

Fichte und Rosskastanie als Zeigerpflanzen für den Frühjahrsflug des Buchdruckers

STEPHANIE WOHLFAHRT, HORST LEITNER

Büro für Wildökologie und Forstwirtschaft DI Horst Leitner e.U., Anton-Gassner-Weg 3, 9020 Klagenfurt am Wörthersee, Österreich

✉ Stephanie Wohlfahrt: wohlfahrt@wildoekologie.at

Forstschutz Aktuell 71 (2025): 42 – 50

KURZFASSUNG

Basierend auf Zeigerpflanzen konnte ein einfaches Monitoringwerkzeug für das Schwärmverhalten des Buchdruckers (*Ips typographus*) im Frühjahr entwickelt werden. Umweltfaktoren bestimmen den Zeitpunkt wichtiger Entwicklungsphasen des Buchdruckers und der Pflanzen mit, wie zum Beispiel den Schwärmflug oder die Blattentfaltung. Buchdrucker und Pflanzen sind lokal ähnlichen Umweltbedingungen ausgesetzt, was zu einer zeitlichen Übereinstimmung ihrer Entwicklungsphasen führen kann. Die Auswertung vorhandener Daten der Paneuropäischen Phänologischen Datenbank PEP725 mit standortspezifischen Prognosedaten des Buchdrucker-Entwicklungsmodells PHENIPS führte zu neun potenziellen Artphasen. Das sind Entwicklungsphasen von Zeigerpflanzen, die ein gleichzeitiges Auftreten mit einer phänologischen Phase des Buchdruckers im Frühjahr aufweisen. Im Rahmen eines Citizen-Science-Projektes wurde über zwei Frühjahrsperioden gezeigt, dass das Mausohrstadium der Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*) mit dem Erstflug des Buchdruckers ab März zusammenfiel und die Blattentfaltung der Rosskastanie mit dem Schwärmflug ab April. Der Maitrieb der Fichte (*Picea abies*) im Jungwuchs korrelierte deutlich mit dem Hauptbefall der Altbäume zur Anlage der ersten Generation F1. Der Blühbeginn des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) zeigte den Befallsbeginn zur Anlage der Geschwisterbrut von F1 mit einer Verzögerung von zehn Tagen an. Diese Art des Monitorings stellt eine einfache Ergänzung zu etablierten Monitoringsystemen dar.

SCHLÜSSELWORTE

Buchdrucker, Fichte, Monitoring, Phänologie, Rosskastanie, Schwarzer Holunder, Zeigerpflanzen

ABSTRACT

Spruce and horse chestnut as indicator plants for the swarming of the spruce bark beetle

Based on indicator plants a simple monitoring tool for the swarming behaviour of the spruce bark beetle (*Ips typographus*) in spring has been developed. Environmental factors determine the timing of important developmental stages in both bark beetle and plants, such as swarming or leaf unfolding. Both are exposed to locally similar environmental conditions, which may result in a coincidence of their developmental stages. The evaluation of data from the Pan European Phenology Database PEP725 with site-specific prediction data from PHENIPS model for bark beetle development resulted in nine potential phenophases. These are developmental phases of indicator plants that coincide with a phenological phase of the spruce bark beetle in spring. In a citizen science project, we showed in two spring seasons that the leaf bud burst of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) coincided with the early flight activity of the spruce bark beetle in March and the leaf unfolding of the horse chestnut with the swarming in April. The bud burst of Norway spruce (*Picea abies*) in young stands in May clearly coincided with the main infestation of old trees with the first generation F1. The start of flowering of the black elderberry (*Sambucus nigra*) indicated the start of infestation of the F1 sibling brood with a delay of ten days. This type of monitoring is a complementation for already well-established monitoring systems.

KEYWORDS

Spruce bark beetle, Norway spruce, monitoring, phenology, horse chestnut, black elderberry, indicator plants

Einleitung

Der Buchdrucker (*Ips typographus*) kann durch Massenvermehrung geschwächte und gesunde Fichten befallen und somit in kurzer Zeit große Waldflächen schädigen. Der Frühjahrsflug des Borkenkäfers hängt stark von klimatischen Bedingungen, wie Temperatur und Niederschlag, ab. Eine frühzeitige und genaue Vorhersage des Schwärmbeginns ist daher wesentlich, um das Befallsrisiko durch gezielte Gegenmaßnahmen zu minimieren. Wöchentliche Waldbegehungen zur Früherkennung befallener Bäume sind zeitaufwändig. Eine möglichst genaue Kenntnis des Schwärmbeginns hilft den Aufwand für die Kontrollgänge zu reduzieren. Die Entwicklung des Buchdruckers wird in Österreich durch Modelle bereits erfolgreich prognostiziert. Die Vorhersagen sind online verfügbar (Baier et al. 2007, Baier et al. 2012). Ziel dieser Studie war es, eine neue Frühwarnmethode basierend auf Zeigerpflanzen zu etablieren, die einen sehr niederschweligen Zugang bietet und auch für Laien leicht anwendbar ist. In einem ersten Schritt wurden basierend auf vorhandenen phänologischen Datensätzen potenzielle Zeigerpflanzen identifiziert. In einem zweiten Schritt beobachteten eigens dafür geschulte Freiwillige, meistens Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer (Citizen Scientists), über zwei Saisonen in ganz Österreich die phänologischen Phasen dieser Pflanzen und des Buchdruckers.

