



MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Einfluss von Umweltparametern auf den Sucherfolg
von Borkenkäferspürhunden“

verfasst von / submitted by

Sonja Lambert, BSc.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Master of Science (MSc)

Wien, 2021 / Vienna, 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 879

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Naturschutz
und Biodiversitätsmanagement

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Dr. Thomas Wrbka

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Mag. Dr. Bea Maas

Zusammenfassung

Borkenkäfer verursachen immer größere Mengen an Schadholz. 2018 waren es allein in Österreich 5 Millionen Festmeter. Ein Befall wird von Menschen oft erst spät entdeckt, da die optische Suche viel Aufwand und Vorkenntnisse erfordert.

Spürhunde können auf Borkenkäferpheromone trainiert und danach gezielt für die Suche der Schädlinge eingesetzt werden. Von welchen Umweltparametern der Sucherfolg beeinflusst wird, ist jedoch noch kaum erforscht.

Von Juni bis September 2021 wurden in einem Fichtenforst bei Untertullnerbach Erhebungen von Umweltparametern (Lufttemperatur, Temperatur am Baumstamm, Windrichtung und -geschwindigkeit, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit am Baumstamm, Bewölkung, Besonnung des Stammes) durchgeführt. Die gleichen Parameter wurden auch an zwei Tagen beim Training mit zwölf Borkenkäferspürhunden erfasst, um Rückschlüsse zu ziehen bei welchen Bedingungen Spürhunde die Proben am schnellsten finden und wann diese vorherrschen. Insgesamt wurden 77 Suchen durchgeführt und analysiert. In 75 Fällen konnten die Hunde die künstliche Geruchsprobe erfolgreich aufspüren.

Bei den Faktoren Bewölkung und Besonnung konnten keinerlei Einflüsse auf die Suchgeschwindigkeit festgestellt werden. Die Ergebnisse im Hinblick auf die Strömungsrichtung lieferten kein klares Bild. Eine Analyse wurde durch eine dominante Strömungsrichtung (seitlich) erschwert. Eine signifikante Korrelation konnte zwischen Lufttemperatur und Suchgeschwindigkeit (positiv) sowie zwischen Strömungs- und Suchgeschwindigkeit (negativ) festgestellt werden.

Temperaturen ab 10°C und Strömungsgeschwindigkeiten bis maximal 1 m/s wirken sich positiv auf die Suchgeschwindigkeit aus. Die Suche von Borkenkäferspürhunden bei diesen Bedingungen anzusetzen, könnte den Sucherfolg begünstigen. Dadurch könnten potenzielle Schäden durch Borkenkäfer minimiert und Wälder besser geschützt werden.

Schlüsselwörter: *Ips typographus*, Fichtenforst, Forstschädlinge, Klimawandel, Naturschutzspürhunde, *Picea abies*, Schädlingsbekämpfung, Spürhunde, Umweltparameter

Abstract

Bark beetles cause increasingly high numbers of damaged wood. In 2018 the number accounted to 5 million cubic meters in Austria alone. An infestation is often not recognized early enough as it requires extensive work and background knowledge. Scent detection dogs can be trained to detect bark beetle pheromones and then be used in their search. The influence of environmental parameters on search success has not yet been scientifically investigated.

Between June and September 2021, we conducted a survey of several environmental parameters (air temperature, temperature at the tree trunk, wind speed, wind direction, air flow speed, air flow direction, cloud cover, insolation) in a spruce forest near Untertullnerbach. Additionally, we recorded the same parameters during a training of twelve bark beetle detection dogs in order to investigate which parameters affect the search speed and when ideal conditions most likely occur. In total 77 searches have been conducted and analysed. In 75 cases the dogs successfully located the artificial pheromones.

The factors cloud cover and insolation had no influence on search speed. The results in regard to air flow direction did not provide a clear picture due to the dominance of one air flow direction (laterally). A significant correlation was found between air temperature and search speed (positive) and between air flow speed and search speed (negative).

Temperatures from 10°C and air flow speeds up to 1 m/s increase search speed. Scheduling searches under these conditions, could have a positive influence on search success. This could minimize potential damage from bark beetles and help protect forests.

Key words: climate change, conservation detection dogs, environmental parameters, forest pests, *Ips typographus*, pest control, *Picea abies*, scent detection dogs, spruce forest

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Thomas Wrbka und Bea Maas für die Betreuung meiner Masterarbeit bedanken. Herrn Leopold Slotta-Bachmayr danke ich ebenfalls für die Betreuung sowie für die Bereitstellung der Messgeräte und die Koordination mit den HundehalterInnen.

Vielen Dank auch an die Österreichischen Bundesforste, insbesondere Herrn Friedrich Holzinger für die Zurverfügungstellung der Untersuchungsflächen in Untertullnerbach und die freundliche Unterstützung!

Ein besonderer Dank gebührt allen HundehalterInnen und ihren Hunden, die sich bereit erklärt haben an meinen Versuchen teilzunehmen.

Zu guter Letzt möchte ich mich auch noch bei meinen Eltern Gudrun und Josef bedanken, die mir dieses Studium erst ermöglicht haben und bei allen Familienmitgliedern, FreundInnen und meinem Partner Alpar für die emotionale Unterstützung und für all eure wertvollen Ratschläge. Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Naturschutzspürhunde	2
1.2	Gerüche und ihre Ausbreitung	3
1.2.1	Pheromone	4
1.2.2	Geruchswahrnehmung beim Hund	4
1.2.3	Training von Borkenkäfer-Spürhunden und Potential zur Optimierung	5
1.3	Borkenkäfer und ihre Rolle als Forstschädling	5
1.3.1	Buchdrucker (<i>Ips typographus</i>)	5
1.3.2	Einfluss auf die Forstwirtschaft	7
1.3.3	Relevanz für Naturschutz	8
1.4	Ziel der Arbeit und Forschungsfragen	9
2	Methodik	10
2.1	Messungen	10
2.1.1	Untersuchungsgebiet	10
2.1.2	Geräte	11
2.1.2.1	Hitzedraht-Anemometer (<i>Smart Probes - testo 405i</i>)	11
2.1.2.2	Infrarot-Thermometer (<i>Smart Probes – testo 810</i>)	11
2.1.2.3	Cirrus Wind Indikator	11
2.1.3	Ablauf der Messungen	12
2.1.3.1	Windrichtung	12
2.1.3.2	Wind- und Strömungsgeschwindigkeit	13
2.1.3.3	Strömungsrichtung	13
2.1.3.4	Besonnung des Stammes	13
2.1.3.5	Temperatur	14
2.1.3.6	Bewölkung	14
2.2	Versuchsdesign mit den Borkenkäferspürhunden	14
2.2.1	Versuchsgebiet	14
	15
2.2.2	Hunde	15
2.2.3	Versuchsablauf	16
2.3	Auswertung	16
3	Ergebnisse	17
3.1	Messungen	17
3.2	Versuche	17

3.2.1	Ausgewählte Deskriptive Statistik.....	17
3.2.2	Korrelationen und Zusammenhänge	19
3.2.3	Multiple Regression	20
4	Diskussion	22
5	Quellen.....	26
6	Anhang.....	30
6.1	Abbildungsverzeichnis	30
6.2	Tabellenverzeichnis	30
6.3	Ergebnisse der Messungen in Untertullnerbach	31
6.3.1	Temperatur.....	31
6.3.2	Wind- und Strömungsgeschwindigkeit	31
6.3.3	Strömungsrichtung.....	32
6.3.4	Bewölkung.....	34
6.4	Aufnahmeblatt Messungen	34
6.5	Aufnahmeblatt Versuche.....	36

1 Einleitung

Spürhunde in der Polizeiarbeit oder im Rettungswesen sind allgemein bekannt. Doch auch auf anderen Gebieten leisten Hunde mittlerweile vielfältige und wertvolle Arbeit. Dazu zählt unter anderem ihr Einsatz im Natur- und Artenschutz. Diese Art der Arbeit mit Hunden ist bisher noch kaum wissenschaftlich untersucht und dokumentiert (Beebe et al., 2016). Dennoch gibt es bereits zahlreiche unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten (siehe Tabelle 1). Manche Hunde werden auf das Auffinden von Tierkadavern trainiert, andere für das Aufspüren lebender Tiere oder ihrer Hinterlassenschaften (Grimm-Seyfarth, Harms, & Berger, 2021). Spürhunde eignen sich auch gut um invasive oder schädliche Arten, wie den Borkenkäfer, aufzuspüren. Borkenkäfer stellen sowohl für die Forstwirtschaft als auch für die Umwelt eine Bedrohung dar (Hlásny et al., 2019). In Österreich wird seit dem Jahr 2002 ein signifikanter Anstieg von Schäden durch Borkenkäfer verzeichnet. 2018 betrug der Schaden bundesweit sogar 5 Millionen Festmeter (Hoch & Perny, 2019). Da Wäldern eine wichtige Funktion als Kohlenstoffspeicher zukommt, ist ein großflächiger Verlust auch für Umwelt und Klima verheerend (Hlásny et al., 2019). Um möglichst viele Waldflächen zu erhalten, sollte ein Befall so früh wie möglich entdeckt werden. Dafür sind Spürhunde besonders gut geeignet, da sie den Geruch der Käfer bereits wahrnehmen, bevor visuelle Anzeichen vorhanden sind (Johansson et al., 2019). Ohne die Hilfe von Hunden wird ein Befall meist erst erkannt, wenn die Invasion schon weit fortgeschritten ist. Oft sind dann bereits Bäume im Umkreis von bis zu 500 m betroffen (Wermelinger, 2004; Maas & Slotta-Bachmayr, 2020). In mehreren Studien zeigte sich außerdem eine verbesserte Fundrate mithilfe von Spürhunden (Woollett et al., 2014; DeMatteo et al., 2019, Domínguez del Valle et al., 2020; Maas & Slotta-Bachmayr, 2020)(siehe Abbildung 1). Auch die Dauer der Suche kann durch den Einsatz von Spürhunden reduziert werden (Mosconi et al., 2017; Maas & Slotta-Bachmayr, 2020) (siehe Abbildung 1). Hlásny et al. (2019) fanden zudem heraus, dass Borkenkäfer-Spürhunde einen Befall aus einer Entfernung von bis zu 150 m erkennen, was bei visueller Inspektion durch einen Menschen nicht möglich ist.

Tabelle 1 Auswahl verschiedener Einsatzmöglichkeiten von Spürhunden

Einsatzbereich	Intention	Zielgeruch (Beispiele)	Quelle
Naturschutz	Aufspüren von Tieren für ihre Umsiedlung	Kiwis, Kakapo	Woollett et al., 2014
Naturschutz	Wildtiermonitoring, Wildtierzählungen, andere Forschungszwecke	diverse Tiere & deren Hinterlassenschaften (Kot, etc.), z.B. Wildkatze, Wolf, Bär, Luchs	Browne et al., 2006; Hurt & Smith, 2009; Mosconi et al., 2017; Grimm-Seyfarth et al., 2021
Naturschutz	Klärung von Todesursachen von Wildtieren	diverse Tierkadaver, u.a. von verschiedenen Vogelarten	Browne et al., 2006; Grimm-Seyfarth et al., 2021
Naturschutz	Aufspüren von invasiven Arten	diverse, u.a. Borkenkäfer, Roter Palmrüssler, Asiatischer Laubholzbockkäfer	Browne et al., 2006; Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009; Grimm-Seyfarth et al., 2021
Polizei	Auffinden von vermissten oder kriminellen Personen	Menschen	Browne et al., 2006; Grimm-Seyfarth et al., 2021
Militär, Polizei	Auffinden von Sprengstoff	diverse Sprengstoffarten, z.B. C4	Gazit & Terkel, 2003
Polizei, Zollbehörden	Auffinden von Drogen	Marihuana, Metamphetamine, Heroin, etc.	Marks, 2002; Browne et al., 2006
Zollbehörden	Auffinden von illegal transportierten Tier- und Pflanzenarten, u.a. auch invasive Arten	diverse, u.a. Braune Nachtbaumnatter, Elfenbein	Browne et al., 2006; Grimm-Seyfarth et al., 2021
Rettungswesen	Auffinden von vermissten Personen	Menschen	Browne et al., 2006
Medizin	Krebsdiagnostik, v.a. im Frühstadium	Krebszellen	Jendry et al., 2021
Medizin	andere Krankheitsdiagnostik, z.B. COVID-19, Malaria, Parkinson	VOCs (volatile organic compounds), die von kranken menschlichen Zellen produziert werden	Jendry et al., 2020; Dickey & Junqueira, 2021
Medizin	frühzeitiges Erkennen von medizinischen Notfällen, z.B. Unterzuckerung, epileptische Anfälle	veränderter Körpergeruch, eventuell in Zusammenhang mit nicht-olfaktorischen Signalen	Browne et al., 2006

