

Wirkungen einzelbaumweise eingemischter Trauben-Eichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in Wäldern der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf die Arthropodenfauna unter besonderer Berücksichtigung der Laufkäfer (Carabidae)

Aus der Technischen Universität Dresden, Institut für Waldbau und Forstschutz, Piener Str. 8, 01737 Tharandt

(Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle)

A. WEHNERT[✉], B. LEHMANN, M. MÜLLER und S. WAGNER

(Angenommen Februar 2010)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Einzelbaumeffekt; Carabidae; räumliche Verteilung; Pinus sylvestris; Quercus petraea.

Single-tree effect; Carabidae; spatial dispersal; Scots Pine; Sessile Oak.

1. EINLEITUNG

Die Wälder im norddeutschen Tiefland sind, wie fast alle Wälder Mitteleuropas, aufgrund ökonomischer und politischer Einflüsse abweichend von ihrer natürlichen Entwicklung bewirtschaftet worden. Auch wenn die natürliche Dynamik von Wäldern mit Pionierbaumarten berücksichtigt würde, ist einzuschätzen, dass diese nicht die ihnen ursprünglich inwohnende, sondern eine geringere Stabilität und Elastizität aufweisen, was insbesondere durch ihre geminderten Fähigkeiten zur natürlichen Regulation von biotischen Schadfaktoren zum Ausdruck kommt (MÜLLER, 2000). Wiederholt breiten sich Massenvermehrungen phyllophager oder cambiophager Insekten aus, die im Extremfall auch mit großflächigen Pflanzenschutzmittelapplikationen eingedämmt werden. Der Waldbau zielt u. a. darauf ab, den Anteil von Mischwäldern zu Lasten des Anteils der reinen Kiefernwälder zu erhöhen. Diese Zielsetzung wird vorrangig auf Waldflächen mit mindestens mittlerer Trophie und mittlerer Wasserversorgung umgesetzt (OTTO, 1992; MÜLLER, 1997). Die Waldschutzprobleme betreffen jedoch insbesondere Kiefernwälder auf Standorten mit ziemlich armer und armer Trophie sowie geringer Wasserversorgung (ALLRICH und MÜLLER, 1999a; ALLRICH und MÜLLER 1999b). Ein an diese Bedingungen angepasster Waldbau muss einerseits stabilisierende Komponenten in den Wäldern etablieren und gleichzeitig die Waldbewirtschaftung mit der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) weiterentwickeln. Die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber potentiellen Schadfaktoren kann durch verschiedene Strukturelemente erhöht werden (ALTENKIRCH *et al.*, 2002; BILKE *et al.*, 2004; RÖHRIG *et al.*, 2006). In Bezug auf die Kiefernwälder auf Standorten geringer Trophie und Wasserversorgung kommen insbesondere kleinflächige Verjüngungen mit Trauben-Eiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) oder Stiel-Eiche (*Quercus robur* L.) in Frage (OLDENBURG und MÜLLER, 2004; OLDENBURG, 2006; LEHMANN, 2008).

Bereits JUDEICH und NITSCHKE (1895) empfehlen eine Beimischung von Laubbäumen, um die positive Wirkung auf Nadelbaumreinbestände (BLANCKMEISTER, 1962; KOIVULA *et al.*, 1999) hinsichtlich des Schädigungsgrades durch Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.) zu nutzen. LÜDGE (1971) bestätigt eine positive Wirkung durch einen systematischen Laubbaumunterbau in Kiefernreinbeständen, der die Reduzierung der Populationsdichte verschiedener Kiefernscädlinge zur Folge hat. Daneben fördern strukturierte Bestände (z. B. Lücken bzw. Laubbaummischungen)

die Diversität von Pflanzen und Arthropoden (FAHY und GORMALLY, 1998). Die Auswirkung waldbaulicher Behandlungsweisen waren Gegenstand verschiedener Untersuchungen (DU BUS DE WARNAFFE und LEBRUN, 2004; GOBNER *et al.*, 2006; OLDENBURG, 2006; NIEMELÄ *et al.*, 2007). Um Aussagen zur Wirkung der verschiedenen Mischungsformen auf die umliegenden Bestände zu formulieren, ist zunächst die Untersuchung der Effekte einzelbaumweiser Einmischungen sinnvoll, da diese leicht abzugrenzen und abzubilden sind. Einzelbäume stellen nach WAGNER (2005) die kleinste, waldbaulich relevante Untersuchungseinheit dar. Die ökologischen Wirkungen des einzelnen Baumes, die so genannten Einzelbaumeffekte, umfassen verschiedene Aspekte wie Lebensraumeigenschaften, Stoff- und Energieflüsse (WU *et al.*, 1985; ØKLAND *et al.*, 1999; SAETRE, 1999; WAGNER, 2005; WAGNER, 2006). Diese Effekte stehen im Zusammenhang mit der Position von Einzelbäumen in Wäldern und können sowohl in ihrer Qualität als auch Intensität gemessen werden. Es lassen sich von Einzelbäumen entfernungabhängige Gradienten beschreiben, da die ökologischen Effekte, in ihrer räumlichen Wirkung begrenzt sind (WAGNER, 2005; WAGNER, 2006). Die Einbindung des Waldschutzes in Einzelbaum Betrachtungen resultiert aus dem naturnahen Ansatz, biologische Automatismen zu nutzen (RÖHRIG *et al.*, 2006). Dies beinhaltet unter anderem den vorbeugenden Schutz, welcher durch geeignete Maßnahmen aus dem Wald selbst heraus entstehen kann.

Um mögliche Effekte, ausgehend von einzelnen Eichen in Kiefernreinbeständen zu untersuchen, wurde die Familie Carabidae (Laufkäfer) gewählt. Carabiden werden in einer Vielzahl von Veröffentlichungen als geeignete Indikatorengruppe für bestimmte Lebensräume benannt, da sie bei ihrer Habitatwahl besonders stark von ökologischen Bedingungen wie Feuchte, Temperatur und Licht abhängig sind (MÜLLER-MOTZFELD, 1989; WACHMANN *et al.*, 1995; RAINIO und NIEMELÄ, 2003). Der Lederlaufkäfer *Carabus coriaceus* L. wird z. B. mehrheitlich den Laub- und Laubmischwäldern zugeordnet (THIELE und KOLBE, 1962; KOCH, 1994; WACHMANN *et al.*, 1995). Daraus kann die Frage abgeleitet werden, ob sich diese Arten gehäuft im Bereich einzelner Laubbäume, in sonst homogenen Nadelwäldern, nachweisen lassen. Ferner ist von Interesse, ob sich durch einzelne Laubbäume kleinflächig laubwaldähnliche Lebensräume schaffen lassen. Neben der Eignung der Laufkäfer als Indikatorengruppe muss die differenzierte Betrachtung verschiedener Entwicklungsstadien (Laufkäferlarven) hinsichtlich ihrer Indikatorfunktion ebenfalls berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang bestehen noch immer Wissensdefizite hinsichtlich artspezifischer, ökologischer und biologischer Eigenarten von Carabidenlarven. Aufgrund ihrer Weichhäutigkeit, und der daraus resultierenden höheren Sensitivität gegenüber den Umweltbedingungen, sollten auch Larvenstadien in die Überprüfung auf ökologische Effekte von Einzelbäumen einbezogen werden. Daneben könnten Untersuchungen zu den Laufkäferlarven, wegen des eingeschränkten Aktionsraums der Larven und deren fehlender Fähigkeit ungünstige Lebensräume zu verlassen, ein geeignetes Instrumentarium für die Ableitung verbesserter indikativer Aussagen bieten (MÜLLER-MOTZFELD, 1989; LÖVEI und SUNDERLAND, 1996).

✉) Korrespondierende Autorin: ALEXANDRA WEHNERT.
E-Mail: wehnert@forst.tu-dresden.de

2. METHODIK

Die Untersuchungen zur Verteilung der epigäischen Laufkäfer (Carabidae) fanden in einem 6-monatigen Zeitraum vom 22.03 bis 14.10.2005 statt. Bei den einbezogenen Einzelbäumen handelt es sich um ca. 200-jährige Trauben-Eichen (mittlere Höhe 17 m, mittlerer BHD 64 cm). Die insgesamt fünf Alteichen sind in einen 79-jährigen Kiefernreinbestand (mittlere Höhe 18,2 m) einzelbaumweise eingemischt. Der Bestand liegt im Süden des Bundeslandes Brandenburg im Revier Jerischke der Oberförsterei Reuthen im Bereich des damaligen Amtes für Forstwirtschaft Peitz. Es handelt sich um einen Z2-Standort (ziemlich arm, mittlere Feuchte). Die Lokalbodenform wurde als Bärenthorener Sand-Braunpodsol (BäS) angesprochen. Bei den untersuchten Alteichen kann mit hoher Wahrscheinlichkeit von einem Rest, des für diese Region typischen Kiefern-Trauben-Eichenwaldes ausgegangen werden. Als gegenwärtige Vegetation liegt überwiegend ein Blaubeer-Kiefernwald vor, welcher sich in der Bodenvegetation durch die Vaccinium-Arten Blaubeere (*Vaccinium myrtillus* L.) und Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea* L.) charakterisieren lässt.

Die Arthropodenfauna wurde innerhalb des genannten Zeitraums mit Hilfe von 84 Bodenfallen, in Anlehnung an BARBER (1931), in einem 14-tägigen Turnus erfasst. Dabei handelt es sich um überdachte glattwandige Glasgefäße (Höhe: 9 cm, Öffnungsdurchmesser: 6 cm), die in den Boden ebenerdig eingelassen und mit gesättigter Benzoesäurelösung als Fangflüssigkeit befüllt waren. Diese Methode erweist sich als vorteilhaft, da sich auf unterschiedlichen Untersuchungsflächen zeitgleich Daten erfassen lassen (JUKES *et al.*, 2001). Darüber hinaus sind subjektive Einflüsse weitgehend auszuschließen (BOMBOSCH, 1962). Das sternförmige Fallendesign basiert auf den methodischen Erfahrungen zur Auswertung einzelbaumbasierter, räumlicher Daten, wie sie u. a. von STOYAN und WAGNER (2001) verwendet wurden. Die Untersuchungsfläche umfasst zwei ausgewählte Alt-Eichen A und B sowie eine 157 m bzw. 125 m von den Eichen entfernt stehende Kiefer (K), die für einen Vergleich herangezogen wird. Es wurden 28 Fallen pro Baum in den Haupthimmelsrichtungen und folgenden Entfernungsstufen aufgestellt: 1 = am Stamm, 2 = halber Radius zum projizierten Kronenrand, 3 = unter dem Kronenrand, 4 = 10 m vom projizierten Kronenrand und 5 = 30 m vom projizierten Kronenrand entfernt (Abb. 1). Im Bereich der Zwischenhimmelsrichtungen befanden sich lediglich in den letzten beiden Entfernungsstufen 4 und 5 Fal-

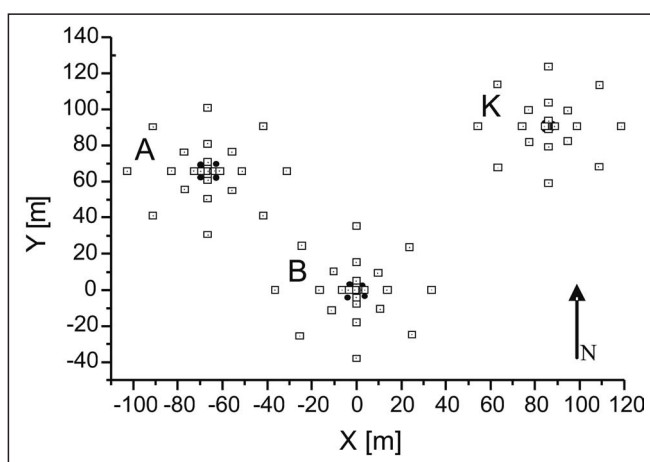


Abb. 1

Stammpositionen der untersuchten Einzelbäume (Trauben-Eichen A und B, Gemeine Kiefer K) mit dem sternförmigen Fallendesign (□ Fallen; ● Kronenrand).