Material und Methoden

Datengrundlage und Untersuchungsgebiet

Die Untersuchung erfolgt in zwei Schritten und basiert auf folgenden Daten: (1) historischen phänologischen Daten aus der Paneuropäischen Phänologischen Datenbank PEP725 (Jongman et al. 2011) und dem phänologischen Buchdrucker-Entwicklungsmodell PHENIPS (Baier et al. 2007) und (2) neuen Daten aus einem Citizen-Science-Programm, in dem Freiwillige phänologische Phasen von Zeigerpflanzen und Buchdrucker dokumentierten.

Identifizierung der Zeigerpflanzen

GeoSphere Austria sammelt über die Plattform Phenowatch pflanzenphänologische Beobachtungsdaten und speist diese in PEP725 ein. Daraus wurden 16 potenzielle Zeigerpflanzen für den Zeitraum 2010 bis 2021 aus ganz Österreich ausgewählt. Auswahlkriterien waren eine zeitliche Überschneidung der phänologischen Phasen mit dem Buchdrucker, eine gute Erkennbarkeit, weite Verbreitung und ein hoher Bekanntheitsgrad der Pflanzenarten in der Bevölkerung. Der so entstandene Datensatz umfasste ursprünglich 19.653 Beobachtungen von 263 Beobachtungsstandorten in ganz Österreich. Die ausgewählten Pflanzenarten bilden mit ihren jeweiligen phänologischen Phasen nach der BBCH-Monographie (Meier 2018) insgesamt 65 Artphasen. Nach einer Datenbereinigung in Anlehnung an die Vorgehensweise des Schweizer Phänologischen Netzwerks (Auchmann et al. 2018) verblieben alle Standorte mit positiver Qualitätskontrolle und Beobachtungsreihen mit mindestens drei aufeinanderfolgenden Beobachtungsjahren. Zusätzlich wurde die Korrelation mit der Standorthöhe in die Datenbereinigung einbezogen.

Für alle ausgewählten Standorte wurden mit PHENIPS die Beginnzeiten der phänologischen Käferphasen für jedes Beobachtungsjahr berechnet und mit dem Datensatz PEP725 verknüpft. Dafür wurde jeder Standort einer Kachel eines 300 x 300 m großen Rasters zugeordnet. Dieses Raster dient der Extrapolation der Temperaturdaten aus dem österreichweiten Netzwerk an Klimastationen der GeoSphere Austria. Die jeweilige Höhe eines Standortes wurde mit einem digitalen Höhenmodell (DEM) eruiert. Die mittlere Höhe jeder Rasterkachel wurde zur weiteren Berechnung der Käferentwicklungsphasen herangezogen. In die Auswertung einbezogen wurde die mittlere Beginnzeit, berechnet aus den frühesten und spätesten möglichen Beginnzeiten der Entwicklungsphasen Erstflug, Schwärmbeginn, Befallsbeginn F1, Geschwisterbrut F1 (GBF1) sowie Befallsbeginn F2 (Tabelle 1).

Das Maß für die Eignung als Zeigerpflanze ist der mittlere zeitliche Unterschied zwischen dem Eintreten der Pflanzen-

TABELLE 1: Kodierung ausgewählter phänologischer Phasen von Pflanzen und Buchdrucker nach BBCH-Monographie (Meier 2018) und PHENIPS.

TABLE 1: Coding of selected plant and spruce bark beetle phenophases according to BBCH monograph (Meier 2018) and PHENIPS.

Pflanzenphasen			Käferphasen	
BBCH	Beschreibung	Kürzel	PHENIPS	Beschreibung
7	Blattaustrieb	BA	EF	Erstflug (Zeitpunkt der ersten Käfer in der Falle)
10	Mausohr	MO	SW	Schwärmbeginn (erster möglicher Schwärmflug im Frühjahr ab April)
11	Blattentfaltung	BE	F1	Befallsbeginn zur Anlage der 1. Generation / erster Hauptflug im Frühjahr / 10 % der Gesamtfangmenge bis Ende Mai
60	Blühbeginn	BB	GBF1	Befallsbeginn zur Anlage der Geschwisterbrut der 1. Generation
286	Fruchtreife	FR	F2	Befallsbeginn zur Anlage der 2. Generation

entwicklungsphase und dem Eintreten der Käferentwicklungsphase. Diese Differenz wird durch die Subtraktion der Jahrestagzahl (JTZ) der Käferentwicklungsphase von der Jahrestagzahl der Pflanzenentwicklungsphase berechnet und im Folgenden als Differenzwert D bezeichnet. Zum Beispiel bedeutet $D = 5$, dass die Entwicklungsphase des Buchdruckers im Mittel fünf Tage später als jene der Zeigerpflanze auftritt. Wenn eine Zeigerpflanze als Vorwarnung dienen soll, sollte D also einen positiven Wert besetzen.

Der Datensatz wurde nach einer maximalen mittleren Abweichung von D von ± 14 Tagen gefiltert. Für jede Phasenkombination wurde ein Korrelationskoeffizient r und die zugehörige Wahrscheinlichkeit p nach Spearman berechnet. Für die bisher ausgewählten Phasenkombinationen wurde zusätzlich der jeweilige Korrelationswert unter Berücksichtigung von Messwiederholungen ermittelt (Bakdash und Marusich 2017). Dabei werden die Korrelationen innerhalb jedes Jahres berechnet und anschließend gemittelt, da das Auftreten der Phasen sehr stark von den wechselnden klimatischen Bedingungen zwischen den Jahren abhängt.