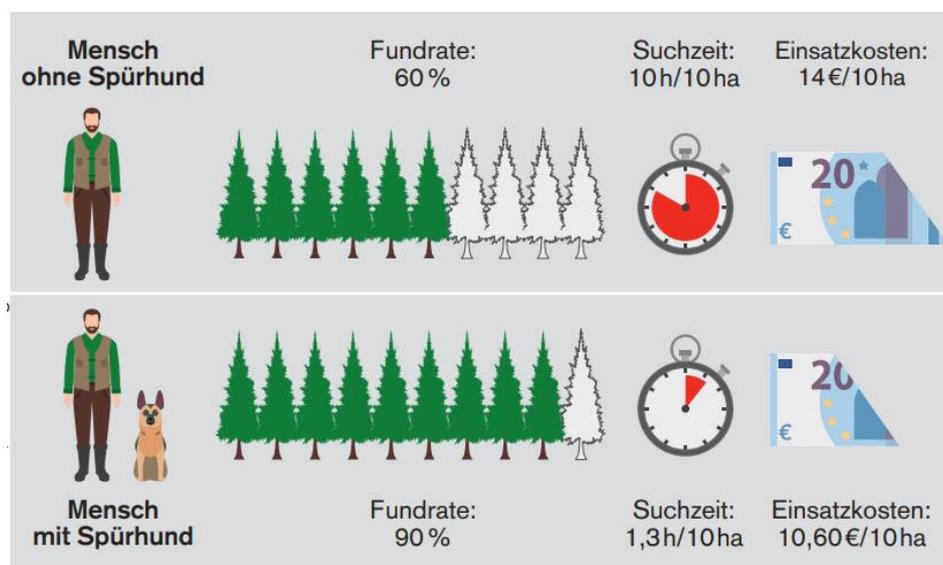


Abbildung 1 Vorteile eines Einsatzes von Borkenkäferspürhunden im Vergleich zur herkömmlichen Suche durch den Mensch (Maas & Slotta-Bachmayr, 2020)

1.1 Naturschutzspürhunde

Die Geschichte der Naturschutzspürhunde reicht zurück bis in die 1890er Jahre (Woollett et al., 2014). Der erste dokumentierte Einsatz erfolgte in Neuseeland. Dort wurden verschiedene Jagdhundarten trainiert um gefährdete flugunfähige Vögel, wie zum Beispiel Kiwis (*Apteryx sp.*), aufzuspüren. Einmal gefunden, konnten

Naturschützer diese Vögel in ein sicheres, prädatorenfreies Gebiet umsiedeln (Woollett et al., 2014).

Zumindest seit 2009 werden Hunde auf das Auffinden des Asiatischen Laubholzbockkäfers (*Anoplophora glabripennis* & *Anoplophora chinensis*) trainiert, welcher ein nach Europa eingeschleppter Holzschädling ist. Das Bundesforschungszentrum für Wald hat für Ausbildung und Einsatz dieser Spürhunde sogar ein eigenes Programm ins Leben gerufen (Hoyer-Tomiczek et al., 2016).

Im Bereich des Managements bedrohter Arten werden Spürhunde vorwiegend für die Suche nach Säugetieren, Vögeln oder Reptilien eingesetzt (Mosconi et al., 2017). Dennoch gibt es auch einige Projekte, die sich auf andere Artengruppen fokussieren. Unter anderem werden Hunde für das Monitoring des gefährdeten Käfers *Osmoderma eremita* eingesetzt (Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009; Mosconi et al., 2017). Diese Maßnahme wurde im Rahmen eines LIFE Projektes von 2012-2017 von der EU gezielt gefördert (Carpaneto et al., 2017).

1.2 Gerüche und ihre Ausbreitung

Ob ein Spürhund eine Geruchsquelle auffinden kann, liegt vor allem daran, wie sich die Geruchsmoleküle ausbreiten. Nur wenn genügend Moleküle auf die Riechschleimhaut des Hundes treffen, kann dieser den Geruch tatsächlich wahrnehmen. Der Transport der Geruchsmoleküle wird von verschiedenen Variablen beeinflusst, insbesondere von Windgeschwindigkeit und -richtung. Bei hohen Windgeschwindigkeiten werden die Geruchsmoleküle schnell weitertransportiert, nicht nur parallel zur Windrichtung, sondern aufgrund von Turbulenzen auch aufwärts und seitlich relativ zur Windrichtung. Trifft der Luftstrom auf ein Hindernis (z.B. auf Bäume im Wald), kommt es zu weiteren Verwirbelungen. So ergeben sich komplexe Ausbreitungsmuster. Bei Windstille ist die Ausbreitung der Geruchsmoleküle nur von molekularer Diffusion getrieben. Die Geruchsmoleküle breiten sich in konzentrischen Kreisen von der Quelle aus, wobei die Konzentration nach außen hin schwächer wird. Bei solchen Verhältnissen muss der Hund sich näher an der Geruchsquelle befinden, um sie auffinden zu können (Cablak et al., 2008). Wie sich die Ableitung der Geruchsmoleküle direkt am Baumstamm (=Strömungsrichtung) auf den Sucherfolg auswirkt, wurde bisher noch nicht untersucht.

Auch die Temperatur beeinflusst die Ausbreitung von Geruchsmolekülen. Warme Temperaturen erhöhen die Evaporation und sorgen so für eine weitere Verbreitung der Geruchsmoleküle (Cablak et al., 2008). Jedoch können extreme Temperaturen, Trockenheit, hohe Windgeschwindigkeiten oder Niederschläge zu einer ungünstigen

Ausbreitung führen, sodass die Geruchsstoffkonzentration in der Luft sinkt oder die Moleküle zu stark verwirbelt werden. Solche Bedingungen erschweren die Arbeit der Spürhunde (Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009). Grenzwerte wurden für diese Parameter bislang nicht ermittelt. Auch der Einfluss von Bewölkung ist noch unbekannt.

1.2.1 Pheromone

Pheromone stellen eine spezielle Art von Geruchsquelle dar. Es handelt sich dabei chemische Botenstoffe, mit deren Hilfe Organismen derselben Art Signale untereinander austauschen. Pheromone beeinflussen vor allem das Sexualverhalten, können aber auch andere Funktionen übernehmen (Stowers & Marton, 2005). Borkenkäfer verwenden Pheromone unter anderem für die Induzierung des Massenansflugs. Mit ihrer Hilfe signalisieren Borkenkäfer einander die Lokalisation geeigneter Bruthabitate. In weiterer Folge werden diese Habitate von einer großen Anzahl an Individuen besiedelt (Kohnle, 1985). Borkenkäferpheromone können jedoch auch von anderen Arten wahrgenommen werden, wie zum Beispiel von Hunden. Diese Fähigkeit bildet die Grundlage für eine Ausbildung zu Borkenkäferspürhunden (Johansson et al., 2019).

1.2.2 Geruchswahrnehmung beim Hund

Die Empfindlichkeit für einen Geruch hängt physiologisch gesehen von der Anzahl der Riechzellen am Riechepithel ab (zu Waldeck & Frings, 2005). Das Riechepithel von Hunden ist nicht nur bedeutend größer als jenes der Menschen, sondern verfügt auch über erheblich mehr Riechzellen. Die genaue Anzahl der Riechzellen variiert stark zwischen Rassen und auch Individuen und kann bei Hunden bis zu 220 Millionen betragen, während Menschen maximal 5 Millionen Riechzellen besitzen (Jenkins et al., 2018).

Im Nasenraum verfügen Hunde zudem über ein sogenanntes Vomeronasalorgan, das den Geruchssinn noch weiter verbessert. Dieses Organ hat eigene Rezeptorzellen, welche vermutlich auf die Erkennung von Pheromonen spezialisiert sind (Miklósi, 2015). Zusätzlich können Hunde durch aktives Schnüffeln die Konzentration der Geruchsmoleküle in ihrer Nasenhöhle erhöhen (Miklósi, 2015). Dies führt dazu, dass die Moleküle mit höherer Wahrscheinlichkeit auf entsprechende Rezeptorzellen treffen und vom Hund weiterverarbeitet werden können (Miklósi, 2015). Dieser ausgeprägte Geruchssinn ermöglicht es Hunden, Gerüche in extrem niedrigen Konzentrationen von bis zu 500 ppt (parts per trillion) aufzuspüren (Johnston, 1999).

1.2.3 Training von Borkenkäfer-Spürhunden und Potential zur Optimierung

Das Training von Borkenkäfer-Spürhunden wird in der Regel mit künstlichen Borkenkäfer-Pheromonen durchgeführt. Dennoch können trainierte Spürhunde auch natürliche Geruchsquellen aufspüren (Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009). Es ist wichtig, dass die Hunde tatsächlich auf den Zielgeruch trainiert werden, nicht auf den Geruch von etwaigen Behältern oder Trägerstoffen, wie Wattepads (Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009, Johansson et al., 2019; Maas & Slotta-Bachmayr, 2020). Der Einfluss von Umweltparametern (z.B. Temperatur, Windbedingungen, etc.) auf den Sucherfolg wurde bisher noch nicht genauer untersucht (Reed et al., 2011). Daher ist auch nicht bekannt welche Bedingungen den Erfolg begünstigen, beziehungsweise wann diese Bedingungen im tages- und jahrezeitlichen Verlauf vorliegen. Das Training der Hunde könnte dahingehend eventuell noch optimiert werden.

1.3 Borkenkäfer und ihre Rolle als Forstschädling

Als Borkenkäfer (Scolytinae) wird eine Unterfamilie der Rüsselkäfer (Curculionidae) bezeichnet (Hulcr et al., 2015). Innerhalb der Scolytinae gibt es große Unterschiede in der Biologie und Ökologie der einzelnen Arten (Raffa et al., 2015). Zu den wirtschaftlich bedeutendsten gehören der Buchdrucker (*Ips typographus*), der Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) und der Gestreifte Nutzholzborkenkäfer (*Trypodendron lineatum*) (Schlyter & Cederholm, 2009; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft [WSL], 2021). Der Buchdrucker wird gemeinhin als der bedeutendste Forstschädling in Mitteleuropa und Nordamerika angesehen (Schlyter & Cederholm, 2009; Blomquist et al., 2010; WSL, 2021). Diese Arbeit konzentriert sich daher auf diese Art.

1.3.1 Buchdrucker (*Ips typographus*)

Die adulten Käfer erreichen eine Größe von zirka fünf Millimetern. Ihr behaarter Körper ist zylindrisch geformt und braun gefärbt (siehe Abbildung 2) (Wermelinger & Jakoby, 2019). Einen ausgeprägten Sexualdimorphismus gibt es nicht, die Geschlechter sind für Laien daher kaum voneinander zu unterscheiden (Schlyter & Cederholm, 2009). Der Buchdrucker ist ein wärmeliebender Käfer. Die höchste Flugaktivität zeigen die Tiere bei Lufttemperaturen von 22-26°C (Wermelinger B., 2004). Steigende Temperaturen ermöglichen es der Art, mehrere Generationen pro Jahr hervorzubringen. In Mitteleuropa sind drei Generationen jährlich mittlerweile die Norm (Harding & Ravn, 2009; Davidková & Doležal, 2017). Außerdem sind Bäume bei großer Hitze weniger widerstandsfähig (Hoch & Perny, 2019). Die Mortalitätsrate von Käfern, die in Totholz überwintern, liegt bei zirka 50%, diese Rate sinkt jedoch

aufgrund der steigenden Temperaturen (Wermelinger, 2004). Eine weitere Erwärmung des Klimas, würde demnach mit großer Wahrscheinlichkeit auch eine größere Belastung durch den Buchdrucker nach sich ziehen.

Buchdrucker befallen vorwiegend ältere Fichten (*Picea abies*) ab einem Alter von etwa 60 Jahren. Oft sind diese bereits erkrankt oder geschwächt. Jedoch vermehren sich die Käfer unter geeigneten Bedingungen (adäquate Temperatur, genügend Totholz, etc.) exponentiell und befallen dann auch gesunde Bäume (Davidková & Doležal, 2017). Solche Massenvermehrungen sind in den letzten 50 Jahren häufiger aufgetreten, was vermutlich zumindest teilweise auf die Klimaerwärmung zurückzuführen ist (Hlásny et al., 2019; Hoch & Perny, 2019; Lässig, 2019; MULNV, 2019; Müller & Imhof, 2019).