Positions of the single-trees (Sessile Oak A and B, and Scots Pine K) with the radiating trap arrangement (□ traps; ● crown edge).

len, da mit zunehmender Entfernung vom betrachteten Einzelbaum eine verminderte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Laufkäfern angenommen wurde. Eine grundlegende Voraussetzung für diese Annahme bildet jedoch der unmittelbar wirkende Einfluss der Mischbaumart auf die räumliche Verteilung der Laufkäferarten sowie die Einflussnahme auf deren Umwelt (Bodenvegetation, Strahlung etc.). Mit der Erfassung der Vegetation im unmittelbaren Fallenbereich (1 m²) sollten zusätzliche Informationen zur Erklärung der auftretenden Verteilungsmuster der Laufkäfer gewonnen werden.

Die statistische Auswertung basiert auf einfaktorien Varianzanalysen (ANOVA), die für den Einzelvergleich mit Hilfe des *Least Significant Difference-Tests* (LSD-Test) geprüft wurden. Für die mathematische Beschreibung der Distanzeffekte fand die Korrelationsanalyse nach PEARSON Anwendung. Des Weiteren erfolgte die Berechnung der ökologischen Indices für den Flächenvergleich auf Artbasis nach JACCARD und SØRENSEN (MÜHLENBERG, 1993).

3. ERGEBNISSE

3.1 Epigäische Fauna

Insgesamt konnten 72.246 der auf der Untersuchungsfläche gefangenen Individuen dem Stamm der Arthropoda zugeordnet werden. Mit 14 Arten und insgesamt 452 Individuen stellt die Familie der Laufkäfer (Carabidae) die zweithäufigste Käferfamilie nach den Kurzflüglern (Staphylinidae) dar. Innerhalb der Fänge ergeben sich nur bedingt abgesicherte Zusammenhänge, die auf Unterschiede in den Wirkungen der Baumarten Gemeine Kiefer und Trauben-Eiche schließen lassen. Ein hoch signifikanter ($p \leq 0,01$) Zusammenhang zwischen einer, der beiden untersuchten Trauben-Eichen und der Gemeinen Kiefer liegt für die Käferfamilien Staphylinidae (Kurzflügler) und Geotrupidae (Mistkäfer) vor. Ähnliche nachweisbare signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen den Baumarten konnten für Diplopoda, Saltatoria und Curculionidae festgestellt werden. Zusätzlich konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Trauben-Eichen für das Auftreten der Ptinidae und Throscidae ermittelt werden (Abb. 2).

Die höchste Artenvielfalt (Carabidae), mit zum Teil geringer Individuenzahl, zeichnet sich im Bereich der Eiche B ab. Von den 10 nachweisbaren Arten konnten z. B. *Carabus cancellatus* Ill., *Carabus hortensis* L., *Cychrus caraboides* L. und *Harpalus pubescens* Müll. lediglich im Bereich dieser Eiche erfasst werden. Die Untersuchungsgebiete der Bäume A und K sind durch insgesamt neun Laufkäferarten charakterisiert. Es ergaben sich signifikante Unterschiede für die Präsenz der Imagines im Bereich der Eiche A im Vergleich zur Kiefer K für *Pterostichus oblongopunctatus* F. ($p \leq 0,05$) und zwischen Eiche B und Kiefer K für *Carabus nemoralis* Müll. Außerdem konnte sowohl für *Pterostichus oblongopunctatus* als auch *Notiophilus biguttatus* F. ein hoch signifikanter Unterschied ($p \leq 0,01$) ermittelt werden (Abb. 2). Ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) für die untersuchten larvalen Stadien konnte nur für *Carabus coriaceus* zwischen den beiden untersuchten Einzeleichen A und B ermittelt werden. Anhand der Indices nach Jaccard und Sørensen, zur Ermittlung der Flächenähnlichkeit, lassen sich keine Unterschiede in der Präsenz von Laufkäferarten zwischen den Bereichen der Kiefer und Eichen belegen. Im Gegensatz dazu bestand die größte Ähnlichkeit auf Artbasis (JACCARD: 80,00 und SØRENSEN: 78,20) zwischen den Untersuchungsgebieten der Eiche A und der Kiefer K.

3.2 Räumliche Effekte

3.2.1 Bodenvegetation

Im Bereich der drei untersuchten Einzelbäume konnten bezüglich der Bodenvegetation baumartenspezifische Verteilungsmuster

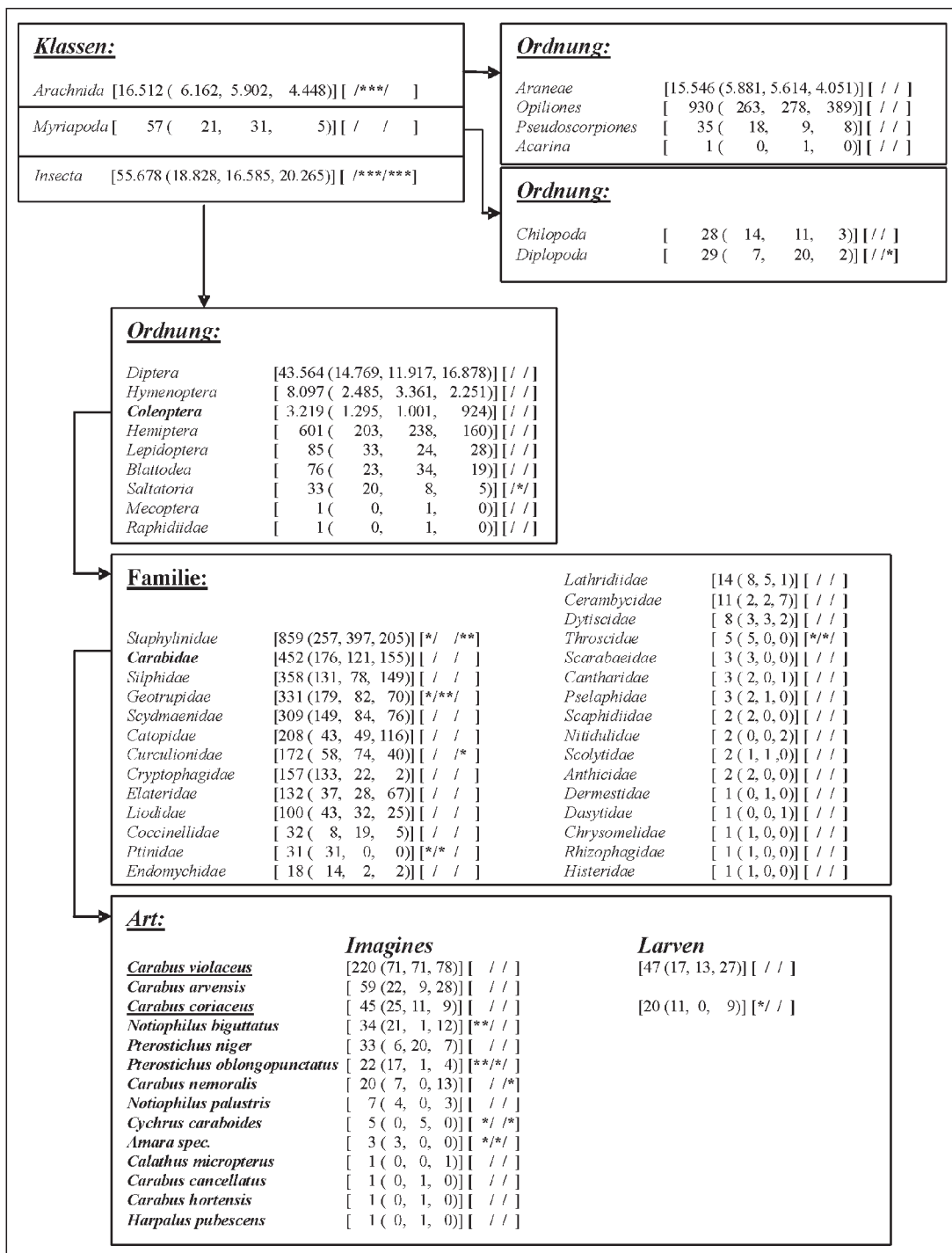


Abb. 2

Verteilung der Individuen auf den untersuchten Bereichen der Trauben-Eichen (A und B) sowie der Gemeinen Kiefer (K). Die Reihenfolge der dargestellten Werte ist wie folgt zu interpretieren: [Gesamtanzahl der erfassten Individuen (Anzahl der Individuen auf den Einzelflächen: A, B, K)] [statistischer Vergleich zwischen den Einzelflächen: **AB/AK/BK** unter Angabe der Signifikanzniveaus für den LSD-Test: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$].

Distribution of all captured arthropods in the areas around the Sessile Oaks (A and B) and the Scots Pine (K).