Citizen-Science-Daten

Im Jahr 2022 wurden 68 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus verschiedenen Regionen Österreichs in drei ganztägigen Workshops geschult und mit Käferfallen, Pheromonen und Temperaturloggern sowie einem umfangreichen Handout ausgestattet (Wohlfahrt et al. 2022). Im Frühjahr der Jahre 2023 und 2024 beobachteten sie systematisch die phänologischen Phasen der ausgewählten Zeigerpflanzen und dokumentierten

mit den Pheromonfallen den Schwärmbeginn des Buchdruckers. Die 63 geolokalisierten Pheromonfallen (Abbildung 1) wurden am 15. März in Lagen unter 1000 m ü. M. und je nach Schneelage und Witterung ab dem 1. April in höheren Lagen mit dem Pheromon Ipsowit bestückt. Die Fallen wurden mindestens sechs Wochen hindurch zweimal wöchentlich kontrolliert und die gefangenen Buchdrucker gezählt. Der Temperaturlogger wurde in unmittelbarer Nähe der Borkenkäferfalle im Bestand, geschützt vor direkter Sonneneinstrahlung und nach Norden ausgerichtet, ca. 1 m über dem Boden angebracht. Die Temperatur wurde bis Ende Juli alle zehn Minuten gemessen. Zusätzlich zu den PHENIPS-Entwicklungsphasen konnte auch der Erstflug des Buchdruckers ab März erhoben werden (PHENIPS beginnt die Modellierung ab 1. April). Der eigentliche Schwärmflug beginnt ab April und der Hauptbefall zur Anlage von F1 ist definiert als der Zeitpunkt, an dem bis zum Stichtag 1. Mai mindestens 10 % der kumulativen Gesamtfangmenge gefangen wurden.

Die Teilnehmenden hatten die Aufgabe, die ausgewählten Zeigerpflanzen ab dem 1. März zu beobachten und das Datum des Eintretens der jeweiligen phänologischen Phase zu notieren. Zusätzlich wurden die Pflanzen lokalisiert und die genauen Koordinaten notiert. Die Seehöhe der Fallen- und Pflanzenstandorte wurde anhand der Koordinaten mit Hilfe des R-Pakets geonames zugeordnet. Die Höhendifferenz zwischen Zeigerpflanze und Falle wurde aus den Standortdaten berechnet. Die Beobachtungen wurden sowohl manuell in Erhebungsbögen als auch digital in der Naturkalender-App erfasst. Alle Analysen wurden mit R (R Core Team 2024) durchgeführt.

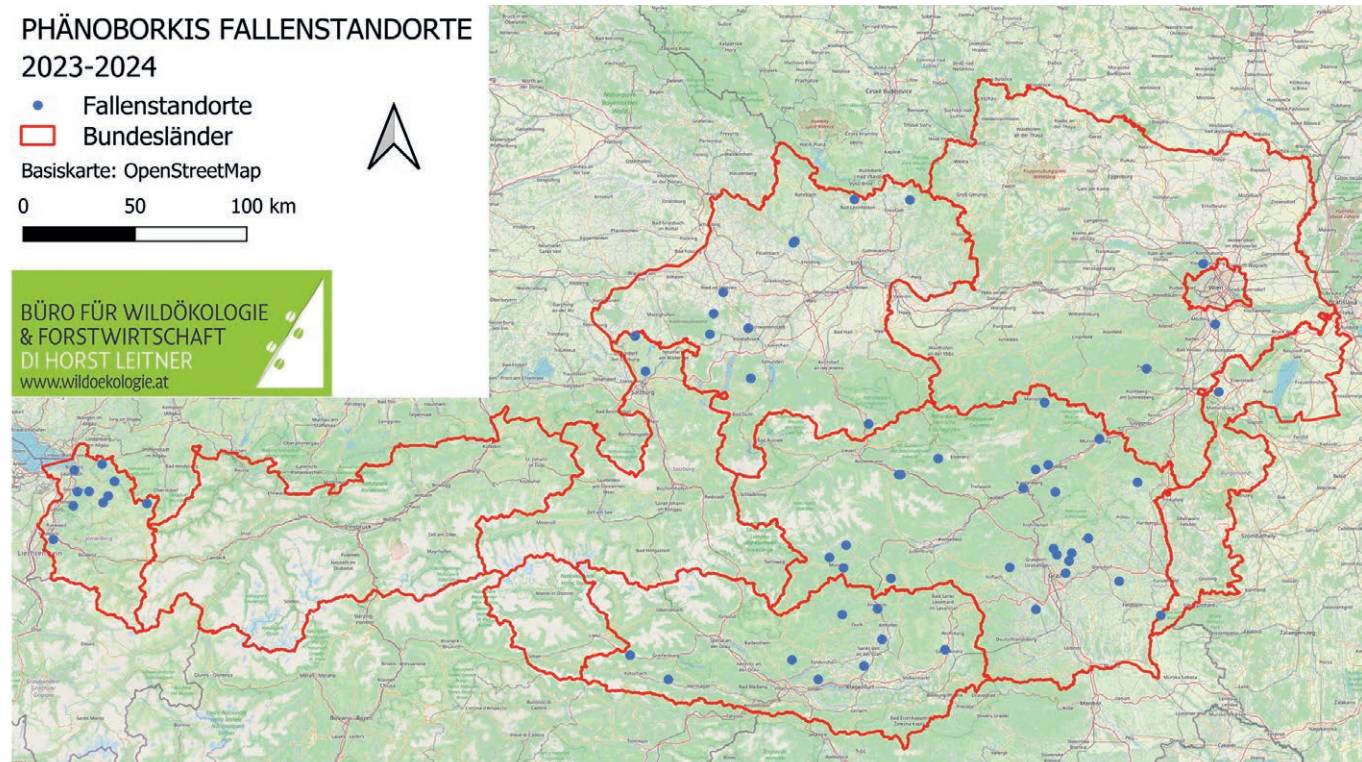


ABBILDUNG 1: Verteilungskarte der 63 Pheromonfallen, betreut von 68 Teilnehmenden in ganz Österreich.