Männliche Borkenkäfer schwärmen zuerst aus und bohren in den Wirtsbaum zunächst eine Eingangsröhre, hinter der sie die sogenannte Rammelkammer anlegen. Das bei diesem Vorgang entstehende Bohrmehl ist eines der wenigen Erkennungszeichen für einen Borkenkäferbefall, welches von außen sichtbar ist. Von der Rammelkammer ausgehend bohren die Weibchen Brutgänge. Dort werden die Eier abgelegt, aus denen nach ein bis zwei Wochen weiße, beinlose Larven schlüpfen. Diese fressen sich quer zum Brutgang in Schlangenlinien durch das Holz. So entsteht das charakteristische Fraßbild (siehe Abbildung 2), das für den Buchdrucker namensgebend ist. Durch den Fraßvorgang wird die Versorgung des Baumes gestört, der Baum verendet schließlich. In weiterer Folge entwickelt sich die Larve zu einem Jungkäfer und legt weitere Fraßgänge an, wobei das ursprüngliche Fraßbild zerstört wird und die Rinde sich allmählich vom Stamm ablöst. Nach maximal zwölf Wochen ist das adulte Stadium erreicht und die Käfer verlassen den Baum. Die Lebensdauer über alle Stadien hinweg beträgt zirka 20 Monate (Otto, 2019).



Abbildung 2 Der Buchdrucker – adultes Individuum (*Ips typographus*) und sein Fraßbild, Quelle: Hlásny et al., 2019

1.3.2 Einfluss auf die Forstwirtschaft

Viele Forstbetriebe in Mitteleuropa setzen hauptsächlich auf die Fichte (*Picea abies*). Sie wächst nicht nur vergleichsweise schnell, sondern auch besonders gerade, was ihr Holz begehrt und leicht zu verarbeiten macht. Doch seit einigen Jahren wird vermehrt vom Fichtensterben gesprochen. Dafür ist unter anderem der Borkenkäfer verantwortlich, denn er befällt fast ausschließlich die Fichte und verursacht dabei enorme Schäden. Während naturnahe Wälder mit einem Borkenkäferbefall oft relativ gut zurechtkommen, sind homogene Wälder – wie Fichtenforste – weniger widerstandsfähig, da sie die Reproduktion und Verbreitung des Schädlings begünstigen (Hlásny et al., 2019; Hlásny et al., 2021).

Der Borkenkäfer stellt in vielen Ländern eine massive wirtschaftliche Bedrohung dar. In der Schweiz wurden 2018 allein vom Buchdrucker 735,000 Festmeter Fichtenholz befallen, was eine Verdopplung im Vergleich zum Vorjahr darstellte. Die Kantone an der Alpennordseite waren davon stärker betroffen, da hier Frühling und Sommer trockener und wärmer waren als im Rest der Schweiz (Lässig, 2019).

Auch in Deutschland kam es 2018 nach ausgedehnten Hitze- und Dürreperioden zu einer explosionsartigen Vermehrung von Borkenkäfern. Allein in Nordrhein-Westfalen wurde der Schaden mit 2 Millionen Festmetern beziffert. Um die Folgen dieser Massenvermehrung zu bewältigen und künftigen Schäden vorzubeugen, wurde sogar eine eigene „Task Force Borkenkäfer“ eingerichtet (Otto, 2019). Dennoch setzte sich die Problematik weiterhin fort. Begünstigt durch warme Temperaturen überlebten geschätzte 6.9 Millionen Individuen pro Hektar den Winter 2018/2019. Der anhaltenden Borkenkäfer-Kalamität fielen im Jahr 2019 (nur bis November) 12 Millionen Festmeter Fichtenholz zum Opfer (MULNV, 2019).

In Tschechien zeigt sich ein ähnliches Bild. Im Jahr 2012 mussten über 650,000 Festmeter Schadholz gefällt werden (Davídková & Doležal, 2017).

Aufzeichnungen über weitere Massenvermehrungen gibt es zum Beispiel aus der Slowakei und Kanada. Es wird geschätzt, dass in den letzten vier Jahrzehnten das Schadausmaß durch Borkenkäfer um 700% gestiegen ist. Doch auch in Zukunft ist keine Entspannung der Situation zu erwarten, sondern durch den Klimawandel angekurbelt eine weitere Verschärfung. In Österreich würde eine Erwärmung von 2.4°C wahrscheinlich zu einer drei- bis fünffachen Menge an Schadholz führen (Hlásny et al., 2019).

1.3.3 Relevanz für Naturschutz

Nicht jeder einzelne Borkenkäfer ist eine Gefahr für den Naturschutz und selbst großflächige Befälle können positive Folgen haben, da sie eine Störung des Ökosystems darstellen (Fettig & Hilszczanski, 2005). Störungen haben zwar den kurzfristigen Effekt des Biomasseverlustes, können aber langfristig die Biodiversität sogar fördern (Connell, 1979; Jentsch et al., 2019). Das wurde im Zusammenhang mit Borkenkäfern unter anderem in den Nationalparks Bayrischer Wald und Yellowstone nachgewiesen (Bässler et al., 2013). Störungen durch Borkenkäferbefälle haben eine Veränderung des Mikroklimas im Wald zur Folge. Vor allem die verminderte Kronendichte hat weitreichende Auswirkungen: wärmere Böden, höhere Totholzanteile, höhere Lichtverfügbarkeit für bodennahe Vegetation, etc. (Lehnert et al., 2013; Hlásny et al., 2021). Genau diese veränderten Parameter sind es, die vielen Arten verbesserte Lebensbedingungen bieten und sie somit begünstigen. Der positive Effekt von Störungen ist jedoch abhängig von der Störungsintensität und -häufigkeit, wobei der maximale Artenreichtum bei mittlerer Störungshäufigkeit erreicht wird. Treten Störungen zu oft auf, überleben nur jene Arten, die besonders gut an die wechselnden Bedingungen angepasst sind (Connell, 1979). Für die Biodiversität in Wäldern ist weiters eine Kombination aus Bereichen mit niedrigen und Bereichen mit hohen Kronendichten wichtig (Lehnert et al., 2013). Um genügend Flächen mit hohen Kronendichten zu bewahren, sind Maßnahmen zur Eindämmung der Borkenkäfer notwendig. Denn sie sind nicht nur Haupttreiber von Störungen in europäischen Wäldern (Müller et al., 2008), sie können sich aufgrund der steigenden Temperaturen auch immer weiter ausbreiten und jährlich zusätzliche Generationen hervorbringen (Harding & Ravn, 2009; Davídková & Doležal, 2017). Prognosen zeigen zudem, dass bei einer Erwärmung von 4°C beinahe alle mitteleuropäischen Fichtenwälder einem hohen oder sehr hohen Risiko eines Borkenkäferbefalls ausgesetzt sind (Hlásny et al., 2021). Es ist daher anzunehmen, dass Störungen durch Borkenkäfer in Zukunft intensiver und häufiger auftreten werden.

Neben der erhöhten Störungsbelastung gibt es noch weitere negative Folgen, die nicht unterschätzt werden sollten. Der Verlust von Waldgebieten führt zu einer erheblichen Freisetzung von CO₂. Ein großflächiger Befall der Borkenkäferart *Dendroctonus ponderosae* verursachte zwischen 2000 und 2020 in British Columbia einen geschätzten Ausstoß von 270 Megatonnen CO₂ (Kurz et al., 2008). Außerdem führen Borkenkäferbefälle zu einer größeren Wasserverfügbarkeit im Boden sowie bei Sättigung auch zu vermehrtem Wasserabfluss (Hlásny et al., 2019). Zudem können in manchen Fällen durch großflächigen Habitatverlust Arten lokal ausgerottet werden

(Koprowski et al., 2005; Lehnert et al., 2013), was vor allem in Schutzgebieten problematisch ist, die gefährdete Arten oder isolierte Populationen beheimaten (Hlásny et al., 2021).

Im Nationalpark Bayerischer Wald gibt es beispielsweise schon seit den 1990er Jahren ein anhaltendes Borkenkäferproblem. Die dortige Epidemie führte bis 2014 zu Totholzflächen von insgesamt 6,000 ha. Ein solches Schadausmaß ist nicht nur naturschutzfachlich gesehen katastrophal, sondern hat auch auf die Bevölkerung weitreichende negative Auswirkungen (Müller & Imhof, 2019). In Österreich sind unter den Schutzgebieten besonders der Nationalpark Kalkalpen und der Nationalpark Gesäuse betroffen (Nationalparks Austria, 2013).

Wälder in niedrigen Lagen (unter 400m Seehöhe) sind durch Borkenkäfer besonders gefährdet, da die Temperaturen hier meist höher sind. Auch Wälder, die einem Sturmereignis ausgesetzt waren, werden mit höherer Wahrscheinlichkeit befallen (Hlásny et al., 2021). Nach Stürmen steht eine größere Menge an Totholz zur Verfügung, welches Borkenkäfern als Winterquartier dient und so ihre Überlebenschance im Winter verbessert (MULNV, 2019). Die verbliebenen Bäume sind oft geschwächt und daher anfälliger für Parasiten, was einen Borkenkäferbefall ebenfalls begünstigt (Hlásny et al., 2021).

1.4 Ziel der Arbeit und Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden bei welchen Umweltbedingungen Spürhunde Borkenkäfer am schnellsten auffinden und zu welcher Tageszeit die optimalen Bedingungen für Training und Suche vorherrschen. Folgende Forschungsfragen wurden formuliert:

1. Wie wirken sich folgende Umweltparameter auf die Suchgeschwindigkeit von Borkenkäferspürhunden aus?
 - a. Lufttemperatur und Temperatur am Baumstamm
 - b. Windgeschwindigkeit- und richtung
 - c. Strömungsgeschwindigkeit- und richtung
 - d. Bewölkung
 - e. Besonnung
2. Zu welcher Tageszeit herrschen durchschnittlich die optimalen Bedingungen für die Suche?

2 Methodik

Zur Erfassung der Umwelteinflüsse und ihrer tageszeitlichen Verläufe wurden zunächst an sieben Tagen zwischen Juni und September 2021 Messungen in einem Fichtenforst vorgenommen. Danach wurden Versuche mit Borkenkäferspürhunden durchgeführt, um herauszufinden bei welchen Bedingungen die Hunde am schnellsten sind.

2.1 Messungen

2.1.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Nähe des Ortes Untertullnerbach in Niederösterreich (siehe Abbildung 3) im Forstrevier Stadlhütte (48.171167 N, 16.122493 E). Das Revier ist Teil des Forstbetriebs Wienerwald und liegt im Biosphärenpark Wienerwald. Das Untersuchungsgebiet ist zudem auch als Natura 2000 Gebiet und als Vogelschutzgebiet ausgewiesen (Biosphärenpark Wienerwald Management GmbH, 2021).

Das gesamte Gemeindegebiet Untertullnerbachs inklusive des Untersuchungsgebietes wird dem Großraum der östlichen Nordalpen und der Teilregion des Flysch-Wienerwaldes zugeordnet. Klimatisch gesehen handelt es sich um ein Übergangsbereich, das auch einen pannonischen Einfluss aufweist. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt zwischen 700mm und 1000mm (Kilian et al., 1994). Es handelt sich um einen Fichtenforst mit ungleichaltrigem Bestand. Zudem sind auch einige andere Baumarten, wie Eiche, Buche und Ahorn einzeln eingestreut. Das Gebiet befindet sich ungefähr auf 300m Seehöhe.



Abbildung 3 Satellitenbild des Untersuchungsgebietes für die Messungen und der näheren Umgebung, Grundkarte: Google Maps, im Eck: Standort des Untersuchungsgebietes innerhalb von Österreich. Grundkarte: basemap.at

2.1.2 Geräte

2.1.2.1 Hitzedraht-Anemometer (*Smart Probes - testo 405i*)

Zur Messung der Windgeschwindigkeit wurde ein Hitzedraht-Anemometer verwendet. Das Gerät hat einen Messbereich von 0 m/s bis 30 m/s, wobei die Messgenauigkeit bei ± 0.1 m/s bis ± 0.3 m/s liegt und die Messwerte auf zwei Nachkommastellen genau angezeigt werden (Testo SE & Co. KGaA, 2021).

2.1.2.2 Infrarot-Thermometer (*Smart Probes – testo 810*)

Zur Messung der Temperatur wurde ein Infrarot-Thermometer verwendet, welches gleichzeitig die Lufttemperatur und die Oberflächentemperatur eines Objekts misst. Die Messung der Oberflächentemperatur erfolgt hierbei kontaktlos via Infrarot. Der Infrarotsensor kann Temperaturen zwischen -30° und 300° Celsius erfassen, wobei im Messbereich von -30° bis $+100^{\circ}$ Celsius eine Messgenauigkeit von $\pm 2^{\circ}\text{C}$ vorliegt. Die Lufttemperatur wird mittels eines NTC (Negative Temperature Coefficient Thermistor)-Temperatursensors gemessen. Dieser kann Temperaturen zwischen -10 und $+50^{\circ}$ Celsius bei einer Genauigkeit von $\pm 0.5^{\circ}$ erfassen (Testo SE & Co. KGaA, 2021).

2.1.2.3 Cirrus Wind Indikator

Zur genauen Bestimmung der Strömungsrichtung am Baum (Ableitung der Strömung und somit der Geruchsmoleküle nach oben, seitlich oder nach unten) wurde ein Cirrus Wind Indikator verwendet. Dieses Gerät erzeugt einen sehr feinen Nebel, mit dem

auch minimale Windströmungen gut mit dem freien Auge erkannt werden können (Cirrus Outdoors LLC, 2021).