The order of the values can be taken as follows: [Total of captured individuals (Number of individuals relating to single tree areas: A, B, K)] [statistical comparison between the areas: **AB/AK/BK** under specification of the level of significance for the LSD-test: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$].

aufgezeigt werden. Eine heterogene bzw. mosaikreiche Vegetationsverteilung im Bereich der Eichen, in einem sonst homogenen Kiefernbestand, war nachweisbar. Deutlich wird dies anhand des höheren Artspektrums ($n_{(A)} = 10$; $n_{(B)} = 8$; $n_{(K)} = 6$), erhöhter Anteil-

le an *Vaccinium myrtillus* (Blaubeere) sowie der Konzentration von Laubstreu im projizierten Kronenbereich (Abb. 3). Im Gegensatz dazu weisen die umliegenden Bestandesbereiche mit reiner Kiefer eine vergleichsweise homogene Verteilung an Nadelstreu, *Vaccini-*

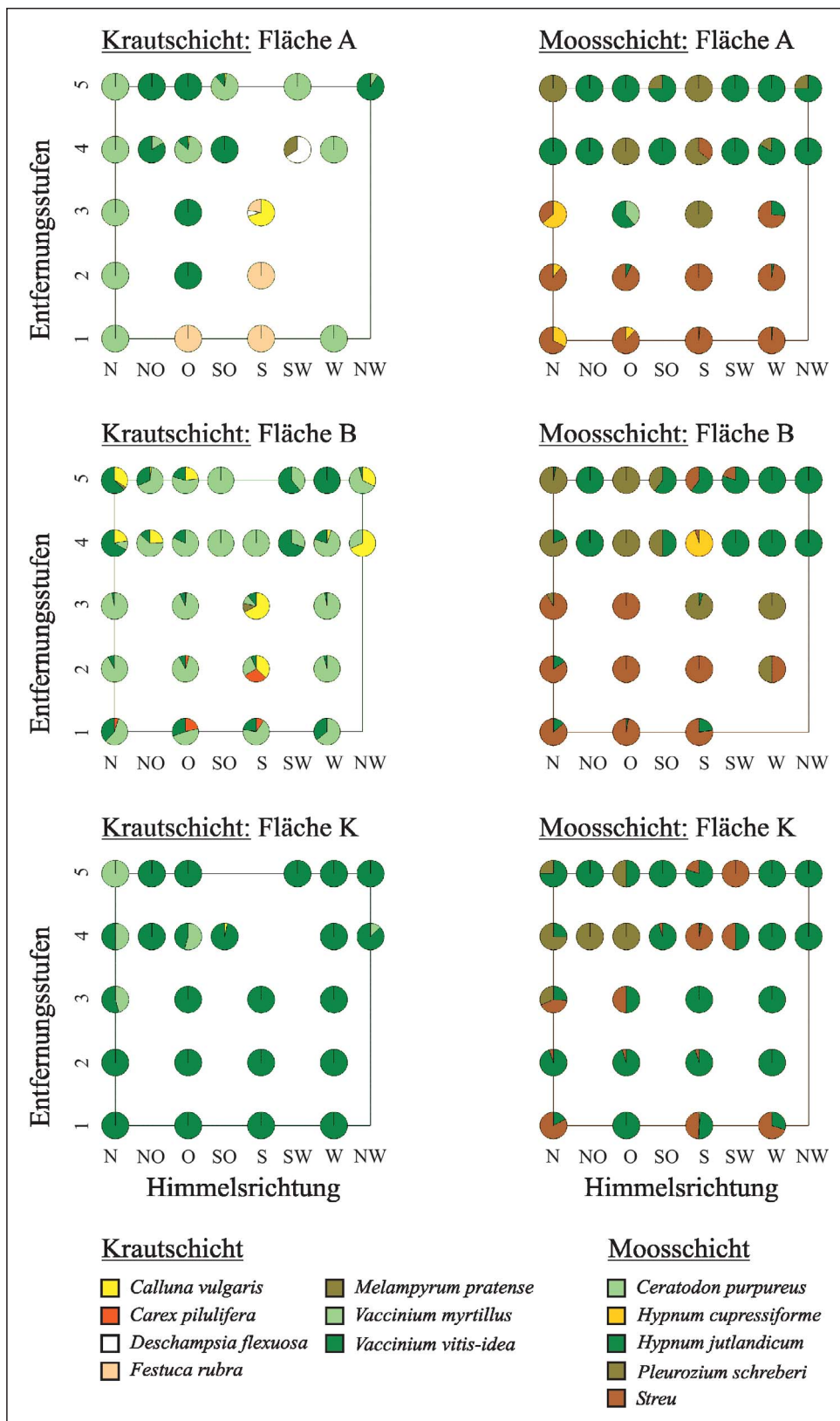


Abb. 3

Verteilung der Bodenvegetation mit den Anteilen pro Fallenstandort bei den Trauben-Eichen A, B und der Gemeinen Kiefer K (Entfernungsstufen: 1 = Stamm, 2 = halber Radius zum projizierten Kronenrand, 3 = projizierter Kronenrand, 4 = 10 m vom projizierten Kronenrand, 5 = 30 m vom projizierten Kronenrand).

Distribution of ground vegetation per pitfall plot on the area around the oaks A, B and around the pine K (steps of distance: 1 = trunk, 2 = half radius of the projected crown edge, 3 = projected crown edge, 4 = 10 m from the projected crown edge, 5 = 30 m from the projected crown edge).

um *vitis-idaea* (Preiselbeere) und *Vaccinium myrtillus* (Blaubeere) auf. Besonders auffällig ist der höhere Anteil an *Vaccinium vitis-idaea* im Kiefernreinbestand.

3.2.2 Verteilung der epigäischen Carabidae

Hinsichtlich der Verteilung ausgewählter epigäischer Carabiden (*Carabus coriaceus* L. und *C. violaceus* L.), die einen statistisch

auswertbaren Stichprobenumfang aufweisen, ergeben sich deutlich erkennbare artspezifische Verteilungsmuster (Abb. 4).

Ein erhöhtes Vorkommen an Imagines von *Carabus coriaceus* konnte im projizierten Kronenbereich der Eichen nachgewiesen werden. Der Zusammenhang der Individuendichte in Abhängigkeit von der Entfernung zum Eichenstamm bestätigt sich durch starke ($r = -0,695$) bzw. sehr starke negative Korrelationen ($r = -0,849$)

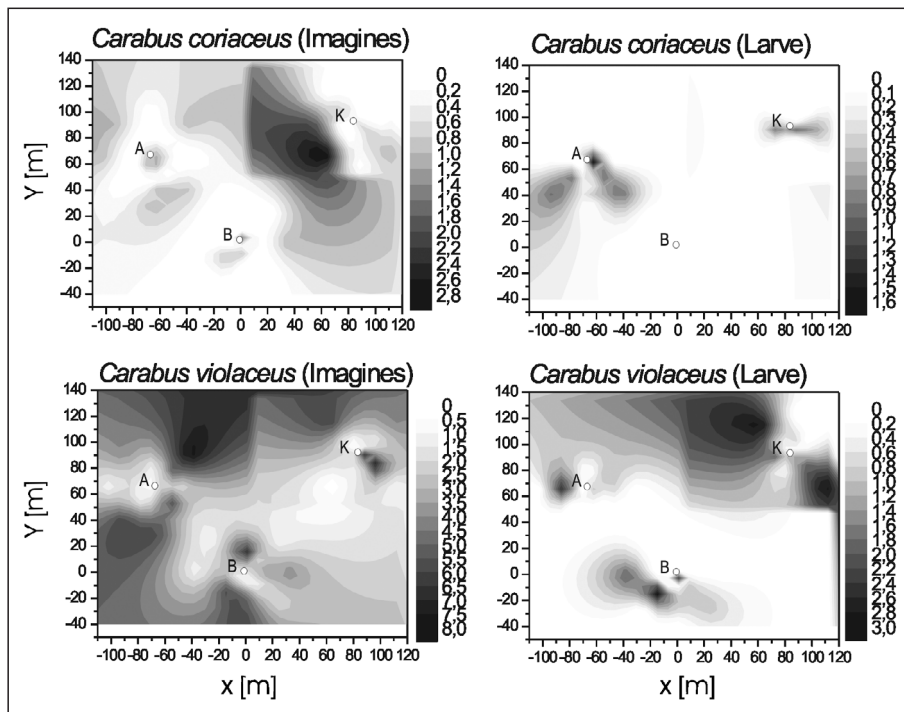


Abb. 4

Verteilung der Individuenhäufigkeiten [n] der Imagines bzw. Larven von *Carabus coriaceus* und *Carabus violaceus* in den Bereichen der Trauben-Eichen (A, B) und der Gemeinen Kiefer (K).

Distribution of the abundance of individuals [n] of adults and larvae of *Carabus coriaceus* and *Carabus violaceus* around the Sessile Oaks (A, B) and the Scots Pine (K).

Tab. 1

Zusammenfassung der Korrelationskoeffizienten (r) nach Pearson zur Darstellung der Distanzeffekte für die Einzelflächen (Signifikanzniveau (p):
* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$).

Summing up results of correlation coefficients according to Pearson (r) to show the distance effects for each research area (level of significance (p):
* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$).

Art		n	r	p
<i>Carabus coriaceus</i> (Imagines)	A	22	-0,695	0,192
<i>Carabus coriaceus</i> (Imagines)	B	9	-0,849	0,069
<i>Carabus coriaceus</i> (Imagines)	AB	31	-0,774	0,127
<i>Carabus coriaceus</i> (Imagines)	K	3	0,707	0,182
<i>Carabus coriaceus</i> (Larve)	A	7	-0,730	0,162
<i>Carabus coriaceus</i> (Larve)	B	0	-	-
<i>Carabus coriaceus</i> (Larve)	AB	7	-0,730	0,162
<i>Carabus coriaceus</i> (Larve)	K	9	-0,746	0,148
<i>Carabus violaceus</i> (Imagines)	A	36	0,890	0,043
<i>Carabus violaceus</i> (Imagines)	B	50	0,839	0,076
<i>Carabus violaceus</i> (Imagines)	AB	86	0,940	0,018
<i>Carabus violaceus</i> (Imagines)	K	56	-0,493	0,399
<i>Carabus violaceus</i> (Larve)	A	16	-0,826	0,085
<i>Carabus violaceus</i> (Larve)	B	8	0,686	0,201
<i>Carabus violaceus</i> (Larve)	AB	24	-0,265	0,667
<i>Carabus violaceus</i> (Larve)	K	21	-0,378	0,530

(nach PEARSON). Im Bereich der Kiefer zeigt sich für diese Art ein entgegengesetzter Trend. Mit der Annäherung an den kronenüberschirmten Bereich der Kiefer nimmt die Anzahl der Individuen ab ($r = 0,707$; $p = 0,182$). Im unmittelbaren Überschirmungsbereich der Kiefer konnte nur ein Individuum nachgewiesen werden. Die Individuen in den kronenfernen Bereichen fanden sich vorwiegend in südwestlicher Richtung (Abb. 4).

Im Gegensatz dazu liegt für die Imagines von *Carabus violaceus* ein besonders starker positiver Zusammenhang ($r_{A \text{ und } B} = 0,940$; $p = 0,018$) für das Vorkommen im eichenfernen, von Kiefer dominierten Bereichen vor (Tab. 1). Im Kieferngebiet deutet sich hingegen ein mittlerer negativer Trend an ($r = -0,493$), der mit $p = 0,399$ jedoch nicht abgesichert ist. Deutlich wird das erhöhte Vorkommen dieser Art im Bereich der Kiefer. Indifferent ist dabei die Verteilung der Individuen zwischen den kronennahen- bzw. in den kronenfernen Bereichen.

Bei Betrachtung der Larvenstadien, welche in ihrer Ausbreitung stärker eingeschränkt sind, ergeben sich veränderte Verteilungsmuster. Auffällig ist für die Larven von *C. coriaceus* der stark negative Trend, sowohl im Bereich der Kiefer ($r = -0,746$; $p = 0,148$) als auch der Eiche A ($r = -0,73$; $p = 0,162$). Ein Vergleich der Entfernungsstufen 1 bis 3 (Stamm bis projizierten Kronenrand) für Larven von *C. coriaceus* lassen kaum Unterscheidungen in der Individuenverteilung zwischen den Bereichen der Bäume A und K zu. Im Bereich der Eiche B konnte kein Individuum dieser Art im larvalen Stadium nachgewiesen werden. Die Larven von *C. violaceus* zeigen hingegen im Bereich beider Eichen sowohl stark positive als auch stark negative Zusammenhänge, bezüglich der entfernungsabhängigen Individuendichten. Ebenfalls indifferent, wie bei den Imagines, verhält sich die Verteilung der Larven dieser Art zwischen kronennahen und kronenfernen Bereichen im Einflussbereich der Kiefer. Es lassen sich für die Verteilung der larvalen Stadien beider Arten, aufgrund des statistisch zu geringen Stichprobenumfanges weniger deutlich baumartenspezifische Abhängigkeiten erkennen.