FIGURE 1: Distribution map of 63 pheromone traps maintained by 68 participants throughout Austria.

Ergebnisse

Auswahl der Zeigerpflanzen

Aus den 65 untersuchten Artphasen wurden neun Pflanzen-Käfer-Kombinationen für die weitere Bearbeitung ausgewählt. Die Auswahl erfolgte anhand des Differenzwertes D sowie der berechneten Korrelationsstärke und unter Berücksichtigung einer möglichst gleichmäßigen Verteilung auf die darzustellenden Käferentwicklungsphasen. Die Phasenkombination Fichtenmaitrieb und Schwärmbeginn bildete in diesem Auswahlprozess eine Ausnahme. Voruntersuchungen (Wohlfahrt und Leitner 2019, Wohlfahrt und Leitner 2020) haben einen starken zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Maitrieb der Fichte im Jungwuchs und dem Schwärmbeginn ergeben. In den hier bearbeiteten PEP725-Datensätzen wurde Baumholz oder Altholz von Fichten beobachtet, welche den Maitrieb im Durchschnitt später als 14 Tage nach Schwärmbeginn zeigten. Trotz des zu großen Differenzwertes wurde die Fichte als mögliche Zeigerpflanze ausgewählt. Für die Geschwisterbrut von F2 und die Generation F3 konnte keine geeignete Pflanzenentwicklungsphase gefunden werden. Die ausgewählten Entwicklungsstadien sind in Tabelle 2 aufgeführt. Mit Hilfe eines gepaarten Wilcoxon-Tests für nicht normalverteilte Daten

konnte gezeigt werden, dass sich für alle ausgewählten Phasenkombinationen die jeweilige Pflanzenentwicklungsphase und die durch sie angezeigte Käferentwicklungsphase im Mittel nicht signifikant von ihrem mittleren Differenzwert unterscheiden. Nicht alle Zeigerpflanzen reagieren gleich stark auf klimatische Unterschiede zwischen den Jahren. So liegen die Regressionsgeraden vom Blühbeginn des Schwarzen Holunders und dem Befallsbeginn zur Anlage der Geschwisterbrut von F1 näher beieinander als der Maitrieb der Altholz-Fichte und dem Schwärmbeginn (Abbildung 2).

Citizen-Science

Insgesamt wurden 293 Zeigerpflanzen-Beobachtungen gemeldet, wovon acht Beobachtungen einer falschen phänologischen Phase zugeordnet und damit aus den weiteren Analysen ausgeschlossen wurden. Das Buchdrucker-Monitoring mit Pheromonfallen erbrachte insgesamt 77 Meldungen. Am häufigsten wurden Fichte-Maitrieb (55), Schwarzer-Holunder-Blühbeginn und Rosskastanie-Mausohr (je 46) beobachtet. Bis auf die Phase der Furchtreife der Heidelbeere und den Blühbeginn der Robinie lagen für alle Zeigerpflanzen genügend Daten für eine Auswertung vor. Die Kontrollen der Käferfallen erfolgten 2023 im Mittel alle vier Tage und 2024 alle 4,8 Tage (Median jeweils vier Tage).

TABELLE 2: Gepaarter Wilcoxon Mittelwerttest sowie Korrelation mit Messwiederholungen (rrm) der ausgewählten Pflanzenphänophasen (PEP) der potenziellen Zeigerpflanzen mit dem Differenzwert D bis zum Eintreffen der jeweiligen Buchdrucker-Phänophase (KEP), p-Werte, Freiheitsgrade (Df) und Konfidenzintervall (95%CI). Daten: PEP725, PHENIPS.

TABLE 2: Paired Wilcoxon mean value test and correlation with repeated measures (rrm) of the selected plant phenophases (PEP) of the potential indicator plants with the difference value D until the arrival of the respective spruce bark beetle phenophase (KEP), p-values, degrees of freedom (Df) and confidence interval (95%CI); data: PEP725, PHENIPS

Zeigerpflanzen PEP725 ~ PHENIPS						
Zeigerpflanze	PEP	KEP	Wilcoxon MW-Test		Korrelation mit Messwiederholung	
			p-Wert	Differenzwert D (95%CI)	r _{rm}	p-Wert
Roskastanie	MO	SB	0,59	-7 (-8,5 bis -6)	0,47	< 0,001
Fichte	BA		0,98	18 (16,8 bis 19,0)	0,57	< 0,001
Schlehdorn	BB		0,26	-1 (-3,5 bis -0,5)	0,52	< 0,001
Roskastanie	BE		0,86	1 (0,1 bis 2,0)	0,49	< 0,001
Eberesche	BE	F1	0,75	-7 (-8,5 bis -6,0)	0,56	< 0,001
Winterlinde	BE	F1	0,77	-2 (-3,5 bis -0,5)	0,62	< 0,001
Schwarzer Holunder	BB	GB F1	0,19	-14 (-14,3 bis -12,7)	0,76	< 0,001
Robinie	BB		0,22	-14 (-14,5 bis -12,0)	0,36	< 0,001
Heidelbeere	FR	F2	0,21	3 (-3,0 bis 4,5)	0,42	< 0,001

