

Sowohl die summierte Sonnenscheindauer wie auch die effektive, direkte Sonneneinstrahlung haben einen signifikanten Effekt auf das Hügelvolumen und damit auf die Populationsgrösse. Dabei gilt, dass grössere Hügel an schattigeren Standorten vorkommen.

*5.2. Einfluss der Lichtverhältnisse auf das Vorkommen der Arten *F. rufa* und *F. polyctena**

Hügel der *F. rufa* wurden durchschnittlich an sonnigeren Standorten aufgefunden als solche der *F. polyctena*. Im Speziellen wurden Haufen der *F. polyctena* kaum am Standort Wiese angetroffen, *F. rufa* hingegen schon. Ob dies alleine auf die Lichtverhältnisse zurückzuführen ist oder ob beispielsweise auch die Nahrungsverfügbarkeit eine Rolle spielt, müsste in einer weiteren Studie untersucht werden.

5.3. Mögliche Massnahmen zur Verbesserung der Situation der Waldameisen in der UBE

Während der Datenerhebung wurden Standorte entdeckt, die möglicherweise geeignet für Waldameisenhögel wären, an denen jedoch keine Högel vorhanden sind. Grund dafür könnte sein, dass es sehr lange dauern kann, bis ein neues Gebiet besiedelt wird (Sudd et al. 1977). Deshalb könnte es sinnvoll sein, wenn ein Gebiet neu aufgeforstet wird (z.B. nach Sturmschäden), von bestehenden Kolonien Ableger zu bilden, damit die Besiedlung schneller abläuft. Ausserdem müsste man die unterschiedlichen Bedürfnisse der zwei verschiedenen Arten berücksichtigen. Beispielsweise müssten Ableger der *F. rufa* an eher sonnigeren Standorten platziert werden, solche der *F. polyctena* an schattigeren. Dies ist jedoch eine relativ aufwändige Massnahme und erfordert entsprechendes Fachwissen, damit die Ursprungspopulationen nicht zu stark dezimiert werden. Dabei ist es wichtig, gemäss den Erkenntnissen dieser Arbeit, sonnige Standorte mit Schatten spendender Vegetation zu wählen. Neben dem Erschliessen neuer Gebiete könnte in bereits besiedelten Gebieten, besonders im Waldesinnern, durch gezieltes Entfernen von einzelnen Bäumen die Situation für einzelne Högel verbessert werden. Weiter besteht die Möglichkeit bereits existierende Högel vor Beeinträchtigungen durch Einflüsse des Menschen zu schützen. Beispiele für solche Beeinträchtigungen sind Wanderer, Vieh oder Anwohner. Während den Felderhebungen wurden beispielsweise teilweise stark beschädigte Högel direkt an Wanderwegen, Strassen, Weiden oder Ackerland gesehen. Dort gilt es die Högel zum Beispiel vor Kühen oder dem landwirtschaftlichen Mähen zu schützen.

5.4. Reflektion der Methode zur Messung der Lichtverhältnisse mit hemisphärischen Bildern

Wie in den vorangehenden Kapiteln gezeigt wurde, stimmen die Ergebnisse dieser Arbeit mit den Resultaten aus der Literatur überein. Dies ist eine wichtige Erkenntnis, da in dieser Studie eine für dieses Fachgebiet neue Methode zur Lichtmessung verwendet wurde. Die Auswertung der hemisphärischen Bilder mit dem Programm Hemisfer ergibt plausible Resultate und die Methode könnte auch für weitere Untersuchungen in diesem Gebiet verwendet werden. Die Messungen im Feld sind jedoch relativ aufwändig. Je nach Gelände (z.B. bei grosser Steigung oder dichter Vegetation) sind der Transport und das Installieren der Kamera relativ schwierig. Deshalb müsste man untersuchen, ob mit dieser aufwändigen Methode tatsächlich genauere Ergebnisse resultieren oder ob eine einfachere Methode genügen würde. Beispielsweise das qualitative Schätzen der freien Himmelsfläche oberhalb eines Ameisenhügels oder das Verwenden von Zeigerpflanzen könnten Möglichkeiten sein.