4. DISKUSSION

4.1 Methodische Aspekte

Primäres Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Ableitung einzelbaumbezogener räumlicher Effekte, daher fand ein sternförmiges Design Anwendung (LEHMANN, 2008). Für den Nachweis der Wirkung der Einzelbäume auf Arthropoden erscheint dieses konzentrische Fallendesign weniger geeignet. Aufgrund der Eigendynamik der Arthropoden sowie der unterschiedlichen Fallenabstände wäre im konkreten Beispiel die Anwendung eines modifizierten Fallendesigns vorteilhafter. Bei der vorliegenden Untersuchung folgt die Verteilung der Fallen einer charakteristischen Anordnung, angepasst an die individuellen Kronendurchmesser der Einzelbäume. Dieser Versuchsaufbau basiert auf Erfahrungen, die im Zusammenhang mit einzelbaumbezogenen Untersuchungen gesammelt und angepasst wurden (STOYAN und WAGNER, 2001) und bezieht sich eigentlich auf Merkmale, die der zu untersuchende Baum selbst hervorbringt (Laub, Samen). Nach Auffassung von MÜLLER (1984) muss hierbei besonders im Stamm- und projizierten Kronenbereich von einer gegenseitigen Beeinflussung der Fallen ausgegangen werden. Die geringen Fallenabstände im unmittelbaren auf den Boden projizierten Kronenbereich sind durch die vergleichsweise großen Aktionsradien der Laufkäfer in ihrer Fangwirkung beeinflusst (ADIS, 1979; MÜLLER, 1984). Für Arten mit einem Aktionsradius kleiner oder gleich dem Fallenabstand ist dieser hingegen ohne Bedeutung. Aus diesem Grunde ist es ratsam den Fallenabstand dem Aktionsradius der größten Arten anzugleichen (MÜLLER, 1984). Trotz der Vorteile, die das verwendete Fallendesign für räumliche Dichteschätzungen bietet, ist der methodische Ansatz für die Erfassung von Individuen

mit großen Aktionsradien zu überdenken. MÖLLER (2005) weist ebenfalls darauf hin, dass aufgrund der hohen Mobilität der Tiere sowohl die Fangmethoden als auch Fangsysteme weiterentwickelt werden müssen. Es ist zu prüfen, ob die oft verwendete Anordnung der Bodenfallen im Raster auch im Zusammenhang mit Einzelbaumuntersuchungen eine Möglichkeit bietet, um die räumliche Verteilung der epigäischen Fauna zu erfassen, abzubilden und in Modellvorhersagen zu integrieren. Barberfallen sind nach Angaben von DÜCKER *et al.* (1997) besonders gut geeignet, um Laufkäfer und hier besonders Carabus-Arten zu erfassen. Die Wahl der Fallenabstände unterscheidet sich in den einzelnen Untersuchungen erheblich (1–2 m (ADIS, 1979) bis 10 m (DÜLGE, 1994)). KUBACH (1995) hält einen Abstand der Fallen von 4 bis 5 m für zu gering, um das Auftreten großer und laufaktiver Arten (z. B. *Carabus cancellatus*) zu untersuchen. ARNDT und ARNDT (1987) geben für die Erfassung der larvalen Lebensformen ebenfalls Fallenabstände von 10 m an. Des Weiteren sind auch die individuellen Käfereigenschaften verstärkt zu berücksichtigen. Neben der Modifizierung der Fallenanordnung und Rastergröße können Lebendfänge, ähnlich der Markierungs-Wiederfangversuche (SCHERNEY, 1959; TOLKE, 2000; REIKE, 2004; WEHNERT, 2007), als Option zur methodischen Verbesserung angesehen werden. Mit der Markierung der Individuen (MLETZKO, 1971; MIDTGAARD, 1999) und der Erfassung käferindividueller Eigenschaften wie Alter, Größe, Gewicht und Geschlecht (FRANKE *et al.*, 1988; LOREAU und NOLF, 1994) lassen sich möglicherweise weitere Rückschlüsse hinsichtlich geschlechtsspezifischer oder altersabhängiger Verteilungen im Raum ziehen. Bereits in Arbeiten von DELKESKAMP (1930), LOREAU (1987), HAWES *et al.* (2002), REIKE (2004), ANDORKO *et al.* (2005) konnten geschlechtsspezifische Unterschiede nachgewiesen werden. Nach HAWES *et al.* (2002) vermeiden Weibchen von *Abax parallelepipedus* Mill. beispielsweise die Eiablage in Habitaten mit hoher Ameisendichte. Da es ihnen möglich ist geeignete Plätze zur Eiablage auszuwählen, an die Larven maßgeblich gebunden sind, kann den Weibchen eine höhere Habitatsensitivität zugeschrieben werden (MÜLLER-MOTZFELD, 1989; LÖVEI und SUNDERLAND, 1996). Aus diesem Grunde sollte in zukünftigen Untersuchungen eine verstärkte Differenzierung nach Geschlecht und Entwicklungsstadium erfolgen. Die eigenen Ergebnisse zur Verteilung der Laufkäferlarven bilden einen ersten Ansatz auf diesem Weg, lassen jedoch aufgrund der statistisch zu geringen Stichprobenumfänge nur bedingt Aussagen zu (LARSSON, 1939a). Es ist bekannt, dass besonders Laufkäferlarven sensibel auf geringfügigste Abstufungen der Umweltfaktoren reagieren (THIELE und KOLBE, 1962; RAINIO und NIEMELÄ, 2003). Aufgrund der Weichhäutigkeit der Larven und der daraus resultierenden hohen Sensitivität gegenüber Umweltbedingungen (MÜLLER-MOTZFELD, 1989) bilden sie somit eine potentielle Indikatorengruppe gegenüber den Bedingungen im Oberboden (MÜLLER-MOTZFELD, 1989; LÖVEI und SUNDERLAND, 1996). Dabei sind besonders die letzten Larvenstadien stärker als die Imagines durch die Bodenbedingungen beeinflusst. Darüber hinaus ist der Aktionsradius von Larven sehr begrenzt. Daher sind sie kaum in der Lage ungünstige Lebensräume zu verlassen. Aufgrund der speziellen Habitatwahl ist die Untersuchung der ökologischen Präferenzen von Larven wichtig, um Habitate besser beschreiben zu können. Einige Laufkäferlarven z. B. der Calosoma- und Carabus-Arten gehören zu der auf der Bodenoberfläche aktiven Gruppe, sind so genannte „surface walker“ (BETZ, 1992; LUFF, 2003). Besonders diese Larven lassen sich, wie auch die Imagines, mit Hilfe von Bodenfallen (ARNDT und ARNDT, 1987; BETZ, 1992; LOREAU, 1987; LUFF, 1993) oder unter Anwendung von Barrieren erfassen (JENSEN *et al.*, 1989; NOORDHUIS *et al.*, 2001). LÖVEI und SUNDERLAND (1996) hingegen lehnen die Larven-erfassung mittels Bodenfallen ab, da besonders der Anteil an grabenden Individuen auf diese Art und Weise nicht erfassbar ist (ARNDT und ARNDT, 1987). LUFF (1993) gibt diesbezüglich unter-

schiedliche Erfassungsmethoden dieser im Boden befindlichen Larven an. Dazu gehören unter anderem Sieben, Handauslese und „tullgren funnels“ aber auch spezielle Bodenfallen im Erdreich für die Erfassung der vertikalen Verteilung von Imagines erscheinen hilfreich (KEMPSON *et al.*, 1963; MEYER *et al.*, 1984; ARNDT und ARNDT, 1987; LOREAU, 1987; JABIN *et al.*, 2004).

4.2 Ergebnisbezogene Aspekte

Nach SAETRE (1999) und BARBIER *et al.* (2008) beeinflussen Bäume direkt und indirekt über Licht, Wasser und Nährstoffe die Bodenvegetation. Ein Einfluss der einzeln eingemischten Eichen auf die Bodenvegetation konnte in Jerischke nachgewiesen werden. Bereits SAETRE (1999), KÜHLMANN *et al.* (2001) und WALLRUP (2006) stellten baumspezifische Zusammenhänge zwischen Einzelbaum und Vegetation fest. Die Dominanz von Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*) in den Bestandteilen mit reiner Kiefer findet durch die Arbeit von KÜHLMANN-BERENZON und HJORTH (2007) Bestätigung. Das Vorhandensein eines Einflusses, ausgehend von der Bodenvegetation, auf die Carabiden-Zönose (Arten, Individuendichten) sowie die endo- und epigäische Fauna ist bekannt (LAUTERBACH, 1964; KNIE, 1975; BAGUETTE, 1993; RIEGEL, 1996; INGS und HARTLEY, 1999; GRUTTKE, 2001). Indirekt ist der Effekt der Vegetation und deren Struktur auf die Laufkäferzönose (INGS und HARTLEY, 1999). Eine mosaikartige, heterogene Verteilung der Vegetation, wie sie in der vorliegenden Untersuchung festgestellt wurde, bewirkt wiederum unterschiedliche kleinstandörtliche Ausprägungen des Mikroklimas (LARSSON, 1939b; THIELE und KOLBE, 1962; LAUTERBACH, 1964; HONĚK, 1988; MAGURA *et al.*, 2000; MOLNAR *et al.*, 2001) sowie des Nahrungsangebotes (NEUMANN, 1971). Den Laufkäfern bietet sich die Möglichkeit schattigere und feuchtere Bereiche, z.B. verursacht durch *Vaccinium myrtillus* (Blaubeere), bzw. Verstecke aufzusuchen (NEUMANN, 1971; MAJUNKE und SCHULZ, 2003; WEBER, 1965). RIEGEL (1996) bezieht neben der Krautschicht auch die Streuschicht als einen weiteren Faktor ein. Die eigenen Untersuchungen im Revier Jerischke weisen zum einen mosaikartige und strukturierte Bereiche der Bodenvegetation aber auch eine Vielgestaltigkeit vegetationsloser Bereiche (Laub- und Nadelstreu) auf. Insbesondere im Kronenbereich der Eichen ist der Anteil an Laubstreu erwartungsgemäß hoch (LEHMANN *et al.*, 2006), während Nadelstreuanteile lediglich in den Übergangsbereichen zur Kiefer nachweisbar sind (Mischstreu). Diese, auf kleinstem Raum vorhandenen Unterschiede, wie sie sich zwischen den einzelnen Eichen und dem sie umgebenden Kieferwald abzeichnen, scheinen schon ausreichend zu sein, um die geringe Ähnlichkeit auf Artbasis zwischen diesen beiden Flächen zu verursachen. Die Heterogenität der Bodeneigenschaften, wie sie von SCHUA (2005) auf den Flächen in Jerischke nachgewiesen wurde, belegt ebenfalls die Wirkung der einzelnen Eichen. So konnte eine deutliche Abnahme in pH-Wert und Basensättigung mit zunehmender Entfernung von der überschirmten Fläche der Eiche beschrieben werden. Untersuchungen von PAJE und MOSSAKOWSKI (1984) konnten für einige Arten (z.B. *Pterostichus spec.*) zum Teil signifikante Präferenzen für bestimmte pH-Bereiche festhalten. Möglicherweise ist dieser Parameter im Zusammenhang mit der Laubstreu für den Verteilungsschwerpunkt von *Carabus coriaceus* im Bereich der Eichen von Bedeutung. RAINIO und NIEMELÄ (2003) sehen in diesen „spots“ an Laubstreu (Nische) einen wichtigen Einflussfaktor, besonders in Wäldern mit armen Böden unter der Annahme, dass diese Bereiche qualitativ hochwertige Mikrohabitate z.B. für Laufkäfer darstellen (KOIVULA *et al.*, 1999; MAGURA *et al.*, 2003). Weitere Untersuchungen zur Beeinflussung der epigäischen Fauna (z.B. Carabidae) belegen deutliche Unterschiede bezogen auf die Boden- und Streueigenschaften (biotische und abiotische Faktoren) (BAGUETTE, 1993; KOIVULA *et al.*, 1999; HAWES *et al.*, 2002; TABOADA *et al.*, 2004; MAGURA *et al.*, 2005;