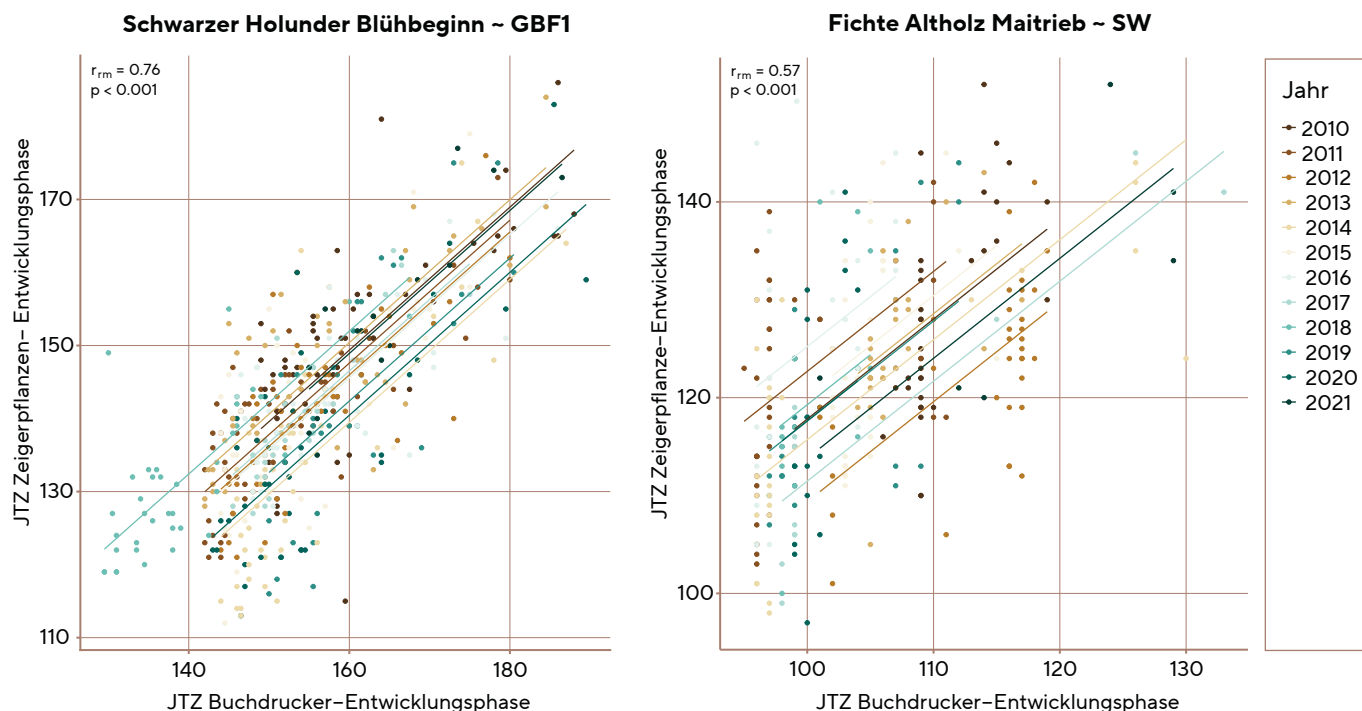


ABBILDUNG 2: Korrelation mit Messwiederholungen innerhalb der Beobachtungsjahre für die potenziellen Zeigerarten Schwarzer Holunder und Altholz-Fichte. Daten: PEP725, PHENIPS.

FIGURE 2: Correlation with measurement repetitions within the observation years for the potential indicator species black elder and old-growth spruce; data: PEP725, PHENIPS.

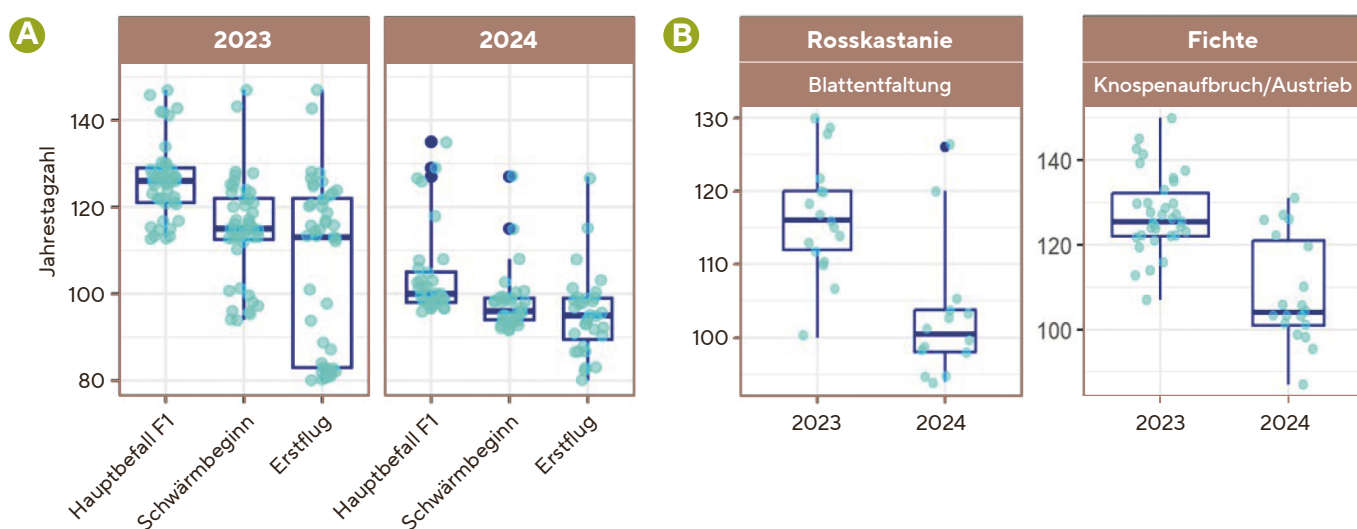


ABBILDUNG 3: Jahrestagzahl (türkise Punkte) des Erstfluges des A) Buchdruckers ab März, des Schwärmbeginns sowie des Befallsbeginns zur Anlage der ersten Generation (F1) 2023 und 2024, und B) der phänologischen Phasen der zwei Zeigerpflanzen Rosskastanie und Fichte, beobachtet von den Teilnehmenden. Die dicken blauen Balken zeigen den Median, die Boxen das zweite und dritte Quartil und die Whiskers den dreifachen Quartilsabstand an. Ausreißer sind als blaue Punkte dargestellt. Daten: Citizen-Science-Projekt PHÄNOBORKIS.