6. Literaturverzeichnis

- AMBIWEB GmbH (2014). *Klima: Schüpfheim - Klimadiagramm, Temperaturdiagramm, Klimatabelle*. Zugriff: 16.07.2014, <http://de.climate-data.org/location/167382/>.
- ANDREWS, E. A. (1927). *Ant-mounds as to temperature and sunshine*. Journal of Morphology and Physiology 44(1): 1-20.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT WALD UND LANDSCHAFT, BUWAL (1994). *Rote Liste der gefährdeten Tierarten in der Schweiz*. Rote Liste der gefährdeten Tierarten in der Schweiz: 45-46.
- DOUTAZ, J., FRITSCH, B., MÄRKI, C., NÖTZLI, M. und ROVINA, C. (2014). *Fischaugenfotografie - Benutzeranleitung*. ETH Zürich, Professur Waldökologie. Zürich.
- DREYER, W. A. (1942). *Further observations on the occurrence and size of ant mounds with reference to their age*. Ecology 23(4): 486-490.
- EIDMANN, H. (1927). *Weitere Beobachtungen über den Nutzen der roten Waldameise*. Anzeiger für Schädlingskunde 3(5): 49-51.
- GEOINFORMATIONEN KANTON LUZERN (2014). *Natur- und Kulturobjekte im Wald - Geoportal Kanton Luzern*. Zugriff: 29.08.2014, <http://www.geo.lu.ch/map/waldobjekte/#>.
- GOOGLE MAPS (2014). *Google Maps*. Zugriff: 27.08.2014, <https://www.google.ch/maps/>.
- GÖSSWALD, K. (1989). *Die Waldameise. Biologische Grundlagen, Ökologie und Verhalten*. Wiesbaden, AULA-Verlag.
- GÖSSWALD, K. (1990). *Die Waldameise. Die Waldameise im Ökosystem Wald, ihr Nutzen und ihre Hege*. Wiesbaden, AULA-Verlag.
- GROSS, S. (2014). *Auswirkungen der Umgebung auf die Vitalität der Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch*. Zürich, ETH Zürich. Bachelorarbeit.
- HARTEBRODT, C. (1990). *Untersuchungen über Standortfaktoren und deren Wechselwirkungen bei *F. pratensis* und *F. rufa**. Freiburg i. Br., Albert-Ludwigs-Universität.
- KISSLING, E. M. (1985). *Untersuchungen über die Biotopanspruch und einen allfaelligen Rueckgang von roten Waldameisen aus der *Formica rufa*-Gruppe in der Schweiz*. Zürich, ETH Zürich. Dissertation: 12, 28-29, 58-59.
- KÜNZLI, M. (2014). *Beurteilung der Neststandorte der Roten Waldameisen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch*. Zürich, ETH Zürich. Bachelorarbeit.
- LIAUTARD, C. B., BROWN, W. D., HELM, K. R., KELLER, L. (2003). *Temporal and spatial variations of gyne production in the ant *Formica exsecta**. Oecologia 136(4): 558-564.
- NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER (2014). *NGDC Geomagnetic Calculators*. Zugriff: 15.07.2014, <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>.

NELMES, E. (1938). *A survey of the distribution of the wood ant (Formica rufa) in England, Wales and Scotland*. Journal of Animal Ecology 7: 74-104.

NOBIS, M. und HUNZIKER, U. (2005). *Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection*. Agricultural and Forest Meteorology 128(3-4): 243-250.

OTTO, D. (2005). *Die Roten Waldameisen: Die Baumeister der grossen Hügelbauten im Walde*. Hohenwarsleben, Westarp Wissenschaften.

RIDLER, T. W. und CALVARD, S. (1978). *Picture thresholding using an iterative selection method*. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 8(8): 630-632.

SCHLEPPI, P. (2014a). *Hemisfer*. Zugriff: 06.09.2014,
http://www.wsl.ch/dienstleistungen/produkte/software/hemisfer/index_DE.

SCHLEPPI, P. (2014b). *Hemisfer help 2beta2*.

SCHNIDER, A. (2014). *Interview zur Situation der Waldameisen in der Region Entlebuch*. Durchgeführt von: Gross, S., Künzli M. und Müller, D. Rengg, 03.07.2014.

SEIFERT, B. (1991). *The phenotype of the Formica rufa complex in East Germany*. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 65(1): 1-27.

SEIFERT, B. (1996). *Ameisen. Beobachten, bestimmen*. Augsburg, Naturbuch Verlag.

SUDD, J. H., DOUGLAS J. M., GAYNARD T., MURRAY D. M. UND STOCKDALE J. M. (1977). *Distribution of wood-ants (formica-lugubris zetterstedt) in a northern english forest*. Ecological Entomology 2(4): 301-313.