WIEZIK *et al.*, 2007). Neben einer Vielzahl an bereits erwähnten Parametern sind Häufigkeit und Vielfalt der Carabiden des Weite- ren abhängig vom Beutespektrum (LOREAU, 1988; GUILLEMAIN *et al.*, 1997; MOLNAR *et al.*, 2001). In diesem Zusammenhang sind die Arthropoden in ihrer Artenzusammensetzung von Bedeutung, da diese einerseits als Nahrungsgrundlage dienen und zum anderen einen Verdrängungseffekt auf die Carabiden ausüben können. Ein Beispiel bildet das Vorkommen von Ameisen (HAWES *et al.*, 2002; REZNIKOVA und DOROSHEVA, 2004). Innerhalb der eigenen Untersuchungen zeigt sich an der Eiche B eine verstärkte Präsenz an Ameisen. Deren Einfluss auf Imagines und Larven der Laufkäfer kann nicht ausgeschlossen werden (HAWES *et al.*, 2002). Auf den Flächen in Jerischke bestätigt sich, dass in einem sonst homogenen Nadelbaumbestand bereits durch Einzelbaumeinmischung heterogene Verteilungen der Vegetation und anderer Umweltfaktoren (Klima, Strahlung, Boden, Streu) induziert werden (SCHUA, 2005; LEHMANN, *et al.*, 2006; WEHNERT, 2007). Diese bewirken kleinstandörtliche Unterschiede (ØKLAND *et al.*, 1999). Es zeigt sich jedoch, dass im Umfeld der beiden Eichen die Ähnlichkeit hinsichtlich der Moos- und Krautschicht (Verteilung, Deckungsgrad) gering ist. Diese Unterschiede beeinflussen offensichtlich zusammen mit weiteren Umweltparametern die Zusammensetzung der Carabidenfauna. Eine nahe liegende Schlussfolgerung wäre, dass nicht nur baumartenspezifische, sondern auch baumindividuelle Eigenschaften (Kronenausbildung, Alter) unterschiedliche Effekte induzieren. Dies entspricht der Aussage, dass die Heterogenität in der Baumartenzusammensetzung und weiterer Strukturelemente (z.B. Totholz, Wurzelsteller) eine Heterogenität in den nachgeordneten Ebenen (Mikro, Meso, Makro) des Waldökosystems induzieren (AALTONEN, 1948; HUNTER, 1999; SCHULZ *et al.*, 2004; TABOADA *et al.*, 2004; NIEMELÄ *et al.*, 2007). Diese Aussagen zu den Einflüssen der Eichen auf *Carabus coriaceus* (Imagines) und für *Carabus violaceus* fanden über zusätzlich durchgeführte Wiederfangversuche, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann, eine Bestätigung (WEHNERT, 2007). Laufkäfer, besonders die größeren Arten, können innerhalb kurzer Zeit weite Distanzen (z. B. 100 bis 230 m) zurücklegen (TOLKE, 2000; REIKE, 2004). Dabei stellt sich die Frage, in welcher Häufigkeit die größeren Distanzen zwischen den Eichen und in den umgebenden Kiefernbestand hinein von den Individuen zurückgelegt werden. Die Ergebnisse von Wiederfängen markierter Käfer eröffnen die Möglichkeit, die Habitatnutzung der Laufkäfer und deren Migration zu anderen Eichen nachzuweisen. Dieser Aspekt äußert sich auch darin, dass die Mehrheit der erfassten Arten im Bereich der Eichen vorkamen, was sich sowohl in den Individuenzahlen als auch in der Artenzusammensetzung der Laufkäferfauna zeigt. Das Vorkommen der Imagines von *Carabus coriaceus* in den letzten beiden Entfernungsstufen der Kiefer in süd- bis westlicher Richtung ist möglicherweise durch den Einfluss der Eichen (90 bis 120 m entfernt) in Verlängerung dieser Transekte begründet. Auf Grund der unterschiedlichen Raumwiderstände (HEYDEMANN 1957), bedingt durch die heterogene Verteilung der Vegetation und die individuenspezifischen Laufleistungen (WEHNERT, 2007), ergeben sich unterschiedliche Aktionsradien.

Aufgrund der gegenwärtig geringen Aussagemöglichkeiten zu den ökologischen Ansprüchen der larvalen Stadien, lassen sich die räumlichen Verteilungen der Larven von *Carabus coriaceus* im Bereich der Kiefer nur schwer interpretieren. Gleiches gilt für die Präferenzen der unterschiedlichen Aufenthaltsbereiche der Larven von *Carabus violaceus* im Bereich der beiden Eichen. Durch die Laubstreu könnte nach KOIVULA *et al.* (1999) sowohl für Imagines als auch für die Larven Lebensraum gegeben sein, der sich in vertikaler Richtung innerhalb der Streuauflage erstreckt (LOREAU, 1987). MAGURA *et al.* (2005) konnten signifikante Unterschiede für das Vorkommen von Laufkäferlarven zwischen Laub- und Nadelstreu feststellen. PAJE und MOSSAKOWSKI (1984) und auch BUTTER-

FIELD (1997) heben hervor, dass die räumliche Verteilung und Habitatpräferenzen der Laufkäfer durch den pH-Wert beeinflusst werden. Diese Beziehung lässt sich auch auf die larvalen Stadien übertragen, welche ebenfalls sensibel auf die Umweltbedingungen reagieren (LÖVEI und SUNDERLAND, 1996). Gleiches gilt für die Vegetation, das daraus resultierende Mikroklima sowie die Bodeneigenschaften und die Nahrungsverfügbarkeit (BOMBOSCH, 1962; LAUTERBACH, 1964; LÖSER, 1972; KNIE, 1975; KUBACH, 1995; THIELE und KOLBE, 1962; HEYDEMANN, 1957; BARKMAN, 1988; MAGURA *et al.*, 2000). Laut ARNDT und ARNDT (1987) sind die Larven von *Carabus coriaceus* innerhalb einer mächtigen Streuauflage in den oberen Laubschichten zu finden. Es zeigt sich, dass biologische und ökologische Fragestellungen zu den Habitatsprüchen der Larvenstadien in zukünftige Untersuchungen verstärkt integriert werden müssen (ARNDT und ARNDT, 1987; NIEMELÄ, 1993; LÖVEI und SUNDERLAND, 1996).

Mit der Betrachtung möglicher Aktionsradien, die im Wesentlichen durch die genannten Größen gesteuert werden, lassen sich Beurteilungen zur räumlichen Waldschutzwirkung ableiten. Die meisten Carabiden sind flugunfähig, daher bleibt ihr Wirkungsbereich auf die Bodenoberfläche und somit auf die am oder im Boden vorkommenden Stadien potentieller Kieferschädlinge beschränkt (ALTENKIRCH *et al.*, 2002). Eine Ausnahme stellen die Calosoma-Arten dar, deren Einfluss sich bis in die Kronenbereiche erstreckt. Dennoch weisen einzelne Autoren (JUDEICH und NITSCHKE, 1895; GÄBLER, 1963) den bodenjagenden Laufkäferarten eine nützliche Funktion zu. Dazu zählen verschiedene Carabus-Arten (z. B. *Carabus violaceus*), aber auch *Abax-spec.* und *Pterostichus spec.* (BRAUNS, 1970; WALSH *et al.*, 1993; RAYMOND *et al.*, 2002), die beispielsweise juvenile und adulte Stadien von Forleule (*Panolis flammea* Schiff.), Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.), Nonne (*Lymantria monacha* L.) und Kiefernbuschhornblattwespen (Diprioninae) vertilgen (GÄBLER, 1963; BRAUNS, 1970; WALSH *et al.*, 1993). Neben den Larven von Calosoma-Arten (ebenfalls bis in die Kronenbereiche vordringend) zeigen auch die Larven anderer Arten eine entsprechend positive Wirkung. Mit der Einbringung von Laubbäumen kann das Vorkommen weiterer Antagonisten gefördert werden (JUDEICH und NITSCHKE, 1895; WECKWERTH, 1953; GÄBLER, 1963; BRAUNS, 1970), die dann aufgrund der geringen Laufwiderstände, in Abhängigkeit von der Verteilung der Bodenvegetation und vegetationsfreier Bereiche (Laub- oder Nadelstreu), in die Kiefernbestände vordringen können. Mit Blick auf das waldbauliche Management ist zu diskutieren, welche Mindestabstände zwischen den Eichen zu wählen sind, um aus Sicht des Waldschutzes die Bestandesstabilität gegenüber Kieferschädlingen zu fördern. Hinsichtlich der ökonomischen Aufwendungen (Pflege- und Konkurrenzsteuerung) ist die einzelbaumweise Einbringung bzw. Einmischung von Eichen zu hinterfragen. Mit der Wahl größerer Mischungseinheiten (Trupp, Gruppe, Horst) ist nicht nur eine Verstärkung des positiven Etablierungseffekts auf Antagonisten zu erwarten (LEHMANN *et al.*, 2006), sondern auch eine Reduktion des Etablierungs- und Pflegeaufwandes (KRISSEL und MÜLLER, 1990). Die bereits erwähnte Heterogenität verschiedener Parameter und Faktoren (Strahlungsverhältnisse, mikroklimatische und weitere standörtliche Bedingungen) sind dafür ebenfalls heranzuziehen. Mit den von SCHUA (2005) erfassten Unterschieden in den pH-Werten und Basensättigungen in Abhängigkeit von der Entfernung zur Einzelreihe, lässt sich die Konzentration einiger Laufkäferarten im unmittelbaren Einflussbereich der Eichen erklären.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die dargestellten Trends in den Ergebnissen lediglich einer Vegetationsperiode entstammen und auf drei Einzelbäume begrenzt sind. Trotz der Anzahl von 84 Fallen, sind die getroffenen Aussagen nur eingeschränkt auf andere Standorts- und Bestandesbedingungen übertragbar. Weiterführende Untersuchungen zur stärkeren Einbeziehung ökologisch und öko-

nomisch relevanter Strukturelemente (vertikale und horizontale Mischungen) wären in diesem Zusammenhang zielführend.