2.1.3 Ablauf der Messungen

Vor der ersten Messung wurden zehn Fichten ausgewählt und jeweils an Nord- und Südseite in 1.50m Höhe mit einem Kreuz markiert. Zusätzlich wurde jeder Baum von 1-10 nummeriert (siehe Abbildung 4). Die Markierung erfolgte mit einer Forstmarkierfarbe, ohne die Bäume zu beschädigen. Die gewählten Bäume stehen in einem Mindestabstand von 10m zueinander, sodass eine gegenseitige Beeinflussung, wie zum Beispiel durch gegenseitige Beschattung, Ansteckung von Krankheiten oder Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe ausgeschlossen werden kann.



Abbildung 4 Veranschaulichung der Markierung der ausgewählten Bäume im Messgebiet in Untertullnerbach mit Nummerierung und Kreuz, welches jeweils auf Nord- und Südseite gemacht wurde

Die Messungen fanden bei allen Wetterbedingungen statt, außer bei Regen. Der erste Messdurchgang wurde zwischen 7:00 und 8:00 durchgeführt. Danach erfolgten stündlich weitere Messungen, bis zum letzten Durchgang zwischen 17:00 und 18:00. An jedem Messtag wurden somit elf Messdurchgänge durchgeführt. Die Bäume wurden immer in der gleichen Reihenfolge gemessen. Die Messung an der Nordseite eines Baumes erfolgte dabei immer vor der Messung an der Südseite. Folgende Parameter wurden in die Messungen miteinbezogen:

2.1.3.1 Windrichtung

Für die Messung der Windrichtung wurde der Rauchgenerator eingesetzt. Er wurde vor jedem stündlichen Messdurchgang mit genügend Brennmaterial (Zweige, Papier) angefüllt und gestartet. Der Rauch zeigte dann die Windrichtung an, welche mit einem

Wasserkompass bestimmt wurde. Die Windrichtung wurde vor jedem Baum neu bestimmt, nicht aber zwischen den Messungen an Nord- und Südseite.

2.1.3.2 Wind- und Strömungsgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit wurde mit dem Hitzedraht-Anemometer an jedem Messpunkt zwei Mal gemessen: die generelle Windrichtung wurde zirka 1m entfernt vom Baumstamm Richtung Norden bzw. Süden gemessen. Die Strömungsgeschwindigkeit direkt am Baumstamm wurde genau in 1.50 m Höhe an der Markierung gemessen.

2.1.3.3 Strömungsrichtung

Zur Messung der Strömungsrichtung wurde mit dem Cirrus Wind Indikator eine kleine Menge Rauch direkt an der Markierung erzeugt. Anschließend wurde bestimmt in welche Richtung sich der Rauch bewegte (siehe Abbildung 5)

- senkrecht nach oben → Kategorie 1
- links oder rechts seitlich → Kategorie 2
- senkrecht nach unten → Kategorie 3

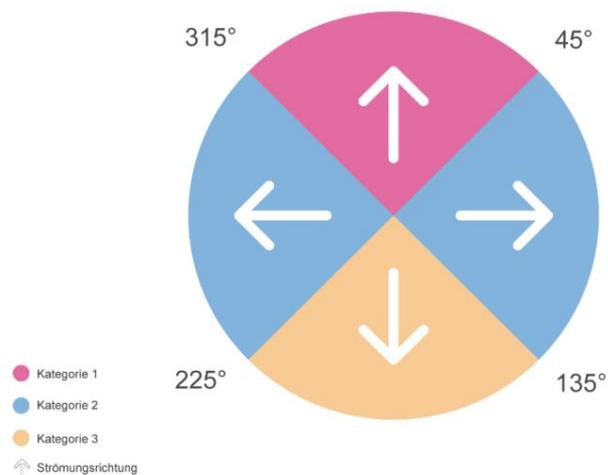


Abbildung 5 Kategorisierung der Strömungsrichtungen, gemessen mit einem Cirrus Wind Indikator. Kategorie 1 = Ableitung der Strömung senkrecht nach oben; Kategorie 2 = seitliche Ableitung der Strömung; Kategorie 3 = Ableitung der Strömung senkrecht nach unten

2.1.3.4 Besonnung des Stammes

Es wurde bestimmt, ob der Stamm direkt an der Markierung besonnt ist (ja → „j“) oder nicht (nein → „n“).

2.1.3.5 Temperatur

Luft- und Oberflächentemperatur wurden gleichzeitig gemessen. Als Messpunkt wurde die Mitte des Kreuzes der Markierung gewählt. Das Gerät wurde bei der Messung zirka in einem Abstand von 10cm zur Oberfläche des Baumes gehalten, was laut Hersteller einer Messfläche von 3cm Durchmesser entspricht (Testo SE & Co. KGaA , 2021).

2.1.3.6 Bewölkung

Der Bewölkungsgrad wurde grob geschätzt und in eine der folgenden Kategorien eingeteilt:

- keine Bewölkung = 0
- Wolkenbedeckung auf 1-25% des sichtbaren Himmels = 1
- Wolkenbedeckung auf 26-50% des sichtbaren Himmels = 2
- Wolkenbedeckung auf 51-75% des sichtbaren Himmels = 3
- Wolkenbedeckung auf 76-99% des sichtbaren Himmels = 4
- Gesamter sichtbarer Himmel mit Wolken bedeckt = 5

2.2 Versuchsdesign mit den Borkenkäferspürhunden

Die Versuche fanden am 7.11.2021 zwischen 9:30 und 16:00 statt. Es wurden bereits in erster Stufe zertifizierte Borkenkäferspürhunde eingesetzt. Zusätzlich wurden weitere Daten von Viola Schätzel zur Verfügung gestellt, die für ihre Bachelor-Arbeit das gleiche Versuchsdesign angewendet hat. Fr. Schätzel führte ihre Versuche am 1.3.2020 zwischen 9:15 und 12:00 in Obertrum am See (Salzburg) durch. Bei den Versuchen kamen künstliche Borkenkäferpheromone (Ipsowit und Chlacowit) zum Einsatz.

2.2.1 Versuchsgebiet

Die Versuche am 7.11.2021 wurden in Obstgärten bei einem Bauernhof nahe der Gemeinde Gschwandt bei Gmunden in Oberösterreich durchgeführt (siehe Abbildung 6).

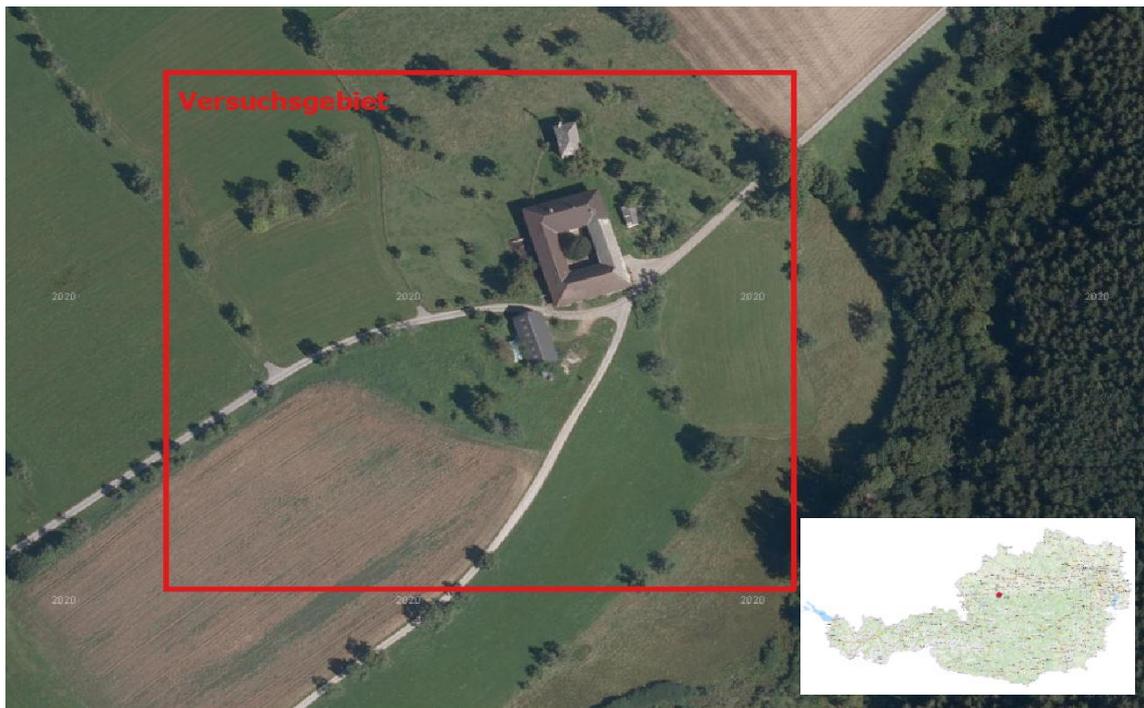


Abbildung 6 Satellitenbild des Versuchsgebietes und der näheren Umgebung, Grundkarte: Google Maps, im Eck: Standort des Versuchsgebietes innerhalb von Österreich. Grundkarte: basemap.at

2.2.2 Hunde

Insgesamt wurden bei beiden Versuchstagen zwölf Hunde eingesetzt, wobei nur einer davon (Sarek) an beiden Tagen teilgenommen hat. Zwei der Hunde waren Hündinnen und zehn waren Rüden. Das Alter der Hunde lag zwischen 2 und 11 Jahren (Tabelle 2). Alle Hunde verfügten über eine Zertifizierung der Stufe A als Borkenkäferspürhund.

Tabelle 2 Teilnehmende Hunde beider Versuchstage, deren Rasse & Geschlecht

	Name	Rasse	Geschlecht	20.03.2020	07.11.2021
1	Amica	Labrador Retriever	Hündin	x	
2	Amadeo	Labrador Retriever	Rüde	x	
3	Barrique	Labrador Retriever	Rüde	x	
4	Cupper	Border Collie	Rüde	x	
5	Idaios	Wolfspitz	Rüde	x	
6	Yaris	Labrador Retriever	Rüde	x	
7	Sarek	Australian Kelpie	Rüde	x	x
8	Juna	Brandlbracke	Hündin		x
9	Konrad	Weimaraner	Rüde		x
10	Ray	Labrador Retriever	Rüde		x
11	Rocko	Bayrischer Gebirgsschweißhund	Rüde		x
12	Scout	Labrador Retriever	Rüde		x

2.2.3 Versuchsablauf

Es wurden zehn Versuchsdurchgänge mit unterschiedlichen Start- und Zielpunkten (siehe Abbildung 7) durchgeführt. Insgesamt wurden 77 Suchen durchgeführt (28 davon von Fr. Schätzel). Bei jedem Durchgang absolvierten die anwesenden Hunde die gleiche Suchstrecke nacheinander. Der Ablauf sah dabei wie folgt aus: Zunächst wurden ein Startpunkt und ein Baum als Zielpunkt definiert. Am Zielpunkt wurden künstliche Borkenkäferpheromone in ca. 2m Höhe direkt an der Rinde des Baumes angebracht. Der/Die HunderhalterIn gab das Kommando zur Suche am Startpunkt. Die gesamte Suche wurde mithilfe eines Handys gefilmt und die Dauer der Suche gestoppt. Sobald der Hund den richtigen Baum anzeigte, wurde er belohnt. Am Baum wurden unmittelbar danach die Messungen durchgeführt, welche nach dem gleichen Schema wie bei den Messungen in Untertullnerbach erfolgten. Die Hunde konnten sich bei der Suche nicht gegenseitig beobachten.



Abbildung 7 Übersichtskarte des Versuchsgebietes in einem Obstgarten in Gschwandt bei Gmunden mit allen Start- (S) und Zielpunkten (Z)

2.3 Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden die Programme MS Excel (Version 2110) und IBM SPSS Statistics 28.0.1.0 verwendet.

Zunächst wurden die Daten mithilfe des Kolmogorov-Smirnov und des Shapiro-Wilk Tests auf Normalverteilung überprüft. Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurde für Korrelationen die Spearman-Korrelation verwendet. Um den Einfluss der verschiedenen Parameter auf die Suchgeschwindigkeit zu analysieren, wurden bivariate Korrelationen (bei metrischen Variablen) und Eta-Koeffizienten (bei nominalen Variablen) berechnet. Außerdem wurden auch mehrere Korrelationen der Parameter zueinander berechnet.