FIGURE 3: Day of year (turquoise dots) of A) the early flight of the spruce bark beetle from March, the start of swarming and the start of infestation of the first F1 generation in 2023 and 2024 and B) of the phenological phases of the indicator plants horse chestnut and Norway spruce, observed by the participants. The thick blue bars show the median, the boxes the second and third quartiles and the whiskers the triple quartile distance. Outliers are shown as blue dots. Data: citizen science project PHÄNOBORKIS.

Die Beobachtungsjahre zeigten einen sehr unterschiedlichen Witterungsverlauf im Frühjahr. Am Standort Bruck an der Mur gab es in beiden Jahren bereits im März Tage mit Maximaltemperaturen über dem Schwellenwert für die Schwärmaktivität des Buchdruckers (16,5 °C; Lobinger 1994). Der April 2023 war deutlich kühler als der April 2024. Im Jahr 2024 kam es in der zweiten Aprilhälfte zu einem Temperatursturz, während 2023 die Temperaturen in diesem Zeitraum anstiegen.

Im Mittel begannen Erstflug, Schwärmbeginn und Hauptbefall F1 des Buchdruckers 2023 deutlich später als 2024. Gleichzeitig waren Erstflug und Schwärmbeginn 2023 breit gestreut, während 2024 für alle drei beobachteten phänologischen Phasen des Käfers eine deutlich geringere Streuung mit nur wenigen Ausreißern zu beobachten war (Abbildung 3A). Die Zeigerpflanzen zeigten eine ähnliche Verteilung der Beobachtungszeitpunkte zwischen den Jahren 2023 und 2024 wie der Buchdrucker (Abbildung 3B).

Es wurde jetzt gezielt nach Kombinationen von Artphase und Käferphase gesucht, die keine signifikante zeitliche Differenz aufweisen. Eine Ausnahme bildet der Blühbeginn des Schwarzen Holunders, der mit einem Differenzwert von -14 getestet wurde. Ein t-Test bestätigte zusammen mit der Korrelationsanalyse nach Spearman eine signifikante zeitliche Überlappung bestimmter Entwicklungsstadien von Rosskastanie und Fichte mit dem Frühjahrsflug des Buchdruckers (Tabelle 3). Besonders das Mausohrstadium der Rosskastanie sowie der Maitrieb der Fichte zeigten starke Korrelationen mit dem Erstflug bzw. dem Hauptbefall zur Anlage von F1 des Buchdruckers. Die mittlere zeitliche Differenz D zwischen Rosskastanien-Mausohrstadium und Erstflug betrug rund vier Tage ($D = -4,36$; $r = 0,59$; $p < 0,001$). Der Maitrieb der Jungwuchsfichte korrelierte ebenfalls stark mit dem Hauptbefall zur Anlage von F1 ($D = 2,42$; $r = 0,67$; $p < 0,001$). Die Blattentfaltung der Rosskastanie lag im Mittel drei Tage vor dem Schwärmflug ($D = 3,33$; $r = 0,67$; $p < 0,001$). Die optische Überprüfung der Regressionsgeraden zeigte eine Scheinkorrelation bei Linde, daher wurde diese als Zeigerpflanze ausgeschieden. Die Beobachtungen am Schwarzen Holunder wurden mit den aus PHENIPS ermittelten standortabhängigen Befallsbeginn-Zeitpunkten zur Anlage von GBF1 verglichen. Dabei wurden, soweit vorhanden, in PHENIPS die standortspezifisch erhobenen Temperaturdaten verwendet, was die Genauigkeit der Vorhersagen erhöhen sollte. Der Blühbeginn des Schwarzen Holunders korreliert stark ($r = 0,70$, $p < 0,001$) mit dem Befallsbeginn zur Anlage von GBF1 (im Mittel zehn Tage später). Dies führte auch zur Ablehnung der Hypothese der Gleichheit der beiden Werte, da der tatsächliche Differenzwert laut Annahme bei -14 liegen müsste.

Diskussion

Unsere Untersuchungen zeigten, dass bestimmte phänologische Entwicklungsphasen von Rosskastanie, Fichte und Schwarzem Holunder zeitlich stark mit dem Schwärmbeginn des Buchdruckers im Frühjahr korrelieren. Die Analyse der