4.3 Schlussfolgerungen

Es ist ein durch die Eichen induzierter Einfluss auf die Verteilung der Bodenvegetation sowie deren Artenzusammensetzung feststellbar. Durch eine Vielzahl an kleinstandörtlich unterschiedlichen Habitaten, die durch eine heterogene Verteilung verschiedener Parameter (Streu, Mikroklima etc.) geprägt sind, ist auch ein Einfluss auf die Verteilung und Zusammensetzung der Arthropoden erkennbar. Hierzu zählen insbesondere die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Laufkäfer. Aus ökologischer Sicht sind Einzelbaumeffekte von Laubbäumen nachweisbar, welche über die Förderung von Antagonisten einen Beitrag zur Stabilisierung von homogenen Kiefernbeständen leisten können. Aufgrund des erhöhten Aufwandes für Förderung, Pflege und Erhalt dieser einzelnen Bäume, sind jedoch aus praktischer Sicht größere Mischungsformen (Gruppe oder Horst) zu bevorzugen. Trotz des eintretenden Verlustes von Randeffekten würden sich dadurch bei gleichzeitigem Erhalt der Habitatfunktion auch positive wirtschaftliche Effekte ergeben. Die Erweiterung bzw. Verbesserung der Beschreibungen von Habitatpräferenzen larvaler Stadien sollte zukünftig vertieft werden. Das Vorkommen der Larven ist lokal begrenzt, d. h. kleinräumige Aussagen wären möglich, wenn mehr Informationen zur Ökologie dieser Stadien vorhanden wären. Aufgrund ihrer größeren Sensitivität gegenüber kleinstandörtlichen Umwelteinflüssen bieten Laufkäferlarven die Möglichkeit Effekte unterschiedlicher Mischungsformen besser zu erfassen und ökologische Wirkungen eingebrachter Laubbäume in großflächigen Nadelbaumreinbeständen zu untersuchen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In Wäldern der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) besitzen einzelbaumweise eingemischte Trauben-Eichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) einen hohen Stellenwert hinsichtlich ihrer Wirkung auf räumliche Verteilung und Diversität der Arthropodenfauna. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung galt der räumlichen Verteilung der Laufkäferfauna. Ausgewählt wurden zwei Alteichen (ca. 200 Jahre) sowie eine Kiefer aus dem umgebenden 79-jährigen Reinbestand. Ausgehend von diesen drei Bäumen wurden Bodenfallen sternförmig in acht Himmelsrichtungen installiert (Abb. 1). Insgesamt konnten damit 14 Laufkäferarten mit 452 Individuen erfasst werden (Abb. 2). Die räumliche Verteilung der Carabiden weist auf einen Einfluss der Alteichen und der Bodenvegetation hin (Abb. 3). Dabei ergaben sich deutliche Unterschiede für die Imagines der untersuchten Laufkäferarten. *Carabus violaceus* konnte häufiger in den eichenfernen Bereichen lokalisiert werden. Im Vergleich dazu zeigten die Imagines von *Carabus coriaceus* eine höhere Präsenz im unmittelbaren Wirkungsbereich der Eichen (Abb. 4). Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht unmittelbar auf die larvalen Stadien der beiden Arten übertragen (Tab. 1). Einzelbaumeffekte ließen sich auch auf Artenzusammensetzung und Deckungsgrad der Bodenvegetation nachweisen.

6. Summary

Title of the paper: *Effects of single-tree admixed Sessile Oaks (Quercus petraea (Matt.) Liebl.) in pure stands of Scots Pine (Pinus sylvestris L.) on epigeous arthropods – with special consideration of ground beetles (Carabidae).*

In pure stands of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) single-tree admixed Sessile Oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) have great influence on spatial distribution and diversity of arthropod fauna. The focus of this survey was directed at the spatial dispersal of the ground beetle fauna in particular, as well as their development

stages. The research concentrated on an area directly influenced by two single oaks (about 200 years old) and one selected pine from the surrounding 79 year old pure stand. Based on these three trees, 84 pitfall-traps were established radiating on eight cardinal points (Fig. 1). Overall 14 carabid species including 452 individuals were captured. The most abundant carabid species was *Carabus violaceus* (Sessile Oak [n = 71], Scots Pine [n = 78]) equal for both tree species. This species increased with growing distance to the oaks. With a total number of 45 individuals *Carabus coriaceus* was third frequent species. In comparison to *Carabus violaceus*, the imagines of *Carabus coriaceus* showed a higher density in the direct sphere of influence of the oaks (Fig. 4). This was confirmed by results of linear regressions with $r_{\text{Sessile Oaks}} = -0,77$ ($p = 0,127$) for *Carabus coriaceus* and $r_{\text{Sessile Oaks}} = 0,97$ ($p = 0,018$) for *Carabus violaceus*. These results cannot be translated to the larval stages of these two species (Tab. 1). Over all the larval number of *Carabus coriaceus* contained 20 individuals, whereas for *Carabus violaceus* 47 larvae were caught. The most Single-tree effects on ground vegetation were detected referring to species composition and density (Fig. 2). Especially around the oaks ground vegetation was characterised by very heterogeneous spatial distributions of leaf litter, grass and moss species. While the surrounding Scots pine stand shows a homogeneous dominance of needle litter, *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea*. The spatial dispersal of the ground beetles indicates an influence of the oaks and the ground vegetation (Fig. 3). In the course of this, clear effects on the imagines of the analysed species were observed.

7. Literatur

- ADIS, J. (1979): Problems of Interpreting Arthropod Sampling with Pitfall-Traps. *Zool. Anz.* **202** (3/4): 177–184.
- AALTONEN, V. T. (1948): Boden und Wald – Unter besonderer Berücksichtigung des nordeuropäischen Waldbaus. Paul-Parey, Berlin + Hamburg.
- ANDORKO, R., F. KADAR und D. SZEKERES (2005): Reproductive characteristics of *Carabus scheidleri* (Coleoptera: Carabidae) in Hungary. *European Carabidology 2003. Proceedings of the 11th European Carabidologists' Meeting*. DIAS report, No. 114, Flakkebjerg, Denmark, 9–16.
- ALLRICH, P. und M. MÜLLER (1999a): Waldbauliche Möglichkeiten und Grenzen des Waldumbaus (Kurzfassung). *AFZ-DerWald* **21**: 1120–1121.
- ALLRICH, P. und M. MÜLLER (1999b): Waldbauliche Möglichkeiten und Grenzen des Waldumbaus. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. VII, 24–35.
- ALTENKIRCH, W., C. MAJUNKE und B. OHNESORGE (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- ARNDT, E. und M. ARNDT (1987): Auswertung der Bodenfallenfänge von Carabidenlarven (Coleoptera) im Hakel (Nordharzvorland). *Hercynia* **24**: 22–33.
- BAGUETTE, M. (1993): Habitat selection of carabid beetle in deciduous woodlands of southern Belgium. *Pedobiologia* **37**: 365–378.
- BARBER, H. S. (1931): Traps for cave-inhabiting insects. *J. Elisha Mitchell Sci. Soc.* **46**: 259–265.
- BARBIER, S., F. GOSSELIN und F. BALANDIER (2008): Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved – A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* **254**: 1–15.
- BARKMAN, J. (1988): A new method to determine some characters of vegetation structure. *Vegetatio* **78**: 81–90.
- BETZ, J. O. (1992): Studies on winter-active larvae of the ground beetle *Carabus problematicus* (Coleoptera, Carabidae). *Pedobiologia* **36**: 159–167.
- BILKE, G., M. DUHR, R. ENGLER, M. HEINITZ, E. HEUER, H. KRAUT, E. LUFT, R. RÜTHNICK, T. SCHERER, A. SCHULZE, C. SELIGER und F. STÄHR (2004): Waldbau-Richtlinie 2004: Ziel und Grundsätze der ökologischen Waldbewirtschaftung. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.): 1–7.
- BLANCKMEISTER, J. (1962): Entwicklung und Ziele der Fichtenwirtschaft im Erzgebirge. *Tagungsberichte Nr. 53*: 33–48.
- BOMBOSCH, S. (1962): Untersuchungen über die Auswertbarkeit von Fallenfängen. *Zeitschrift für angewandte Zoologie* **49**: 149–160.
- BRAUNS, A. (1970): Taschenbuch der Waldinsekten – Grundriss einer terrestrischen Bestandes- und Standort-Entomologie, Band 1 Systematik und Ökologie. (2. Aufl.), Stuttgart.
- BUTTERFIELD, J. (1997): Carabid community succession during the forestry cycle in conifer plantations. *Ecography* **20**: 614–625.
- DELKESKAMP, K. (1930): Biologische Studien über *Carabus nemoralis* Müll. *Z. f. Morphol. u. Ökol. d. Tiere* **19**: 1–58.
- DU BUS DE WARNAFFE, G. und P. LEBRUN (2004): Effects of forest management on carabid beetles in Belgium: implications for biodiversity. *Biological Conservation* **118**: 219–234.
- DÜCKER, A., H. SCHMÜSER, K. HEUBEL, R. BORCHERDING, H. VOLKER, K. MÜLLER-REICH, K. PAHNKE, P. GIENAPP, R. NÖTZOLD und V. NÖTZOLD (1997): Laufkäfer. (2. Aufl.) Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtungen, Hamburg.
- DÜLGE, R. (1994): Seasonal activity of carabid beetles in wooded habitats in northwest Germany (Coleoptera, Carabidae). In: DESENDER, K., DUFRENE, M., LOREAU, M., LUFF, M. L., MAELFAIT, J.-P. (Hrsg.) *Carabid Beetles Ecology and Evolution*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London S. 125–131.
- FAHY, O. und M. GORMALLY (1998): A comparison of plant and carabid beetle communities in an Irish oak woodland with nearby conifer plantation and clearfelled site. *Forest Ecology and Management* **110**: 263–273.
- FRANKE, U., B. FRIEBE und L. BECK (1988): Methodisches zur Ermittlung der Siedlungsdichte von Bodentieren aus Quadratproben und Barberfallen. *Pedobiologia* **32**: 253–264.
- GÄBLER, H. (1963): Forstschutz. Akademie-Verlag, Berlin.
- GOBNER, M., K. ENGEL und U. AMMER (2006): Effects of selection felling and gap felling on forest on forest arthropod communities: a case study in a spruce-beech stand of southern Bavaria. *Eur. J. Forest Res.* **125**: 345–360.
- GRUTTKE, H. (2001): Welche Bedeutung haben Habitatgröße und -isolation für das Vorkommen walddisperser Laufkäfer in Waldrelikten und Kleingehölsen einer Agrarlandschaft? *Angewandte Carabidologie Supplement II Laufkäfer im Wald Gesellschaft für angewandte Carabidologie e.V. GAC*, 81–98.
- GUILLEMAIN, M., M. LOREAU und T. DAUFRESNE (1997): Relationships between the regional distribution of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) and the abundance of their potential prey. *Acta Oecologica* **18** (4): 465–483.
- HAWES, C., A. J. A. STEWART und H. F. EVANS (2002): The impact of wood ants (*Formica rufa*) on the distribution and abundance of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a Scots pine plantation. *Oecologia* **131**: 612–619.
- HEYDEMANN, B., (1957): Die Biotopstruktur als Raumwiderstand und Raumfülle für die Tierwelt. *Verh. Dt. Zool. Ges. Hamburg* **50**: 332–347.
- HONĚK, A. (1988): The effect of crop density and microclimate on pitfall trap catches of Carabidae, Staphylinidae (Coleoptera), and Lycosidae (Araneae) in cereal fields. *Pedobiologia* **32**: 233–242.
- HUNTER, M. L. (1999): Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems. Cambridge University Press.
- INGS, T. C. und S. E. HARTLEY (1999): The effect of habitat structure on carabid communities during the regeneration of a Scottish forest. *Forest Ecology and Management* **119**: 123–136.
- JABIN, M., D. MOHR, H. KAPPES und W. TOPP (2004): Influence of deadwood on density of soil macro-arthropods in a managed oak-beech forest. *Forest Ecology and Management* **194**: 61–69.
- JENSEN, T. S., L. DYRING, B. KRISTENSEN, B. O. NIELSEN und E. R. RASMUSSEN (1989): Spring dispersal and summer habitat distribution of *Agonum dorsale* (Coleoptera, Carabidae). *Pedobiologia* **33**: 155–165.
- JUDEICH, J. F. und H. NITSCHKE (1895): Lehrbuch der Mitteleuropäischen Forstinsektenkunde, Band II Spezieller Theil II: Schmetterlinge, Zweiflügler, Schnabelkerfe. Nachträge. Die Feinde der einzelnen Holzarten. (8. Aufl.), Wien.
- JUKES, M. R., A. J. PEACE und R. FERRIS (2001): Carabid beetle communities associated with coniferous plantations in Britain: the influence of site, ground vegetation and stand structure. *Forest Ecology and Management* **148**: 271–286.
- KEMPSON, D., M. LLOYD und R. GHELARDI (1963): A new extractor for woodland litter. *Pedobiologia* **3** (1): 1–21.
- KNIE, J. (1975): Vergleichend – ökologische Untersuchungen der Carabidenfauna verschiedener Standorte des Kottenforstes bei Bonn. *Decheniana (Bonn)*. **128**: 3–19.
- KOCH, K. (1994): Die Käfer Mitteleuropas, Ökologie. Band 5 Artenassoziationen in Mikrohabitaten Terrestrischer Bereich I. Goecke & Evers Verlag, Krefeld.
- KOIVULA, M., P. PUNTTILA, Y. HAILA und J. NIEMELÄ (1999): Leaf litter and the small-scale distribution of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in the boreal forest. *Ecography* **22**: 424–435.
- KRISSL, W. und F. MÜLLER (1990): Zweckmäßige Dauermischungsformen und Mischungsregulierung. *Österreichische Forstzeitung* **3**: 29–32.
- KUBACH, G. (1995): Verbreitung und Ökologie von Laufkäfern (Coleoptera, Carabidae) auf neu angelegten Saumstrukturen in einer süddeutschen Agrarlandschaft (Kraichgau). Dissertation; Hildesheim, Institut für Phytomedizin der Universität Hohenheim, Fachgebiet Entomologie.
- KÜHLMANN-BERENZON, S. und U. HIORTH (2007): Accounting for large-scale factors in the study of understory vegetation using a conditional logistic model. *Environ. Ecol. Stat.* **14**: 149–159.
- KÜHLMANN, S., J. HEIKKINEN, A. SÄRKÄ und U. HIORTH (2001): Relating Abundance of Ground Vegetation Species and Tree Patterns at Local Scale using Ecological Field Theory. In: RENNOLLS, K.: *Proceedings of JUFRO 4.11. Conference: Forest Biometry; Modelling and Information Science*: S. 1–12.