Um den Einfluss mehrerer Variablen zu analysieren, wurde eine multiple Regression durchgeführt. Vorab wurden die kategoriellen unabhängigen Variablen (Hund, Windrichtung, Besonnung und Strömungsrichtung) einer Dummy-Kodierung unterzogen. Als abhängige Variable wurde in beiden errechneten Modellen die Suchgeschwindigkeit gewählt, sie steht stellvertretend für den Sucherfolg. Im ersten Modell wurde nur die Variable Hund als unabhängige Variable gewählt. Dieses Modell zeigt, wie sehr die Identität des suchenden Hundes den Sucherfolg bestimmt. Im zweiten Modell wurde neben der Variable Hund auch eine Kombination aus verschiedenen Umweltparametern als unabhängige Variablen gewählt. Parameter, die sich gegenseitig beeinflussen, wurden nicht doppelt in das Modell mitaufgenommen. In dem Fall wurden jene Parameter zur weiteren Berechnung verwendet, die eine höhere Korrelation mit der Suchgeschwindigkeit aufwiesen. Parameter die bei den Korrelationen keinerlei Einfluss auf die Suchgeschwindigkeit zeigten, wurden nicht verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Messungen

Die Ergebnisse der Messungen in Untertullnerbach wurden grafisch ausgewertet und interpretiert. Da die Messungen allein keinen Aufschluss über den Sucherfolg der Borkenkäferspürhunde geben, finden sich diese Interpretationen im Anhang der Arbeit.

3.2 Versuche

In 75 von 77 Fällen konnten die Hunde die Geruchsprobe erfolgreich aufspüren. Somit ergibt sich eine Sensitivität von 97.4%.

3.2.1 Ausgewählte Deskriptive Statistik

Die Hunde Ray und Sarek erreichten eine höhere Suchgeschwindigkeit als die anderen Hunde. Ray war mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1.69 m/s der schnellste. Sarek wies eine durchschnittliche Suchgeschwindigkeit von 1.41 m/s

auf. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der anderen Hunde bewegte sich zwischen 0.3 m/s und 0.85 m/s (siehe Abbildung 8). Zwischen den Hunden ergab sich ein signifikanter ($p < 0.001$) Unterschied in der Suchgeschwindigkeit.

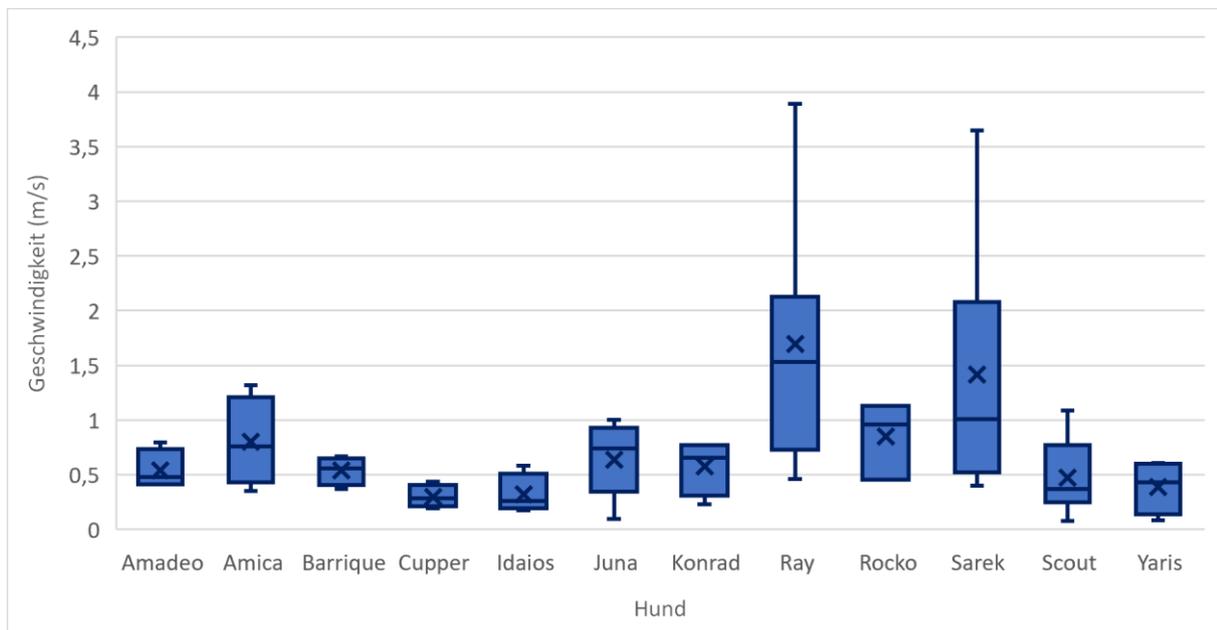


Abbildung 8 Vergleich der Suchgeschwindigkeiten (m/s) der einzelnen Hunde, das Kreuz im Balken markiert den Mittelwert, die Linie im Balken markiert den Median

Bei Strömungsrichtungen der Kategorie 1 (nach oben) konnten mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1.31 m/s die schnellsten Suchgeschwindigkeiten gemessen werden. Die Ergebnisse in den anderen beiden Kategorien (seitlich und nach unten) unterscheiden sich nur minimal voneinander und betragen durchschnittlich 0.8 m/s in der Kategorie 2 (seitlich) und 0.85 m/s in der Kategorie 3 (nach oben) (siehe Abbildung 9).

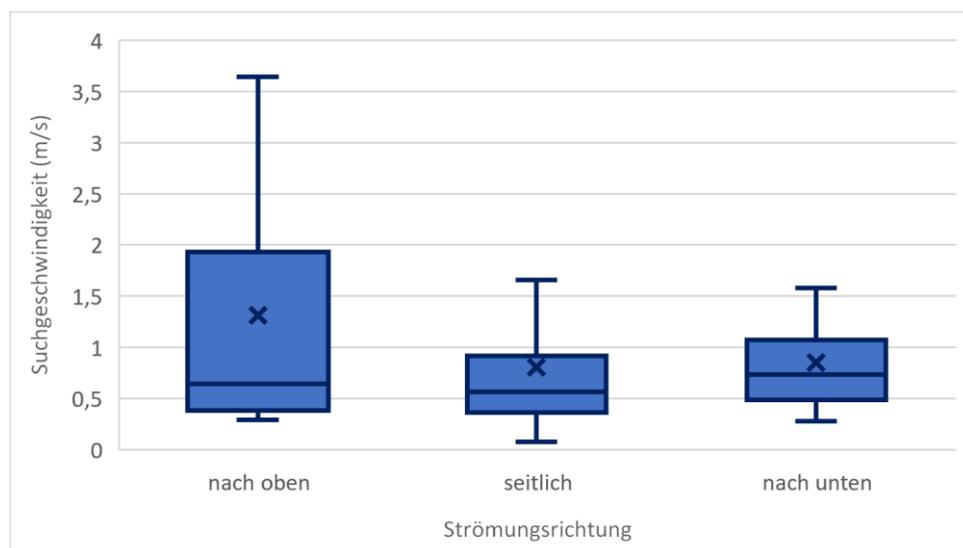


Abbildung 9 Suchgeschwindigkeiten (m/s) nach Strömungsrichtung (nach oben, seitlich, unten), das Kreuz im Balken markiert den Mittelwert, die Linie im Balken markiert den Median

3.2.2 Korrelationen und Zusammenhänge

Zwischen der Suchgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit der Strömung gibt es eine negative Korrelation ($p = 0.0265$) (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3 Spearman-Test auf Korrelation zwischen Suchgeschwindigkeit (m/s) und Geschwindigkeit der Strömung (m/s), $p = 0.0265$, durchgeführt mit IBM SPSS Statistics

Spearman-Rho Korrelation		Suchgeschwindigkeit (m/s)	Strömungsgeschwindigkeit (m/s)
Suchgeschwindigkeit (m/s)	Korrelationskoeffizient	1	-0.224
	Signifikanz		0.0265
	N	75	75
Strömungsgeschwindigkeit (m/s)	Korrelationskoeffizient	-0.224	1
	Signifikanz	0.0265	
	N	75	75

Auch zwischen Suchgeschwindigkeit und Windgeschwindigkeit ergab sich eine negative Korrelation. Diese erwies sich nicht als statistisch signifikant ($p = 0.177$) (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4 Spearman-Test auf Korrelation zwischen Suchgeschwindigkeit (m/s) und Windgeschwindigkeit (m/s), $p = 0.177$, durchgeführt mit IBM SPSS Statistics

Spearman-Rho Korrelation		Windgeschwindigkeit (m/s)	Suchgeschwindigkeit (m/s)
Windgeschwindigkeit (m/s)	Korrelationskoeffizient	1	-0.138
	Signifikanz		0.177
	N	47	47
Suchgeschwindigkeit (m/s)	Korrelationskoeffizient	-0.138	1
	Signifikanz	0.177	
	N	47	75

Zwischen Windgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit ergab sich eine positive Korrelation mit statistischer Signifikanz ($p = 0.004$).

Bei der Temperatur zeigt sich eine positive Korrelation mit der Suchgeschwindigkeit, sowohl was die Lufttemperatur als auch was die Oberflächentemperatur des Baumstammes angeht. Bei höheren Temperaturen steigt die Suchgeschwindigkeit. Eine Signifikanz ergab sich nur bei der Lufttemperatur ($p = 0.03$), nicht aber bei der Oberflächentemperatur des Baumstammes ($p = 0.111$) Außerdem ergab sich eine

signifikante Korrelation zwischen Temperatur am Baumstamm und Lufttemperatur ($p = 0.001$) (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5 Spearman-Test auf Korrelation zwischen Suchgeschwindigkeit (m/s) und Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$), $p = 0.03$, bzw. zwischen Suchgeschwindigkeit (m/s) und Oberflächentemperatur des Baumstammes ($^{\circ}\text{C}$), $p < 0.001$, durchgeführt mit IBM SPSS Statistics

Spearman-Rho Korrelation		Suchgeschwindigkeit (m/s)	Temperatur Baumstamm ($^{\circ}\text{C}$)	Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
Suchgeschwindigkeit (m/s)	Korrelationskoeffizient	1	0.0908	0.109
	Signifikanz	.	0.111	0.03
	N	75	47	75
Temperatur Baumstamm ($^{\circ}\text{C}$)	Korrelationskoeffizient	0.0905	1	0.272
	Signifikanz	0.111	.	<0.001
	N	47	47	47
Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Korrelationskoeffizient	0.109	0.272	1
	Signifikanz	0.03	<0.001	.
	N	75	47	75

Zwischen Bewölkung und Suchgeschwindigkeit ergab sich kein Zusammenhang.

Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Besonnung und Suchgeschwindigkeit wurde der Eta-Koeffizient herangezogen. Der Eta-Koeffizient ergab einen Wert von 0.027 ($p = 0.857$). Das entspricht nur einem sehr geringen, nicht signifikanten Zusammenhang, die Suchgeschwindigkeit wird von der Besonnung an der Stelle der Probe kaum beeinflusst.

Auch für die Strömungsrichtung wurde der Eta-Koeffizient berechnet. Es ergab sich ein Eta-Koeffizient von 0.172 und ein R^2 von 0.03. Die Strömungsrichtung hat einen Einfluss auf die Suchgeschwindigkeit. Dieser ist nicht als stark anzusehen, er erklärt 3% der Varianz der abhängigen Variable Suchgeschwindigkeit.

3.2.3 Multiple Regression

Die Suchgeschwindigkeit wurde als abhängige Variable definiert. Hund, Strömungsgeschwindigkeit, Strömungsrichtung, Lufttemperatur, und Windrichtung wurden als unabhängige Variablen gewählt. Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, wurden keine Variablen als unabhängige Variablen herangezogen werden, die sich gegenseitig stark beeinflussen. Oberflächentemperatur des Baumstammes korreliert positiv mit der Lufttemperatur. Bei den Korrelationen hatte sich bereits herausgestellt, dass der Einfluss der Lufttemperatur im Gegensatz zum Einfluss der Oberflächentemperatur des Baumstammes signifikant ist. Deshalb wurde für die

multiple Regression die Lufttemperatur verwendet. Auch bei Windgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit konnten aufgrund ihrer starken Korrelation nicht beide Variablen verwendet werden. Da die Korrelation der Strömungsgeschwindigkeit mit der Suchgeschwindigkeit größer war, wurde diese Variable für die multiple Regression herangezogen.

Einige Variablen wurden durch das Programm SPSS automatisch aus dem Modell entfernt (siehe 6).

Es wurden zwei Modelle berechnet. Im Modell 1 wurde nur die Variable Hund als Einflussvariable verwendet. Dieses Modell weist ein R^2 von 0.386 auf (siehe Tabelle 6).