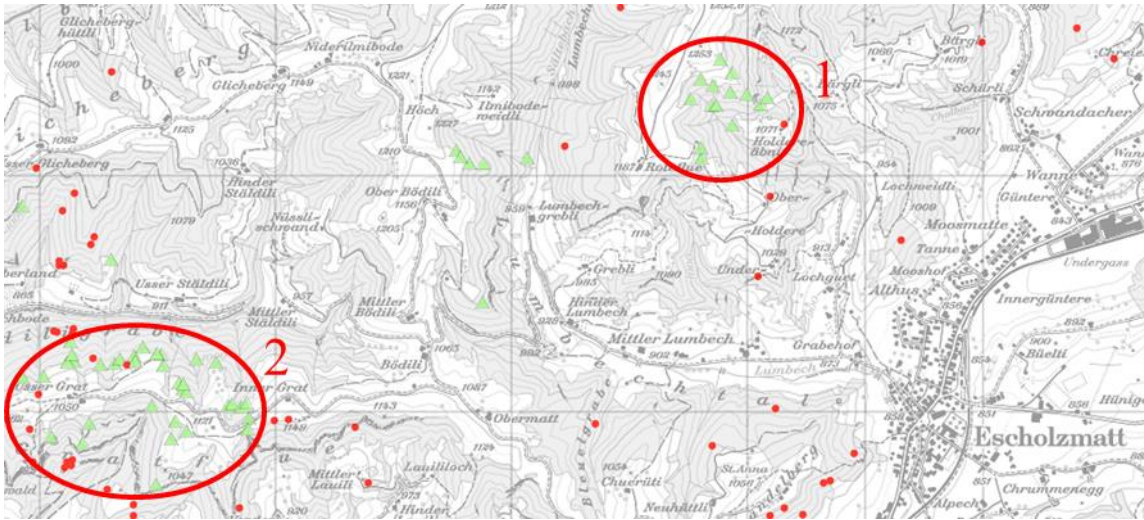
SWISSTOPO (2014). *Karten der Schweiz*. Zugriff: 10.07.2014,
<http://map.geo.admin.ch/?X=190000.00&Y=660000.00&zoom=1&lang=de&topic=ech&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe>.

WEBER, N. A. (1935). *The Biology of the Thatching Ant, Formica rufa obscuripes Forel, in North Dakota*. Ecological Monographs 5(2): 165-206.

7. Anhang

I. Karten der Gebiete

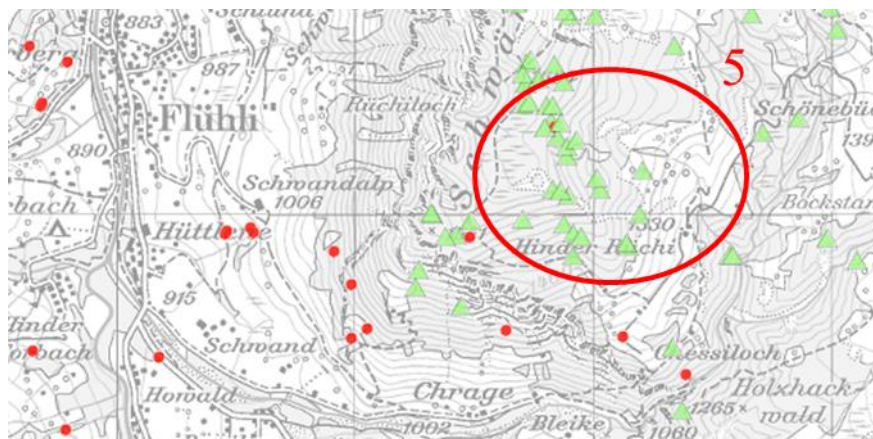
Die folgenden Kartenausschnitte zeigen die sieben Gebiete (rote Kreise), in denen für diese Arbeit Daten erhoben wurden. Die grünen Dreiecke sind bereits inventarisierte Ameisenhaufen.