PEP725-Daten in Kombination mit den durch PHENIPS modellierten standortsspezifischen Buchdrucker-Daten ergab neun signifikant hoch korrelierte Artphasen geeigneter Zeigerpflanzen mit dem Schwärmbeginn des Buchdruckers ab April sowie dem Beginn des Hauptbefalls (Anlage F1) und dem Beginn der Anlage der Geschwisterbrut von F1. Die Überprüfung der Anwendbarkeit dieser Zeigerpflanzen durch geschulte Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer und andere Forstfachleute bestätigte für drei Zeigerpflanzen die gute Eignung als Indikatoren für die Buchdrucker-Aktivität. Bei der Rosskastanie zeigten zwei Entwicklungsstadien jeweils eine ausgeprägte phänologische Phase des Buchdruckers an (Abbildung 4). Das Mausohrstadium fand im Mittel vier Tage nach dem Erstflug des Buchdruckers ab März und die Blattentfaltung im Mittel drei Tage vor Schwärmbeginn ab April statt. Dieser Zusammenhang konnte bereits in einer Studie aus Deutschland gezeigt werden (Zang et al. 2015), in welcher die Jahrestagzahl der Blattentfaltung der Rosskastanie der Hauptprädiktor für den Erstflug des Käfers war. In der genannten Studie wurden die Käferfallen jedoch erst ab April beprobt, während in der vorliegenden Studie die Pheromone bereits ab dem 15. März in die Fallen eingehängt wurden. Somit entspricht der Erstflug des Käfers aus der deutschen Studie dem Schwärmflug ab April in dieser Studie. Das Beprobungsintervall der Käferfallen betrug im Mittel vier bis 4,8 Tage (Median = 4). Der tatsächliche Zeitpunkt der Buchdrucker-Phasen kann also um diesen Wert schwanken. Während die Buchdrucker-Fallen mit einem zeitlichen Abstand beprobt wurden, war es möglich, die Zeigerpflanzen kontinuierlich zu beobachten und daher den tatsächlichen Beginnzeitpunkt zu erfassen. Die Frequenz der Zeigerpflanzenbeobachtung wurde in dieser Untersuchung nicht erfasst und könnte in zukünftigen Untersuchungen zu einem noch genaueren Ergebnis führen. Dies wäre vor allem dann sinnvoll, wenn die Käferfallen mit einer automatischen Erfassungseinheit für gefangene Buchdrucker ausgestattet wären, um eine einheitliche zeitliche Erfassung zu gewährleisten.

Der Maitrieb der Fichte korreliert zeitlich mit dem Beginn des Hauptbefalls zur Anlage der F1-Generation und tritt im Mittel zwei Tage vor Befallsbeginn auf (Abbildung 4). Die Beobachtung des Maitriebes erfolgte an Fichtenjungwuchs (unter 1,5 m Höhe) auf Freiflächen. Frühere Untersuchungen in Kärnten (Wohlfahrt und Leitner 2019, Wohlfahrt und Leitner 2020) zeigten bereits, dass der Altbestand der Fichte deutlich später mit dem Maitrieb beginnt als der Jungwuchs. Der Maitrieb der Fichte wird als rein temperaturinduziert beschrieben und ein altersbedingter Unterschied ist für die Wachstumsphase bzw. für die Bildung neuer Knospen bekannt (Gyllenstrand et al. 2007). Die Daten des PEP725 enthalten keine Angaben zum Alter oder zur Altersklasse der beobachteten Fichten, wobei standardmäßig bereits reproduzierende Individuen beobachtet werden, was wiederum ein Mindestalter von 20-25 Jahren bedeuten würde. In der Auswertung des PEP725-Datensatzes fand der Hauptbefall der Fichte durch den Buchdrucker deutlich vor dem

TABELLE 3: Kombinationen aller Artphasen (PEP) und Käferphasen (KEP) 2023-2024, gefiltert nach $p > 0,05$: gepaarter t-Test (CI Konfidenzintervall) für die beobachteten Jahrestagzahlen jeder Phase. Positive mittlere Differenz bedeutet: Die Artphase tritt vor der Käferphase auf. Korrelation nach Spearman mit $r = \rho$, p-Wert und Freiheitsgrade (DF). Daten: Citizen-Science-Projekt PHÄNOBORKIS.

TABLE 3: Combinations of all plant phenophases (PEP) and beetle phenophases (CEP) 2023-2024, filtered for $p > 0.05$: paired t-test (CI Confidence Interval) for the observed day of year of each phase. Positive mean difference means the plant phenophase occurs before the beetle phenophase. Spearman Correlation with $r=\rho$, p-value and degrees of freedom (DF). Data: citizen science project PHÄNOBORKIS.

Zeigerpflanzen Citizen-Science-Projekt PHÄNOBORKIS								
Artphase	PEP	KEP	Mittlere Differenz D	Wilcoxon MW-Test		Korrelation mit Messwiederholung		
				t-Wert	p-Wert	r_{ho}	p-Wert	DF
Rosskastanie	MO	EF	-4.36 (-9,13 bis 0,42)	-1.84	0,07	0,38	0,013	45
Rosskastanie	BE	SW	3.33 (-0,16 bis 6,83)	1.95	0,06	0,67	0,000	41
Fichte-Jungwuchs	BA	F1	2.42 (-0,6 bis 5,43)	1.61	0,11	0,67	0,000	54
Winterlinde	BE	F1	3.56 (-1,39 bis 8,51)	1.48	0,15	0,51	0,008	26
Schwarzer Holunder	BB	GBF1	-10,12 (-6,59 bis -13,65) [Differenzwert = -14]	2.23	0,03	0,70	0,000	37



ABBILDUNG 4: Die drei phänologischen Phasen der Zeigerpflanzen Fichte und Rosskastanie weisen zeitlich auf drei phänologische Phasen des Buchdruckers im Frühjahr hin.

FIGURE 4: The three phenological phases of the indicator plants Norway spruce and horse chestnut indicate three phenological phases of the spruce bark beetle in spring.

Maitrieb der Altbäume statt. Der Buchdrucker scheint die Zeit vor dem Maitrieb der Altbäume für seinen Hauptbefall zur Anlage von F1 zu nutzen. Dieser zeitliche Zusammenhang wurde bisher nicht untersucht und sollte in Zukunft auf jeden Fall weiter erforscht werden.