Modell 2 stellt eine Erweiterung des ersten Modells dar. Zusätzlich zur Variable Hund, kommen hier die Variablen Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Besonnung, Strömungsrichtung und Lufttemperatur hinzu. Das Modell erreicht einen R-Wert von 0.744 sowie ein R^2 von 0.554. Zusammen erklären diese Variablen 55.4% der Varianz der Suchgeschwindigkeit (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6 Modellzusammenfassung der multiplen Regression; durchgeführt mit IBM SPSS Statistics

Modell (Multiple Regression)	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler	Änderung in R-Quadrat	Änderung in F	df1	df2	Sig. Änderung in F
1	0.621 ^a	0.386	0.294	0.782	0.386	4.192	6	40	0.002
2	0.744 ^b	0.554	0.316	0.77	0.168	1.128	10	30	0.375

^aEinflussvariablen: (Konstante), Konrad, Rocko, Sarek, Juna, Scout, Ray, Ausschlussvariablen: Amadeo, Amica, Cupper, Barrique, Idaios, Yaris

^bEinflussvariablen: (Konstante), Konrad, Rocko, Sarek, Juna, Scout, Ray, Südwind, Besonnung, Südostwind, Strömungsgeschwindigkeit, Strömungsrichtung seitlich, Südwestwind, Lufttemperatur, Nordwestwind, Strömungsrichtung oben, Nordostwind, Ausschlussvariablen: : Amadeo, Amica, Cupper, Barrique, Idaios, Yaris, Nordwind, Strömungsrichtung unten

Beide Modelle weisen eine statistische Signifikanz auf ($p = 0.002$ und $p = 0.022$ respektive) (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 ANOVA der beiden Modelle aus der multiplen Regression, $p = 0.002$ (Modell 1), $p = 0.022$ (Modell 2) durchgeführt mit IBM SPSS Statistics

Modell (Anova) ^a		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1	Regression	15.374	6	2.562	4.192	0.002^b
	Nicht standardisierte Residuen	24.452	40	0.611		
	Gesamt	39.826	46			
2	Regression	22.055	16	1.378	2.327	0.022^c
	Nicht standardisierte Residuen	17.771	30	0.592		
	Gesamt	39.826	46			
^a Abhängige Variable: Suchgeschwindigkeit (m/s)						
^b Einflussvariablen: (Konstante), Konrad, Rocko, Sarek, Juna, Scout, Ray, Ausschlussvariablen: Amadeo, Amica, Copper, Barrique, Idaios, Yaris						
^c Einflussvariablen: (Konstante), Konrad, Rocko, Sarek, Juna, Scout, Ray, Südwind, Besonnung, Südostwind, Strömungsgeschwindigkeit, Strömungsrichtung seitlich, Südwestwind, Lufttemperatur, Nordwestwind, Strömungsrichtung oben, Nordostwind, Ausschlussvariablen: : Amadeo, Amica, Copper, Barrique, Idaios, Yaris, Nordwind, Strömungsrichtung unten						

4 Diskussion

Obwohl Spürhunde bereits seit über 100 Jahren im Naturschutz eingesetzt werden (Woollett et al., 2014), ist in vielen Fällen noch unklar, wie sich äußere Einflüsse, wie zum Beispiel Temperatur, Windgeschwindigkeit oder Bewölkung auf den Sucherfolg der Hunde auswirken oder wann die besten Bedingungen für eine Suche herrschen. Ziel dieser Arbeit war es in diesem Zusammenhang neue Erkenntnisse zu erlangen.

Die Variable, die in den Versuchen ganz klar den größten Einfluss auf die Suchgeschwindigkeit zeigte, war die Variable Hund. Jeder Hund hat natürlich andere Grundvoraussetzungen. Nicht nur Rasse, Alter, Geschlecht und Vorerfahrung spielen aller Wahrscheinlichkeit nach eine wichtige Rolle. Auch der Charakter der Hunde hat vermutlich einen gewissen Einfluss. Einige Hunde sind eher aufgeweckt und weisen schon von Beginn an eine höhere Grundgeschwindigkeit auf. Andere hingegen haben eher ein ruhiges Wesen und beschnüffeln bei der Suche die Umgebung sehr bedacht und ausgiebig. Um diesen Faktor bei den Analysen auszugleichen, müssten mit jedem Hund eine größere Anzahl an Suchen durchgeführt werden. Man könnte dann die Ergebnisse von jedem Hund einzeln analysieren, um die Variable Hund aus den Analysen gänzlich ausschließen zu können. So können sich statistische Analysen besser auf die Umweltparameter fokussieren, die eigentlich untersucht werden sollen.

Die Resultate dieser Arbeit deuten darauf hin, dass der Sucherfolg von Borkenkäferspürhunden durch ein komplexes Zusammenspiel von Umweltparametern beeinflusst wird. Höhere Temperaturen führten in den Versuchen zu einer höheren Suchgeschwindigkeit und begünstigten somit den Sucherfolg. Da wärmere Temperaturen Evaporation fördern und sich dadurch Gerüche besser ausbreiten können, (Cablak et al., 2008) ist dieses Resultat durchaus logisch. Die Oberflächentemperatur am Baum war dabei weniger ausschlaggebend als die Lufttemperatur. Womöglich ist dies der Fall, da Geruchsmoleküle sich relativ schnell von ihrer Geruchsquelle aus verteilen (Cablak et al., 2008; Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009), es sei denn es herrscht Windstille. In weiterer Folge beeinflusst die Lufttemperatur wohl stärker als die Temperatur am Baumstamm wie die Moleküle sich verbreiten. Domínguez del Valle et al. (2020) konnten in ihrer Arbeit zwar keinen Einfluss von Temperatur auf Sucherfolg feststellen, dies könnte jedoch daran liegen, dass die Autoren der Studie die Temperatur nicht bei jeder Suche gemessen haben. Stattdessen wurden die Tagesdurchschnittstemperaturen der nächstgelegenen Wetterstation herangezogen. Feinere Unterschiede sind bei dieser Vorgehensweise nicht zu erkennen. Die Lufttemperatur bei unseren Versuchen schwankte zwischen 6.8 und 14.9 °C. Da höhere Temperaturen den Sucherfolg negativ beeinflussen können (Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009), bedarf es hier noch weiterer Versuche bei wärmeren Temperaturen, um genaue Grenzwerte zu ermitteln.

Zwischen Wind- und Strömungsgeschwindigkeit auf der einen und Suchgeschwindigkeit auf der anderen Seite konnte eine negative Korrelation festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass hohe Wind- und Strömungsgeschwindigkeiten sich negativ auf den Sucherfolg auswirken. Grund hierfür sind mit großer Wahrscheinlichkeit die ausgeprägteren Verwirbelungen der Luftströme und somit auch der Geruchsmoleküle, die bei höherer Geschwindigkeit auftreten. Diese Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse aus anderen Studien (Cablak et al., 2008; Hoyer-Tomiczek & Sauseng, 2009). Es darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass Geruchsmoleküle bei hohen Windgeschwindigkeiten über weitere Strecken transportiert werden. Dies kann dazu führen, dass Spürhunde den Zielgeruch aus größerer Entfernung auffinden können (Cablak et al., 2008). Außerdem ist auch Windstille höchstwahrscheinlich kein Vorteil bei der Suche, weil sich die Geruchsmoleküle dann nur sehr langsam von ihrer Quelle entfernen (Cablak et al., 2008). Es scheint hier einen Trade-off zu geben zwischen einer hohen Konzentration an Geruchsmolekülen nur in naher Umgebung zur Geruchsquelle (bei niedriger Windgeschwindigkeit) und Geruchsmolekülen, die sich zwar über größere Distanzen

verbreiten, jedoch in geringerer Konzentration (bei hoher Windgeschwindigkeit). Die Windgeschwindigkeit könnte man jedenfalls bei der Planung der Suche miteinbeziehen. So sollten HundehalterInnen darauf achten, dass der Hund bei niedrigen Windgeschwindigkeiten engere Kreise zieht, um auszugleichen, dass Geruchsmoleküle sich nicht so weit von der Geruchsquelle entfernen. Es ist außerdem anzumerken, dass die Strömungsgeschwindigkeit offenbar einen größeren Einfluss auf die Suchgeschwindigkeit hat als die Windgeschwindigkeit. Das ist eine überraschende Feststellung. Analog zu Oberflächentemperatur des Baumstammes und Lufttemperatur wäre anzunehmen, dass die Windgeschwindigkeit einen größeren Einfluss auf den Sucherfolg hat als die Strömungsgeschwindigkeit. Der Einflussbereich der Strömungsgeschwindigkeit ist im Vergleich zur Windgeschwindigkeit sehr eingeschränkt, nämlich nur unmittelbar am Baumstamm. Weshalb dennoch die Strömungsrichtung einen größeren Einfluss hatte, konnte nicht abschließend geklärt werden.

Überraschenderweise schnitten die Hunde am besten bei Strömungsrichtung 1 ab (Strömung wird vom Baumstamm nach oben hin abgeleitet). Der Einfluss der Strömungsrichtung stellte sich jedoch als nicht signifikant heraus. Zudem konnten bei Strömungsrichtungen der Kategorie 1 und 3 nur wenige Versuche durchgeführt werden. Es wäre empfehlenswert hier weitere Versuche durchzuführen und dabei nach Möglichkeit alle Strömungsrichtungen ausreichend oft abzudecken. Ausschlaggebend für das vorliegende Ergebnis könnte auch gewesen sein, dass 3 der 6 Suchen bei Strömungskategorie 1 von den beiden schnellsten Hunden durchgeführt wurden. Bei den Suchen mit Strömungsrichtungen der Kategorie 3 waren es hingegen nur 4 von 14.

Zwischen Bewölkung und Suchgeschwindigkeit sowie Besonnung des Baumstammes und Suchgeschwindigkeit konnte keinerlei Zusammenhang festgestellt werden.

Die Kombination aus hohen Temperaturen und niedrigen Wind- und Strömungsgeschwindigkeiten wurde am öftesten am frühen Nachmittag, zirka zwischen 13:00 und 16:00 Uhr gemessen. Wird eine Suche zu dieser Tageszeit angesetzt, kann man davon ausgehen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit günstige Bedingungen vorzufinden. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Messungen zu den Umweltbedingungen im Sommer stattfanden (Juni-September) und die Versuche in anderen Monaten (November und März). Es ist zu erwarten, dass die Bedingungen sich nicht nur im tageszeitlichen, sondern auch im

jahreszeitlichen Verlauf verändern. Für zukünftige Untersuchungen wäre es daher von Vorteil, Messungen über ein längeren Zeitraum hinweg regelmäßig durchzuführen. Zumindest der Zeitraum von April-Oktober sollte abgedeckt werden, da die Entwicklung des Buchdruckers in diesen Zeitraum fällt (Baier et al., 2007). Sollten die Temperaturen im Zuge der Klimaerwärmung weiter ansteigen, wäre eine entsprechende Verlängerung des Untersuchungszeitraumes sinnvoll. Auch die Versuche mit den Hunden sollten zu unterschiedlichen Jahreszeiten wiederholt werden. Die Bedingungen an den Versuchstagen waren bisher im Hinblick auf Temperatur, Bewölkung und Windgeschwindigkeit sehr ähnlich. Um den Einfluss dieser Variablen besser untersuchen zu können, braucht es noch größere Varianz.

Die vorliegenden Ergebnisse legen einen Grundstein für ein besseres Verständnis dafür, wie sich Umweltparameter auf die Suche von Borkenkäferspürhunden auswirken. Weitere Erkenntnisse dahingehend könnten auch für Spürhunde relevant sein, die auf andere Zielgerüche trainiert sind. Ein verbessertes Verständnis darüber, wie die Suche durch Umweltparameter beeinflusst wird, könnte zu Fortschritten in zahlreichen unterschiedlichen Bereichen führen.