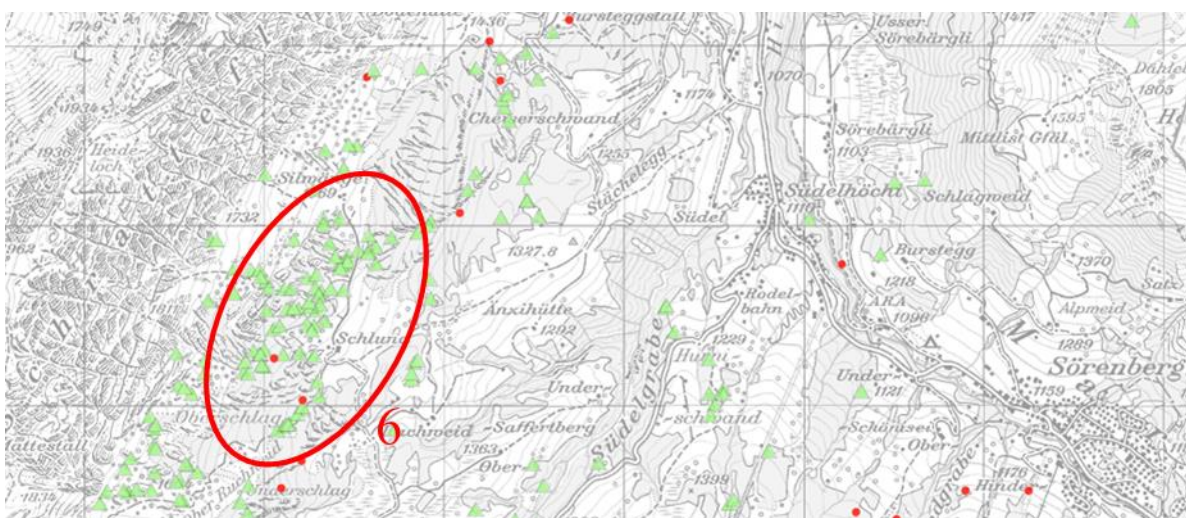
Anhang 1: Gebiete 1 & 2, westlich von Escholzmatt. Karte: Geoinformationen Kanton Luzern (2014).



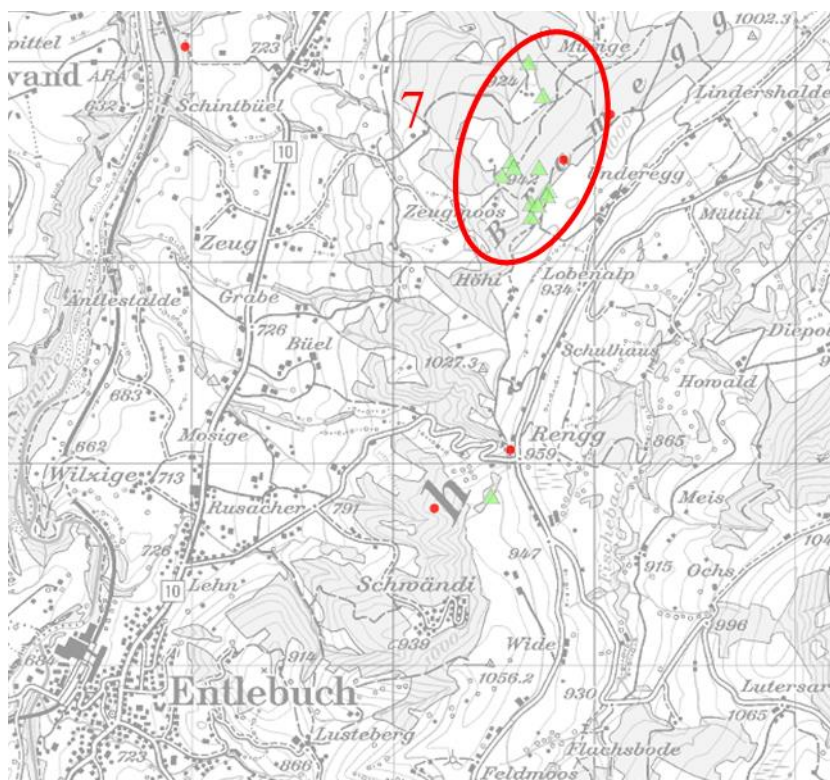
Anhang 2: Gebiete 3 & 4, westlich von Flühli. Karte: Geoinformationen Kanton Luzern (2014).



Anhang 3: Gebiet 5, Schwändilflue, östlich von Flüeli. Karte: Geoinformationen Kanton Luzern (2014).



Anhang 4: Gebiet 6, westlich von Sörenberg. Karte: Geoinformationen Kanton Luzern (2014).



Anhang 5: Gebiet 7, nordöstlich von Entlebuch, nördlich von Rengg.
 Karte: Geoinformationen Kanton Luzern (2014).

II. Resultate: Anzahl Sonnenminuten

Anhang 6: Durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Standort [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung] sowie die in Stunden pro Tag umgerechneten Mittelwerte der Sonnenscheindauer und die Stichprobengrößen pro Standort.