Die Beobachtung phänologischer Phasen von Pflanzen und Tieren unterliegt potenziell Verzerrungen mit verschiedenen Quellen als Ursache. Auch die genaueste Beschreibung einer Phase wird von verschiedenen Beobachtern unterschiedlich interpretiert. Hinzu kommen Unterschiede von Pflanzenindividuum zu Pflanzenindividuum. Diese Bandbreite kann die exakte Bestimmung des Phasenbeginns erschweren, da nicht Ausreißer, sondern möglichst der Durchschnitt beobachtet werden sollte. Diesem Problem wird dadurch begegnet, dass mindestens drei Individuen einer lokalen Population die Phase aufweisen müssen.

Auch die Modellierung der Buchdrucker-Phasen mit PHENIPS unterliegt theoretischen und praktischen Ungenauigkeiten. Wenn keine lokalen Temperaturdaten vorhanden sind, muss das Modell auf extrapolierte Klimadaten zurückgreifen. So kann eine Zeigerpflanze auch genauere Prognosen der Buchdrucker-Aktivität liefern als eine Modellierung auf Basis von Temperatursummen (Zang et al. 2015).

Schlussfolgerung

Die Verwendung von Fichte und Rosskastanie als Zeigerpflanzen stellt eine einfache, kostengünstige und effektive Möglichkeit dar, den Schwärmbeginn des Buchdruckers vorherzusagen. Durch die Beobachtung des Schwarzen Holunders kann zusätzlich auf den Befallsbeginn zur Anlage der Geschwisterbrut von F1 reagiert werden. Alle drei Arten sind leicht zu erkennen und weit verbreitet. Die Methode kann als Frühwarnsystem eingesetzt werden, um rechtzeitig Maßnahmen zur Bekämpfung des Buchdruckers einzuleiten und daher als Ergänzung zu bestehenden Monitoringsystemen wie PHENIPS oder Pheromonfallen dienen.

Zukünftige Untersuchungen sollten sich neben der Bearbeitung noch offener Fragen auch auf eine mögliche digitale Anwendung konzentrieren. Der Einsatz einer App zur Datenerfassung und -auswertung sowie daraus abgeleiteter Warnhinweise könnte die Nutzung dieser Methode weiter verbessern.

Danksagung

Unser besonderer Dank geht vor allem an die freiwilligen Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Citizen-Science-Projektes. Des Weiteren bedanken wir uns bei unseren Projektpartnern, dem Österreichischen Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL) und dem Büro LACON, Thomas Hübner von GeoSphere Austria, Peter Baier vom Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz der BOKU University Wien und dem Bundesforschungszentrum für Wald.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts Nr. 101687 „IpsEMAN“ im Auftrag und mit finanzieller Unterstüt-

zung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (Waldfonds, Maßnahme 8: Forschungsmaßnahmen zum Thema „Klimafitte Wälder“) durchgeführt.

Literatur

Auchmann, R., Brugnara, Y., Rutishauser, T., Brönnimann, S., Gehrig, R., Pietragalla, B., Begert, M., Sigg, C., Knecht, V., Calpini, B., Konzelmann, T., 2018: Quality Analysis and Classification of Data Series from the Swiss Phenology Network, 88.

Baier, P., Pennerstorfer, J., Otto, L.-F., Schopf, A., 2012: Online-Modellierung der Entwicklung und der Phänologie des Buchdruckers (*Ips typographus*) auf Basis des Modells PHENIPS und täglicher Wetter- und Prognosedaten des DWD, 5.

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, 171-186.

Bakdash, J. Z., Marusich, L. R., 2017: Repeated Measures Correlation. *Frontiers in Psychology*, 8, 456.

Gyllenstrand, N., Clapham, D., Källman, T., Lagercrantz, U., 2007: A Norway Spruce FLOWERING LOCUS T Homolog Is Implicated in Control of Growth Rhythm in Conifers. *Plant Physiology*, 144, 248-257.

Jongman, R. H. G., Bouwma, I. M., Griffioen, A., Jones-Walters, L., Van Doorn, A. M., 2011: The Pan European Ecological Network: PEEN. *Landscape Ecology*, 311-326.

Lobinger, G., 1994: Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Fichtenborkenkäferarten, *Ips typographus* L. und *Pityogenes chalcographus* L. (Col., Scolytidae). *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 67, 14-17.

Meier, U., 2018: BBCH Monografie. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. Julius Kühn-Institut, Quedlinburg, 204. doi: 10.5073/20180906-074619.

Puschacher, J., Steyrer, G., Kammleitner, J., Hoch, G., 2024: Ritzen der Rinde von Fichtenstämmen als Werkzeug im integrierten Borkenkäfermanagement. *Forstschutz Aktuell*, Wien, 69, 22-28.

R Core Team, 2024: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Wohlfahrt, S., Leitner, H., 2019: Phänologisches Frühwarnsystem Borkenkäferflug. Büro für Wildökologie und Forstwirtschaft, Klagenfurt.
<https://www.wildoekologie.at/post/ökologie-und-integriertes-borkenkäfermanagement>

Wohlfahrt, S., Leitner, H., 2020: Phänologisches Frühwarnsystem Borkenkäferflug - Borkenkäferalarm. Büro für Wildökologie und Forstwirtschaft, Klagenfurt.
<https://www.wildoekologie.at/post/ökologie-und-integriertes-borkenkäfermanagement>

Wohlfahrt, S., Leitner, H., Mittermüller, U., Wanninger, K., Baier, P., Hoch, G., 2022: Integriertes Borkenkäfermanagement - Zeigerpflanzen für das Monitoring des Buchdruckers. Handout, Klagenfurt.
<https://www.wildoekologie.at/post/ökologie-und-integriertes-borkenkäfermanagement>

Zang, C., Helm, R., Sparks, T., Menzel, A., 2015: Forecasting bark beetle early flight activity with plant phenology. *Climate Research*, 66, 161-170.