5 Quellen

- Baier, P., Pennerstorfer, J., & Schopf, A. (2007). PHENIPS - A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management* 249, S. 171-186.
- Bässler, C., Heurich, M., & Englmaier, K.-H. (2013). Mit der Lizenz zum Töten - Als Agenten im Auftrag des grünen Empires gestalten Borkenkäfer die Wälder. *AFZ - DerWald*, S. 12-14.
- Beebe, S. C., Howell, T. J., & Bennett, P. C. (28. 10 2016). Using Scent Detection Dogs in Conservation Settings: A Review of Scientific Literature Regarding Their Selection. *Frontiers in Veterinary Science*, <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00096>.
- Biosphärenpark Wienerwald Management GmbH. (2021). *Vielfältige Natur in Tullnerbach*. Tullnerbach.
- Blomquist, G. J., Figueroa-Teran, R., Aw, M., Song, M., Gorzalski, A., Abbott, N. L., . . . Tittiger, C. (2010). Pheromone production in bark beetles. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 40, S. 699-712.
- Browne, C., Stafford, K., & Fordham, R. (2006). The use of scent-detection dogs. *Irish Veterinary Journal* 59 (2), S. 97-104.
- Cablk, M. E., Sagebiel, J. C., Heaton, J. S., & Valentin, C. (2008). Olfaction-based Detection Distance: A Quantitative Analysis of How Far Away Dogs Recognize Tortoise Odor and Follow It to Source. *Sensors* 8, S. 2208-2222.
- Carpaneto, G. M., Campanaro, A., Hardersen, S., Audisio, P., Bologna, M. A., Roverso, P. F., . . . Mason, F. (2017). The LIFE Project "Monitoring of insects with public participation" (MIPP): aims, methods and conclusions. *Nature Conservation* 20, S. 1-35.
- Cirrus Outdoors LLC. (2021). *Cirrus Wind Indicator*. Von Cirrus-Website: <https://www.cirrusoutdoors.com/product/cwi200-cirrus/> abgerufen
- Connell, J. H. (1979). Intermediate-Disturbance Hypothesis. *Science*, S. 1344-1345.
- Davídková, M., & Doležal, P. (2017). Sister broods in the spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.). *Forest Ecology and Management* 405, S. 13-21.
- DeMatteo, K. E., Davenport, B., & Wilson, L. E. (2019). Back to the basics with conservation detection dogs: fundamentals for success. *Wildlife Biology*, S. 1-9.
- Dickey, T., & Junqueira, H. (2021). Toward the use of medical scent detection dogs for COVID-19 screening. *Journal of Osteopathic Medicine* 121(2), S. 141-148.
- Domínguez del Valle, J., Cervantes Peralta, F., & Jaquero Arjona, M. I. (2020). Factors affecting carcass detection at wind farms using dogs and human searchers 57:10. *Journal of Applied Ecology*, S. 1926-1935.
- Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. (2021). *Der Wichtigste Borkenkäfer: Der Buchdrucker*. Abgerufen am 25. 11 2021 von www.wsl.ch:

<https://www.wsl.ch/de/wald/krankheiten-schaedlinge-stoerungen/waldschaedlinge/der-buchdrucker.html>

- Fettig, C. J., & Hilszczánski, J. (2005). Chapter 14 - Management Strategies for Bark Beetles in Conifer Forests. In F. E. Vega, & R. E. Hofstetter (Eds.), *Bark Beetles* (S. 555-584). Academic Press.
- Gazit, I., & Terkel, J. (2003). Explosives detection by sniffer dogs following strenuous physical activity. *Applied Animal Behaviour Science* 81, S. 149-161.
- Grimm-Seyfarth, A., Harms, W., & Berger, A. (2021). Detection dogs in nature conservation: A database on their world-wide deployment with a review on breeds used and their performance compared to other methods. *Methods in Ecology and Evolution* 12, S. 568-579. doi: 10.1111/2041-210X.13560
- Harding, S., & Ravn, H. (2009). Seasonal activity of *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae) in Denmark. *Journal of Applied Entomology* 99, S. 123-131.
- Hlásny, T., Krokene, P., Liebhold, A., Montagné-Huck, C., Müller, J., Qin, H., . . . Viiri, H. (2019). *Living with bark beetles: impacts, outlook and management options*. European Forest Institute.
- Hlásny, T., König, L., Krokene, P., Lindner, M., Montagné-Huck, C., Müller, J., . . . Seidl, R. (2021). Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management. *Current Forestry Reports*, S. 138-165.
- Hoch, G., & Perny, B. (2019). Die anhaltende Borkenkäfer-Kalamität in Österreich. *Praxisinformation Nr. 49* (S. 18-21). Wien: Bundesforschungszentrum für Wald.
- Hoyer-Tomiczek, U., & Sauseng, G. (2009). Spürhunde erschnüffeln Quarantäneschädlinge ALB und CLB. *Forstschutz Aktuell* 48. S. 2-5.
- Hoyer-Tomiczek, U., Sauseng, G., & Hoch, G. (2016). Scent detection dogs for the Asian longhorn beetle, *Anoplophora glabripennis*. *Bulletin OEPP/EPPO* 46, S. 148-155.
- Hulcr, J., Atkinson, T. H., Cognato, A. I., Jordal, B. H., & McKenna, D. D. (2015). Morphology, Taxonomy and Phylogenetics of Bark Beetles. In F. Vega, & R. Hofstetter (Eds.), *Bark beetles - Biology and Ecology of Native and Invasive Species* (S. 41-84). Academic Press.
- Hurt, A., & Smith, D. A. (2009). Conservation Dogs. In W. S. Helton, *Canine Ergonomics - The Science of Working Dogs* (S. 175ff). Boca Raton: CRC Press.
- Jendry, P., Schulz, C., Twele, F., & et al. (2020). Scent dog identification of samples from COVID-19 patients – a pilot study. *BMC Infectious Diseases volume 20*, S. 536.
- Jendry, P., Twele, F., Meller, S., Osterhaus, A., Schalke, E., & Volk, H. (2021). Canine olfactory detection and its relevance to medical detection. *BMC Infectious Diseases* 21, S. 838.
- Jenkins, E. K., DeChant, M. T., & Perry, E. B. (2018). When the Nose Doesn't Know: Canine Olfactory Function Associated With Health, Management, and Potential Links to Microbiota. *Frontiers in Veterinary Science* 5:56, doi: 10.3389/fvets.2018.00056.

- Jentsch, A., Seidl, R., & Wohlgemuth, T. (2019). 2 Definitionen und Quantifizierungen. In T. Wohlgemuth, A. Jentsch, & R. Seidl (Eds.), *Störungsökologie* (S. 21-69). Bern: Haupt.
- Johansson, A., Birgersson, G., & Schlyter, F. (2019). Using synthetic semiochemicals to train canines to detect bark beetle–infested trees. *Annals of Forest Science* 76, S. 58.
- Johnston, J. M. (1999). *Canine Detection Capabilities: Operational Implications of Recent R & D Findings*. Auburn University: Institute for Biological Detection Systems.
- Kilian, W., Müller, F., & Starlinger, F. (1994). *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs - Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten*. Wien: Forstliche Bundesversuchsanstalt Waldforschungszentrum.
- Kohnle, U. (1985). Untersuchungen über die Pheromonsysteme Sekundärer Borkenkäfer (Col., Scolytidae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, S. 197-218.
- Koprowski, J. L., Alanen, M. I., & Lynch, A. M. (2005). Nowhere to run and nowhere to hide: response of endemic Mt. Graham red squirrels to catastrophic forest damage. *Biological Conservation* 126(4), S. 491-498.
- Kurz, W. A., Dymond, C. C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L., . . . Safranyik, L. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, S. 987-990.
- Lässig, R. (2019). *Borkenkäferbefall verdoppelte sich 2018*. Von Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL): <https://www.wsl.ch/de/newsseiten/2019/02/borkenkaeferbefall-verdoppelte-sich-2018.html> abgerufen am 30.3.2022
- Lehnert, L. W., Bässler, C., Brandl, R., Burton, P. J., & Müller, J. (2013). Conservation value of forests attacked by bark beetles: Highest number of indicator species is found in early successional stages. *Journal for Nature Conservation*, <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.11.003>.
- Maas, B., & Slotta-Bachmayr, L. (2020). Spürhunde überführen den Borkenkäfer. *top agrar*.
- Marks, A. (2002). Drug Detection Dogs and the Growth of Olfactory: Beyond the Rule of Law? *Surveillance & Society* 4(3), S. 257-271.
- Miklósi, Á. (2015). Olfaction. In Á. Miklósi (Ed.), *Dog Behaviour, Evolution, and Cognition* (S. 192ff). Oxford: Oxford University Press.
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019). *Waldzustandsbericht 2019*. Düsseldorf.
- Mosconi, F., Campanaro, A., Carpaneto, G., Chiari, S., Hardersen, S., Mancini, E., . . . Audisio, P. (2017). Training of a dog for the monitoring of *Osmoderma eremita*. *Nature Conservation* 20, S. 237-264.
- Müller, J., Bußler, H., Gossner, M., Rettelbach, T., & Duelli, P. (2008). The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: From pest to keystone species. *Biodiversity and Conservation* 17, S. 2979–3001.

- Müller, M., & Imhof, N. (2019). Käferkämpfe: Borkenkäfer und Landschaftskonflikte im Nationalpark Bayerischer Wald. In K. Berr, & C. Jenal (Eds.), *Landschaftskonflikte RaumFragen: Stadt – Region – Landschaft* (S. 313-329). Wiesbaden: Springer VS.
- Nationalparks Austria. (2013). Positionspapier des Fachausschusses "Borkenkäfermanagement".
- Otto, K.-H. (2019). *Nie zuvor dagewesen – die extreme Massenvermehrung des Großen achtzähligen Fichtenborkenkäfers 2018*. Münster: Geographische Kommission für Westfalen Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL).
- Raffa, K. F., Grégoire, J.-C., & Lindgren, B. S. (2015). Natural History and Ecology of Bark Beetles - Biology and Ecology of Native and Invasive Species. In F. Vega, & R. Hofstetter (Eds.), *Bark Beetles* (S. 1-40). Academic Press.
- Reed, S. E., Bidlack, L. A., Hurt, A., & Getz, W. M. (2011). Detection Distance and Environmental Factors in Conservation Detection Dog Surveys. *Journal of Wildlife Management* 75 (1), S. 243-251.
- Schlyter, F., & Cederholm, I. (2009). Separation of the sexes of living spruce bark beetles, *Ips typographus* (L.), (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Applied Entomology* 92 (1-5), S. 42-47.
- Stowers, L., & Marton, T. F. (2005). What Is a Pheromone? Mammalian Pheromones Reconsidered. *Neuron* 46/5, S. 699-702.
- Testo SE & Co. KGaA . (2021). *testo 810 - Infrarot-Thermometer*. Von Testo-Website: https://www.testo.com/de-AT/testo-810/p/0560-0810?gclid=CjwKCAjwzOqKBhAWEiwArQGwaLH8Xyrguu6GNmgPp4CyO8Z_TZPGtOfbx7faMITAjJANTXwlpnWNRxoCAXsQAvD_BwE abgerufen am 30.3.2022
- Testo SE & Co. KGaA . (2021). *Thermo-Anemometer mit Smartphone-Bedienung*. Von testo Website: <https://www.testo.com/de-AT/testo-405-i/p/0560-1405> abgerufen am 30.3.2022
- Wermelinger, B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. *Forest Ecology and Management* 202 (1-3), S. 67-82.
- Wermelinger, B., & Jakoby, O. (2019). Borkenkäfer. In Wohlgemuth, T., Jentsch, A., Seidl, R. (Eds), *Störungsökologie* (S. 236-255). Bern.
- Woollett, D. A., Hurt, A., & Richards, N. L. (2014). The current and future roles of free-ranging detection dogs in conservation efforts. In M. E. Gompper (Ed.), *Free-Ranging Dogs and Wildlife Conservation* (S. 239). Oxford: Oxford University Press.
- zu Waldeck, C. P., & Frings, S. (2005). Die molekularen Grundlagen der Geruchswahrnehmung - Wie wir riechen, was wir riechen 35:5. *Biologie in unserer Zeit*, S. 302-310.
- Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber*innen der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

6 Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	2
Abbildung 2	6
Abbildung 3	11
Abbildung 4	12
Abbildung 5	13
Abbildung 6	15
Abbildung 7	16
Abbildung 8	18
Abbildung 9	188

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	2
Tabelle 2	15
Tabelle 3	19
Tabelle 4	19
Tabelle 5	20
Tabelle 6	21
Tabelle 7	22

6.3 Ergebnisse der Messungen in Untertullnerbach

6.3.1 Temperatur

Die Mittelwerte der Lufttemperatur sind zwischen 7:00 und 8:00 am niedrigsten (20.1°C) und steigen dann sowohl auf der Nord- als auch auf der Südseite des Baumes von bis 15:00 auf 25.3°C an, stagnieren dann etwa eine Stunde lang und beginnen dann leicht auf 24.6°C zwischen 17:00 und 18:00 Uhr abzufallen. Die Oberflächentemperatur des Baumstammes folgt einem ähnlichen Muster wie die Lufttemperatur und liegt dabei durchgehend ungefähr 4°C unter der Lufttemperatur (siehe Abbildung 10).