Standort	Sonnenscheindauer [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung]	Sonnenscheindauer [h / d]	N
Wald	46'407 ± 26'332	3.63	49
Waldrand	58'979 ± 25'590	4.61	76
Wegrand	37'011 ± 24'551	2.9	10
Wiese	89'809 ± 19'733	7.03	24

Anhang 7: Durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Art [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung] sowie die in Stunden pro Tag umgerechneten Mittelwerte der Sonnenscheindauer und die Stichprobengrößen pro Art.

Art	Sonnenscheindauer [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung]	Sonnenscheindauer [h / d]	N
<i>F. polycytena</i>	45'408 ± 29'266	3.55	48
<i>F. rufa</i>	64'090 ± 27'221	5.01	111

Anhang 8: Durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Gebiet [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung] sowie die in Stunden pro Tag umgerechneten Mittelwerte der Sonnenscheindauer und die Stichprobengrößen pro Gebiet.

Gebiet	Anzahl Sonnenminuten [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung]	Sonnenscheindauer [h / d]	N
1	54'286 ± 24'323	4.25	24
2	46'318 ± 32'048	3.62	27
3	63'642 ± 34'969	4.98	25
4	49'768 ± 24'479	3.89	15
5	76'877 ± 20'549	6.02	20
6	61'292 ± 23'121	4.8	23
7	57'156 ± 30'121	4.47	25

Anhang 9: Durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Art und Standort [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung] sowie die Stichprobengrößen pro Art und Standort.

Art	Standort	Anzahl Sonnenminuten [min / Aktivitätsperiode ± Standardabweichung]	N
<i>F. polycтена</i>	Wald	13'624 ± 6'018	7
	Waldrand	48'067 ± 25'144	38
	Wegrand	31'920 ± Kein Wert	1
	Wiese	112'872 ± 4'620	2
<i>F. rufa</i>	Wald	52'659 ± 24'962	42
	Waldrand	69'328 ± 21'845	38
	Wegrand	37'576 ± 25'971	9
	Wiese	87'713 ± 19'241	22

III. Resultate: Direkte, effektive Sonneneinstrahlung

Anhang 10: Durchschnittliche Sonneneinstrahlung [W/m^2] pro Standort sowie die dazugehörigen Standardabweichungen und Stichprobengrößen.

Standort	Sonneneinstrahlung [$W/m^2 \pm$ Standardabweichung]	N
Wald	50.16 ± 31.07	49
Waldrand	48.01 ± 28.87	76
Wegrand	45.07 ± 32.96	10
Wiese	88.54 ± 22.54	24

Anhang 11: Durchschnittliche Sonneneinstrahlung [W/m^2] pro Art sowie die dazugehörigen Standardabweichungen und Stichprobengrößen.

Art	Sonneneinstrahlung [$W/m^2 \pm$ Standardabweichung]	N
<i>F. polycytena</i>	33.73 ± 22.97	48
<i>F. rufa</i>	63.54 ± 31.8	111

Anhang 12: Durchschnittliche Sonneneinstrahlung [W/m^2] pro Gebiet sowie die dazugehörigen Standardabweichungen und Stichprobengrößen.

Gebiet	Sonneneinstrahlung [$W / m^2 \pm$ Standardabweichung]	N
1	52.07 ± 27.89	24
2	28.99 ± 22.29	27
3	66.54 ± 36.16	25
4	46.03 ± 25.96	15
5	89.81 ± 24.4	20
6	66.9 ± 25.29	23
7	37.44 ± 19.18	25

IV. Resultate: Hügelvolumen

Anhang 13: Hügelvolumen [$m^3 \pm$ Standardabweichung] und Stichprobengrösse pro Standort.

Standort	Hügelvolumen [m^3]	N
Wald	$0.71 m^3 \pm 1.14$	49
Waldrand	$0.66 m^3 \pm 0.71$	76
Wegrand	$0.94 m^3 \pm 1.30$	10
Wiese	$0.28 m^3 \pm 0.38$	24

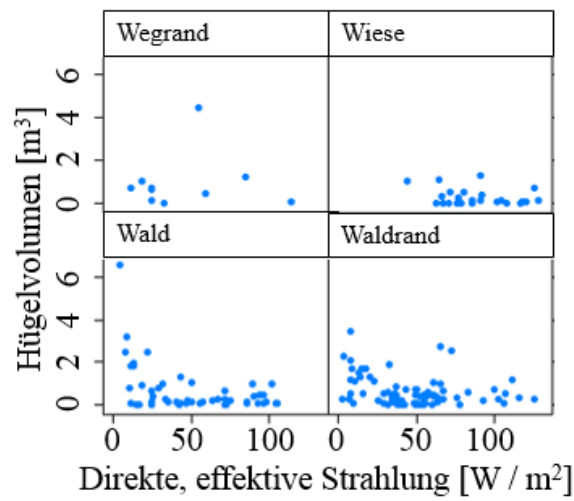
Anhang 14: Hügelvolumen [$m^3 \pm$ Standardabweichung] und Stichprobengrösse pro Art.