- LARSSON, S. G. (1939a): Der Lebenszyklus der Carabiden. Statistik als Hilfsmittel biologischer Untersuchungen. Zoologischer Anzeiger **125**: 87–90.
- LARSSON, S. G. (1939b): Entwicklungstypen und Entwicklungszeiten der dänischen Carabiden. Særtryk af "Entomologiske Meddelelser" Bd. XX. I Kommission hos P. Haase & Søns Forlag, København, S: 278–560.
- LAUTERBACH, A.-W. (1964): Verbreitungs- und aktivitätsbestimmende Faktoren bei Carabiden in sauerländischen Wäldern. Abhandlungen aus dem Landesmuseum für Naturkunde zu Münster in Westfalen **26** (4): 5–103.
- LEHMANN, B., H. FISCHER, K. SCHUA, S. WAGNER und M. MÜLLER (2006): Effekte einzelbaumweise eingemischter Trauben-Eichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in Wäldern der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Standorten geringer Trophie und Wasserversorgung. In: KANTOR, P. (Hrsg.): Welche Bestandesstruktur für welche Waldfunktion. XVI. Gemeinsames Waldbau-Kolloquium „Brno-Tharandt“ 4.–6.10.2005 Kutná Hora, S: 41–53.
- LEHMANN, B. (2008): Effekte einzelbaumweise eingemischter einheimischer Eichen in Wäldern der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Standorten geringer Trophie und Wasserversorgung im Süden Brandenburgs. Dissertation TU-Dresden, Fak. Forst- Geo- und Hydrowissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt.
- LOREAU, M. (1987): Vertical distribution of activity of carabid beetles in a beech forest floor. Pedobiologia **30**: 173–179.
- LOREAU, M. (1988): Determinants of the seasonal pattern in the niche structure of a forest carabid community. Pedobiologia **31**: 75–87.
- LOREAU, M. und C.-L. NOLF (1994): Spatial structure and dynamics of a population of *Abax ater*. In: Desender, K., Dufrière, M., Loreau, M., Luff, M. L., Maelfait, J.-P. (Hrsg.). Carabid Beetles Ecology and Evolution, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, S: 165–169.
- LÖSER, S. (1972): Art und Ursachen der Verbreitung einiger Carabidenarten (Coleoptera) im Grenzraum Ebene-Mittelgebirge. Zoologische Jahrbücher Syst. **99**: 213–262.
- LÖVEL, G. L. und K. D. SUNDERLAND (1996): Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). Annual Reviews Entomol. **41**: 231–256.
- LUFF, M. L. (1993): The Carabidae (Coleoptera) larvae of Fennoscandia and Denmark: based on a manuscript by S. G. LARSSON. Fauna Entomologica Scandinavica 27, Leiden, New York und Köln.
- LUFF, M. L. (2003): Biology and ecology of immature stages of ground beetles (Carabidae). In: LÖVEL, G. L., TOFT, S., DIAS Report, No. 114 (2005). European Carabidology 2003; Proceedings of the 11th European Carabidologists' Meeting 21–24 July. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries, Danish Institute of Agricultural, Århus Denmark, S: 183–208.
- LÜDGE, W. (1971): Der Einfluß von Laubholzunterbau auf die Schädlingsdichte in den Kiefernforstbeständen der Schwetzinger Hardt. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung **142** (7): 173–178.
- MAGURA, T., B. TOTHMÉRÉSZ und Z. BORDAN (2000): Effects of nature management practice on carabid assemblages (Coleoptera: Carabidae) in a non-native plantation. Biological Conservation **93**: 95–102.
- MAGURA, T., B. TOTHMÉRÉSZ und Z. ELEK (2003): Diversity and composition of carabids during a forestry cycle. Biodiversity and Conservation **12**: 73–85.
- MAGURA, T., B. TOTHMÉRÉSZ und Z. ELEK (2005): Impacts of leaf-litter addition on carabids in a conifer plantation. Biodiversity and Conservation **14**: 475–491.
- MAJUNKE, C. und E. SCHULZ (2003): Die Gegenspieler-Fauna eines Kiefern-Großschädlings. AFZ-DerWald **23**: 1200–1202.
- MEYER, E., I. SCHWARZENBERGER, G. STARK und G. WECHSELBERGER (1984): Bestand und jahreszeitliche Dynamik der Bodenmakrofauna in einem inneralpinen Eichenmischwald (Tirol, Österreich). Pedobiologia **27** (2): 115–132.
- MIDTGAARD, F. (1999): Is dispersal density-dependent in carabid beetles? A field experiment with *Harpalus rufipes* (Degeer) and *Pterostichus niger* (Schaller) (Col., Carabidae). J. Appl. Ent. **123**: 9–12.
- MLETZKO, G. (1971): Orientierungsrhythmik von Carabidae (Coleoptera) I. Die nachtaktiven Laufkäfer. Zoologischer Anzeiger **187**: 384–396.
- MOLNAR, T., T. MAGURA, B. TOTHMÉRÉSZ und Z. ELEK (2001): Ground beetles (Carabidae) and edge effect in oak-hornbeam forest and grassland transects. Eur. J. Soil Biol. **37**: 297–300.
- MÖLLER, K. (2005): Seltene und gefährdete Insekten und Spinnen in ausgewählten Naturwäldern Brandenburgs. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie **38** (2): 81–91.
- MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie (3. Auflage) Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg + Wiesbaden.
- MÜLLER, J. K. (1984): Die Bedeutung der Fallenfang-Methode für die Lösung ökologischer Fragestellungen. Zool. Jb. Syst. **111**: 281–305.
- MÜLLER, M. (1997): Das Walddumbauprogramm des Landes Brandenburg, in: Benutzung der Mehrfunktionsforstwirtschaftsprodukte während der Wirtschaftstransformation. Zielona Gora, czerwiec 1997 roku Warszawa 1997.
- MÜLLER, M. (2000): Waldbaurahmenrichtlinie der Landesforstverwaltung Brandenburg. AFZ-DerWald **55**: 239–242.
- MÜLLER-MOTZFELD, G. (1989): Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae) als pedobiologische Indikatoren. Pedobiologia **33**: 145–153.
- NIEMELÄ, J. (1993): Interspecific competition in ground-beetle assemblages (Carabidae): what have we learned. Oikos **66**: 325–335.
- NIEMELÄ, J., M. KOIVULA und D. J. KOTZE (2007): The effects of forestry on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in boreal forest. J. Insect Conserv. **11**: 5–18.
- NEUMANN, U. (1971): Die Sukzession der Bodenfauna (Carabidae [Coleoptera], Diplopoda und Isopoda) in den forstlich rekultivierten Gebieten des Rheinischen Braunkohlenreviers. Pedobiologia **11**: 193–226.
- NOORDHUIS, R., S. R. THOMAS und D. GOULSON (2001): Overwintering populations of beetle larvae (Coleoptera) in cereal fields and their contribution to adult populations in the spring. Pedobiologia **45**: 84–95.
- OLDENBURG, C. (2006): Risiken und Rückwirkungen kleinflächiger Vorverjüngungen mit Trauben-Eiche in Wäldern der Gemeinen Kiefer in der Initiaphase. Dissertation, TU Dresden, Fak. Forst- Geo- und Hydrowissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt, TUDpress.
- OLDENBURG, C. und M. MÜLLER (2004): Risikofaktoren kleinflächiger Traubeneichen-Voranbauten in Kiefernbeständen. AFZ-DerWald **16**: 883–886.
- OTTO, H.-J. (1992): Rahmenbedingungen und Möglichkeiten zur Verwirklichung der ökologischen Waldentwicklung in den niedersächsischen Landesforsten. Forst und Holz **20** (7): 75–78.
- ØKLAND, R. H., K. RYDGREN und T. ØKLAND (1999): Single-tree influence on understory vegetation in a Norwegian boreal spruce forest. Oikos **87**: 488–498.
- PAJE, F. und D. MOSSAKOWSKI (1984): pH-preferences and habitat selection in carabid beetles. Oecologia **64**: 41–46.
- RAINIO, J. und J. NIEMELÄ (2003): Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. Biodiversity and Conservation **12**: 487–506.
- RAYMOND, B., A. VANBERGEN, A. WATT, S. E. HARTLEY, J. S. CORY und R. S. HAILS (2002): Escape from pupal predation as a potential cause of outbreaks of the winter moth, *Operophtera brumata*. Oikos **98**: 219–228.
- REIKE, H.-P. (2004): Untersuchungen zum Raum-Zeit-Muster epigäischer Carabidae an der Wald-Offenland-Grenze. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt/Contributions to Forest Sciences (Heft 21), Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- REZNIKOVA, Z. und H. DOROSHEVA (2004): Impacts of red wood ants *Formica polyctena* on the spatial distribution and behavioural patterns of ground beetles (Carabidae). Pedobiologia **48**: 15–21.
- RIEGEL, T. (1996): Zur Carabidenfauna von Waldgesellschaften unterschiedlicher Feuchtestufen in einem ostniedersächsischen Waldgebiet. Braunsch. naturkd. Schr. **5**: 35–53.
- RÖHRIG, E., N. BARTSCH und V. B. LÜPKE (2006): Waldbau auf ökologischer Grundlage. 7. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SAETRE, P. (1999): Spatial patterns of ground vegetation, soil microbial biomass and activity in a mixed spruce-birch stand. Ecography **22**: 183–192.
- SCHERNEY, F. (1959): Unser Laufkäfer, ihre Biologie und wirtschaftliche Bedeutung. Die Neue Brehm-Bücherei (Heft 245) A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.
- SCHUA, K. J. (2005): Der Einfluss einzelbaumweise eingemischter Traubeneiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in Wäldern der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Standorten geringer Trophie und Wasserversorgung im Süden Brandenburgs auf Humusform und -verteilung sowie bodenchemische Parameter. Diplomarbeit, TU Dresden, Fak. Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt.
- SCHULZ, U., F. DREGER und C. MAJUNKE (2004): Arthropoden in Kiefernforsten und jungen Umbauflächen. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie **38** (2): 87–94.
- STOYAN, D. und S. WAGNER (2001): Estimating the fruit dispersion of anemochorous forest trees. Ecological Modelling **145**: 35–47.
- TABOADA, A., D. J. KOTZE und J. M. SALGADO (2004): Carabid beetle occurrence at the edges of oak and beech forests in NW Spain. Eur. J. Entomol. **101**: 555–563.
- THIELE, H. U. und W. KOLBE (1962): Beziehungen zwischen bodenbewohnenden Käfern und Pflanzengesellschaften in Wäldern. Pedobiologia **1**: 157–173.
- TOLKE, D. (2000): Schätzung quantitativer Strukturparameter von Carabidenpopulationen auf der Grundlage einer 5-jährigen Fang-Wiederfang-Studie in einem Eichen-Hainbuchen-Wald (Coleoptera, Carabidae). Dissertation, Universität Bremen.
- WACHMANN, E., R. PLATEN und D. BARNDT (1995): Laufkäfer Beobachtung-Lebensweise. Naturbuch Verlag, Augsburg.
- WAGNER, S. (2005): Einzelbaumeffekte – eine Methode zur ökologischen Forschung in Mischbeständen. Beiträge zur Tagung 2004 der Sektion Waldbau DVFFA in Staufen, 127–139.
- WAGNER, S. (2006): Techniken zur Integration verschiedener Waldfunktionen und die Nachhaltsbasis: Gibt es ein Leitbild für Oligofunktionale Waldbewirtschaftung? In: KANTOR, P. (Hrsg.): Welche Bestandesstruktur für welche Waldfunktion. XVI. Gemeinsames Waldbau-Kolloquium „Brno – Tharandt“ 4.–6.10.2005 Kutná Hora, S: 3–19.
- WALSH, P. J., K. R. DAY, S. R. LEATHER und A. SMITH (1993): The Influence of Soil Type and Pine Species on the Carabid Community of a Plantation Forest with a History of Pine Beauty Moth Infestation. Forestry **66** (2): 135–146.