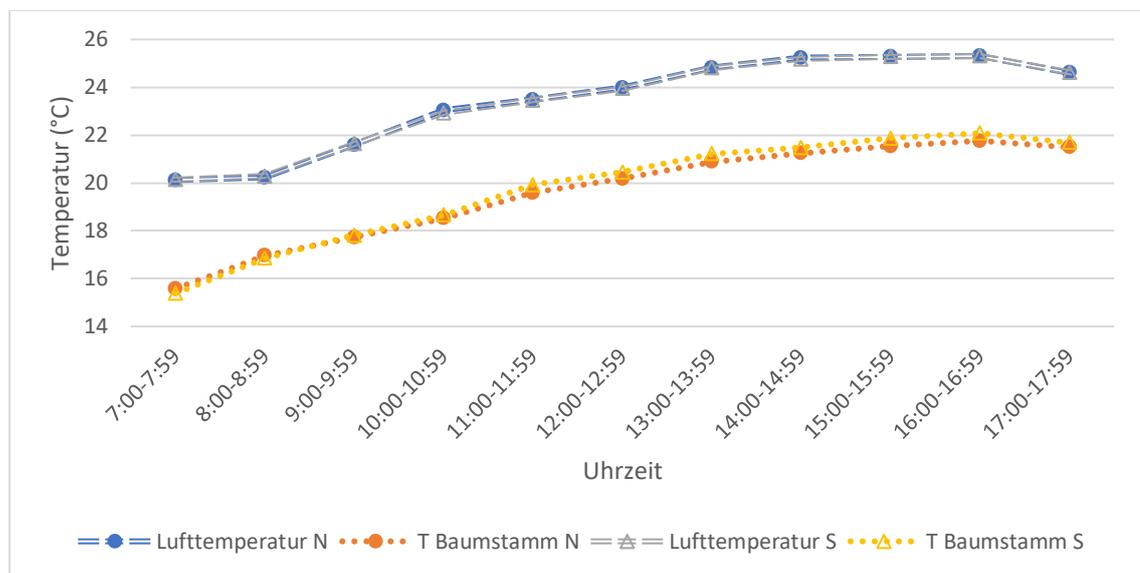


Abbildung 10 Mittelwerte der Lufttemperatur (°C) und Oberflächentemperatur des Baumstammes (°C) im Tagesverlauf: Gemessen mit dem Infrarot Thermometer Smart Probes testo 81 in einem Fichtenforst bei Untertullnerbach zwischen 7.6.21 und 8.9.21 | T = Temperatur; N = Norden, S = Süden

6.3.2 Wind- und Strömungsgeschwindigkeit

Wind- und Strömungsgeschwindigkeit sind zwischen 7:00 und 8:00 Uhr am niedrigsten. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit beträgt zu dieser Tageszeit 0.16 m/s (Nordseite) und 0.12 m/s (Südseite). Die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit zwischen 7:00 und 8:00 Uhr liegt bei 0.09 m/s (Nordseite) und 0.06 m/s (Südseite). Die Windgeschwindigkeit ist auf beiden Seiten über den gesamten Tag hinweg höher als die Strömungsgeschwindigkeit. Auf der Nordseite kommt es zwischen 12:00 und 12:59 zu einem Peak von sowohl Wind- (0.5 m/s) als auch Strömungsgeschwindigkeit (0.3 m/s). Dieser war bei der Windgeschwindigkeit im Süden ebenfalls zu beobachten (0.35 m/s), jedoch weniger deutlich ausgeprägt. Bei der Strömungsgeschwindigkeit auf der Südseite wurde er nicht verzeichnet (siehe Abbildung 11).

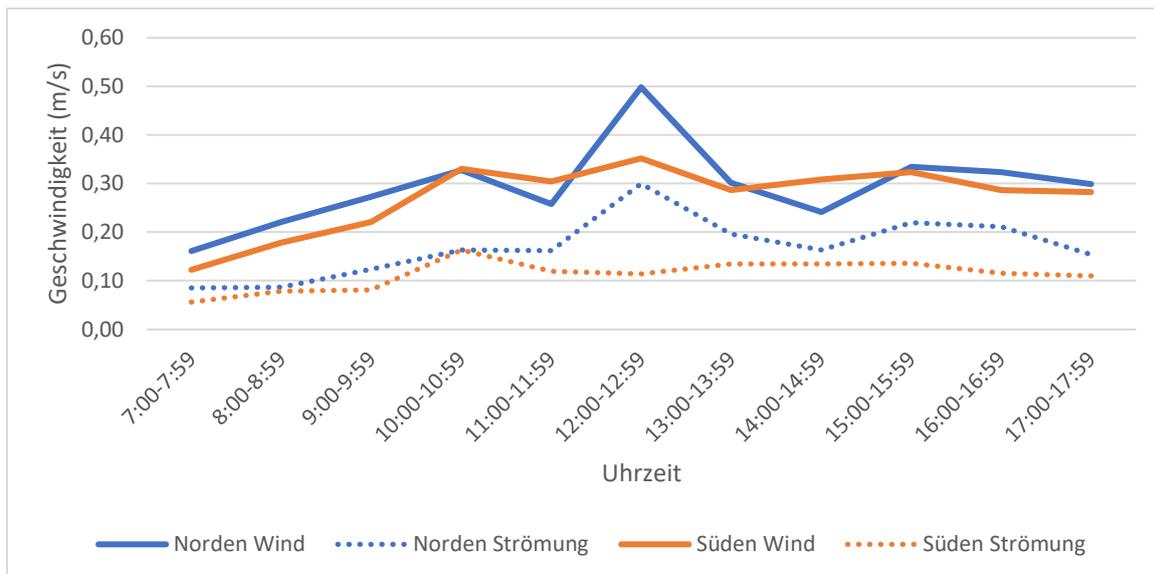


Abbildung 11 Mittelwerte der Wind- und Strömungsgeschwindigkeiten im Tagesverlauf an Nord- und Südseite der 10 Bäume in m/s | Gemessen mit einem Hitzedraht-Anemometer in einem Fichtenforst bei Untertullnerbach zwischen 7.6.21 und 8.9.21

6.3.3 Strömungsrichtung

Strömungsrichtung 2 (seitlich) kam bei den Messungen mit Abstand am häufigsten vor (1,194 von 1,540 Messungen). Auch Strömungsrichtung 1 (nach oben) konnte relativ häufig beobachtet werden (331/1,540). Strömungsrichtung 3 (nach unten) hingegen wurden im gesamten Beobachtungszeitraum lediglich 15 Mal gemessen, also in weniger als 1% aller Fälle (siehe Abbildung 12). Strömungsrichtung 1 kam zwischen 7:00 und 8:00 Uhr am häufigsten vor und nahm dann im Tagesverlauf tendenziell ab. Strömungsrichtung 2 kam am häufigsten am Nachmittag ab 14:00 vor, ist aber auch zu den anderen Tageszeiten relativ häufig. Strömungsrichtung 3 kam am häufigsten zwischen 7:00 und 7:59 sowie zwischen 9:00 und 9:59 vor. Am Nachmittag zwischen 15:00 und 16:59 konnte kein einziges Mal die Strömungsrichtung 3 gemessen werden, auch zwischen 10:00 und 10:59 wurde sie nicht gemessen (siehe Abbildung 13)

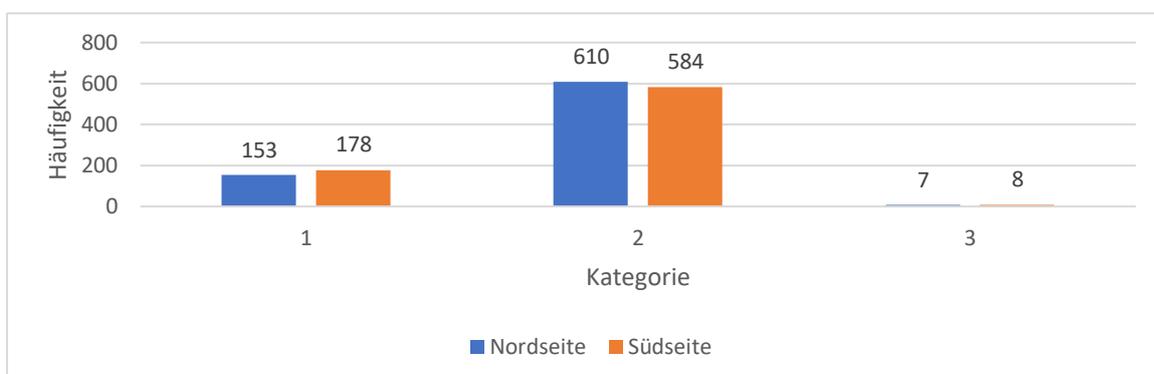


Abbildung 12 Absolute Häufigkeiten der gemessenen Strömungsrichtungen auf Nord- und Südseite der Bäume | Kategorie 1 = Strömung nach oben; Kategorie 2 = Strömung zur Seite; Kategorie 3 = Strömung nach unten. Gemessen mit einem Cirrus Wind Indikator in einem Fichten

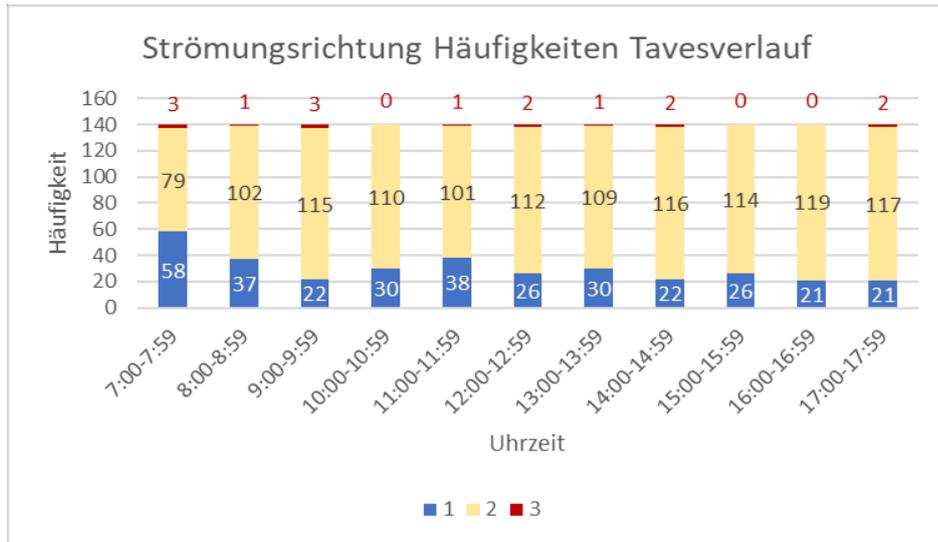


Abbildung 13 | Kategorie 1 = Strömung nach oben; Kategorie 2 = Strömung zur Seite; Kategorie 3 = Strömung nach unten. Gemessen mit einem Cirrus Wind Indikator in einem Fichtenforst bei Untertullnerbach zwischen 7

6.3.4 Bewölkung

Bei der Bewölkung ergab sich kein klares Muster im Tagesverlauf. Am Vormittag war die Bewölkung entweder stark (ca. Bewölkungsgrad 4-5) oder schwach (ca. Bewölkungsgrad 0-1), eine mittlere Bewölkung gab es an den sieben Messtagen vormittags nicht. Um die Mittagszeit lässt sich kein klares Muster erkennen. Am Nachmittag waren die Bewölkungsgrade bis auf eine Ausnahme wieder ähnlich wie am Vormittag, also entweder eher stark oder eher schwach (siehe Abbildung 14).

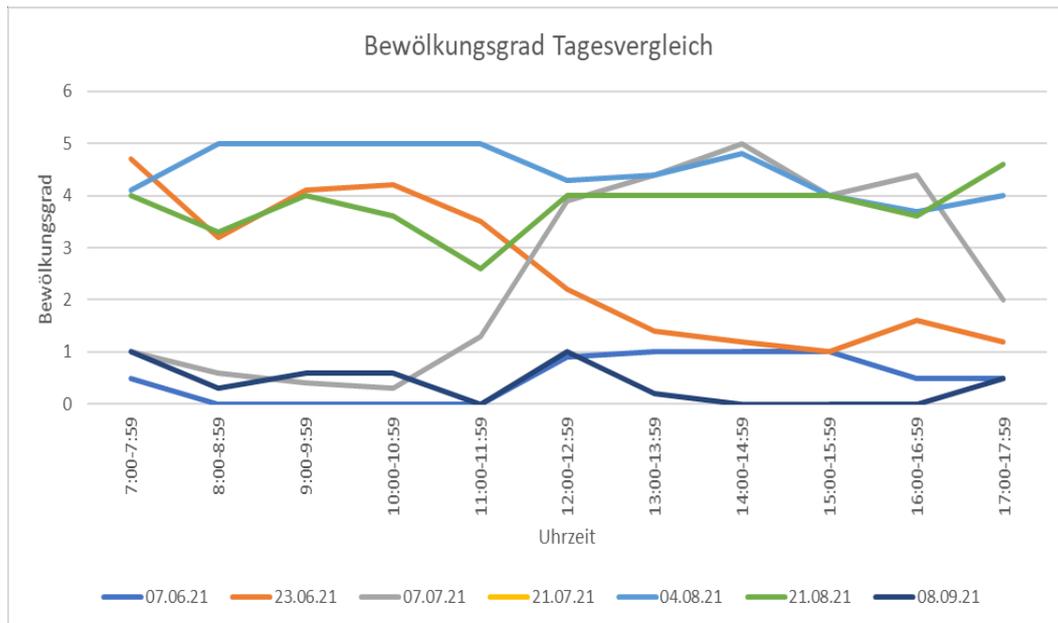


Abbildung 14 Vergleich der Tagesverläufe der Bewölkungsgrade von allen sieben Messtagen | Bewölkungsgrade Kategorien: 0 = keine Bewölkung; 1 = Wolkenbedeckung auf 1-25% des sichtbaren Himmels; 2 = Wolkenbedeckung auf 26-50% des sichtbaren Himmels; 3 = Wolkenbedeckung

6.4 Aufnahmeblatt Messungen