Art	Hügelvolumen [m^3]	N
<i>F. polycytena</i>	$0.91 m^3 \pm 1.12$	48
<i>F. rufa</i>	$0.52 m^3 \pm 0.73$	111

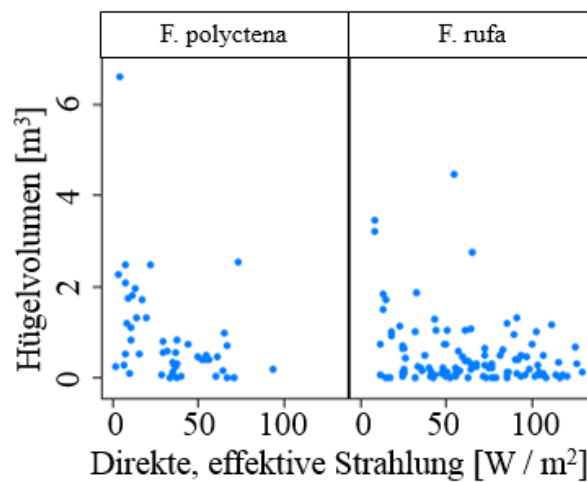
Anhang 15: Hügelvolumen [$m^3 \pm$ Standardabweichung] und Stichprobengrösse pro Gebiet.

Gebiet	Hügelvolumen [m^3]	N
1	$0.66 m^3 \pm 0.98$	24
2	$0.98 m^3 \pm 1.28$	27
3	$0.52 m^3 \pm 0.43$	25
4	$0.21 m^3 \pm 0.22$	15
5	$0.37 m^3 \pm 0.39$	20
6	$0.34 m^3 \pm 0.44$	23
7	$1.08 m^3 \pm 1.13$	25

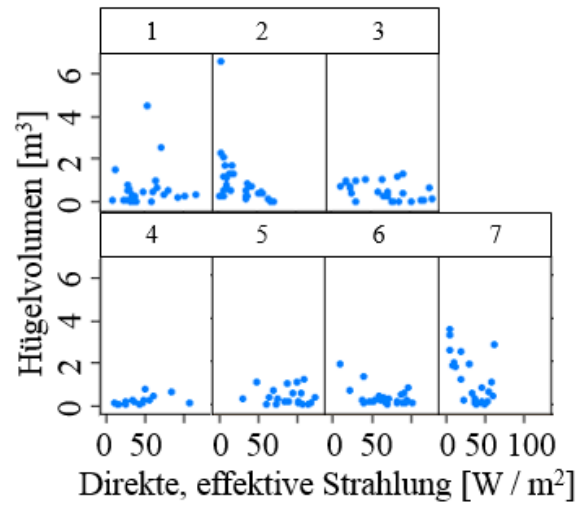
V. Grafiken: Beziehung zwischen Hügelvolumen und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung



Anhang 16: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m³] und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung [W / m²], aufgeteilt nach Standort.



Anhang 17: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m³] und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung [W / m²], aufgeteilt nach Art.



Anhang 18: Beziehung zwischen Hügelvolumen [m³] und direkter, effektiver Sonneneinstrahlung [W / m²], aufgeteilt nach Gebiet.

VI. *Impressionen*

Die Fotos wurden alle während den Felderhebungen zwischen dem 23.06.14 und 04.07.14 durch Simon Gross, Manja Künzli oder David Müller aufgenommen.



Anhang 19: Die Ameisenhügel sind in verschiedensten Grössen, Formen und Umgebungen anzutreffen.



Anhang 20: Auch an unerwarteten Orten waren die Hügel anzutreffen. Hier direkt an einen mehr als 100m tiefen Abgrund angrenzend.



Anhang 21: Um einen Hügel zu finden, mussten wir manchmal bloss der Ameisenstrasse folgen.



Anhang 22: Die Zeit in der Natur und auf der Suche nach dem nächsten Haufen hat Spass gemacht. Von links nach rechts: Manja Künzli, David Müller und Simon Gross.