- WALLRUP, E., P. SAETRE und H. RYDIN (2006): Deciduous trees affect small-scale floristic diversity and tree regeneration in conifer forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* **21**: 399–404.
- WIEZIK, M., M. SVITOK und M. DOVČIAK (2007): Conifer introductions decrease richness and alter composition of litter-dwelling beetles (Coleoptera) in Carpathian oak forests. *Forest Ecology and Management* **247**: 61–71.
- WEBER, F. (1965): Vergleichende Untersuchungen über das Verhalten von Carabus-Arten in Luftfeuchtigkeitsgefällen. *Z. f. Morphol. u. Ökol. d. Tiere* **55**: 233–249.
- WECKWERTH, W. (1953): Die Kiefern- oder Forleule (*Panolis flammea* Schiff.). Die Neue Brehm-Bücherei (Heft 106), Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig.
- WEHNERT, A. (2007): Effekte einzelbaumweise eingemischter Trauben-Eichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in Wäldern der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) unter besonderer Berücksichtigung der epigäischen Insektenfauna. Diplomarbeit, TU Dresden, Fak. für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt.
- WU, H.-I., P. J. H. SHARPE, J. WALKER und L. K. PENRIDGE (1985): Ecological field Theory: A spatial analysis of resource interference among plants. *Ecological Modelling* **29**: 215–243.

Nichtparametrische Analyse des Höhenwachstums von Japanlärchen mit glättenden und penalisierten Splines – Methodische Aspekte

(Mit 8 Abbildungen und 1 Tabelle)

E. KUBLIN¹⁾, J. KLÄDTKE²⁾ und S. HERBSTTRITT²⁾

(Angenommen Juni 2010)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Alters-Höhenkurven; Bonität; Klima-Effekt; gemischte lineare Modelle; radiale Spline Basisfunktion.

Age height curves; site index; climate effect; mixed models; thin-plate-spline.

1. EINFÜHRUNG

Verlässliche Vorhersagen für die Wuchsleistung eines Standortes sind eine Grundvoraussetzung für eine nachhaltige forstliche Bewirtschaftung von Beständen. Die Wuchsleistung von Waldstandorten wird im Idealfall anhand der über die Jahre produzierten Holzmasse gemessen. Die Volumenleistung eines Bestands wird von einer Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt. Die Pflanzdichte sowie Art und Stärke der Eingriffe beeinflussen das Bestandeswachstum ebenso wie klimatische und umweltbedingte Einflüsse oder Störungen. Eine zuverlässige Bilanzierung der Volumenleistung setzt somit die genaue Kenntnis der Bestandesgeschichte voraus. Da die Bestandesentwicklung in vielen Fällen nur unvollständig dokumentiert ist, werden alternative Verfahren zur Beurteilung und zum Vergleich der Produktivität von Waldstandorten und Baumarten benötigt. In den Forstwissenschaften wird daher schon seit langem das Produktionspotenzial eines Standorts hilfweise anhand der Bestandeshöhe bzw. mit Höhenbonitäten beschrieben, weil die Höhenentwicklung eines Bestand weniger von der Bestandesbehandlungsmaßnahmen abhängig ist. Höhenfunktionen bzw. Höhenbonitäten, d.h. die erreichte bzw. vorhergesagte Mittel- bzw. Oberhöhe in einem bestimmten Alter, 100 Jahre beispielsweise, haben sich als geeignetes Maß für die Beurteilung der Wuchsleistung von Beständen bewährt und finden deshalb Verwendung in Ertragstafelsystemen, die für die Abschätzung der Bestandesentwicklungen eingesetzt werden. Höhenfunktionen sind integraler

Bestandteil von Simulatoren für das Bestandes- und Einzelbaumwachstum, mit denen die Produktivität von Beständen an unterschiedlichen Standorten und mit verschiedenen Behandlungs- und Klimaszenarien modellhaft abgeschätzt und bewertet wird.

Die mathematische Beschreibung des Höhenwachstums in Abhängigkeit vom Alter basiert auf nichtlinearen Wachstumsfunktionen, die durch wenige und gut interpretierbare Parameter festgelegt sind. Häufig verwendet werden logistische, Gompertz-, von Bertalanffy- oder Richards-Wachstumsmodelle. Diese Modelle eignen sich vor allem zur Beschreibung von sigmoidalen Wachstumsverläufen, bei denen der Zuwachs (Wachstumsrate) in jungen Jahren von Null ausgehend steil bis zum Erreichen eines Zuwachsmaximums ansteigt, danach stetig abfällt und sich im hohen Alter wieder der Nulllinie nähert. Das sigmoidale Wachstumsmodell ist im Wesentlichen durch den maximalen Zuwachs, den Zeitpunkt zu dem dieser erreicht wird und durch die Asymptote der Wachstumskurve festgelegt. Im klassischen Wachstumsmodell werden also das Höhenwachstum eines Baumes oder die Entwicklung der Bestandeshöhe auf drei Parameter reduziert und Höhenverläufe anhand der Veränderungen in der Parameterstruktur mit den bekannten Methoden der Regressions- und Varianzanalyse studiert. Nichtlineare Regressionsmodelle mit einer geringen Anzahl von Parametern liefern relativ steife Alters-Höhen-Kurven, die sich vor allem für die Prognosen der Höhenentwicklung und zur Bonitierung eines Bestands eignen. Für varianzanalytische Untersuchungen von kurzfristigen Auswirkungen (Effekten) von unterschiedlichen Bestandesbehandlungen, Reaktionen auf kurzfristige Klimaveränderungen u.a. sind parametrische Modelle zu unflexibel, daher besteht die Gefahr von modellbedingten Artefakten mit der Folge von Fehlinterpretationen. Für varianzanalytische Fragestellungen sind flexiblere Modelle mit einem höheren Auflösungspotenzial für die in den Daten enthaltene Variabilität notwendig. Nichtparametrische Regressionsmodelle stellen für diese Fragestellungen ein umfangreiches und ausgereiftes Methodenspektrum zur Verfügung, welches sich auch im Vorfeld der Modellfindung vorteilhaft nutzen

¹⁾ Abteilung Biometrie und Informatik, FVA-BW, Freiburg.

²⁾ Abteilung Waldwachstum, FVA-BW, Freiburg.