

Forstwirtschaft und Artenvielfalt am Beispiel gefährdeter Holzkäfer

Regelmäßig wird die Ansicht vertreten, dass viele gefährdete Arten im Wald tatsächlich noch vorhanden sind und lediglich ihr Nachweis bisher unzureichend war. Die Neufassung der Roten Liste der Käfer scheint diese Auffassung zu bestätigen. So hat sich der Anteil gefährdeter Holzkäfer von 60 % in den 1980er-Jahren [1] auf 28 % verringert [2]. Für die Gruppe der Urwaldrelikt-Arten unter den Käfern [3] ist hingegen eine langfristig negative Tendenz des Artenreichtums nachweisbar. Diese kann zwanglos durch die Einführung der modernen Forstwirtschaft erklärt werden und stellt die Reproduzierbarkeit von Roten Listen der Käfer infrage.

*Peter Meyer, Marcus Schmidt, Andreas Mölder,
Ulrich Schaffrath*

Holzbewohnende Arten, vor allem Pilze und Käfer, haben einen hohen Anteil an der gesamten Artenvielfalt in mitteleuropäischen Wäldern. Zugleich gilt ein besonders hoher Anteil dieser Organismengruppen als gefährdet [1, 4, 5, 6]. Nach naturschutzfachlicher Auffassung ist die Forstwirtschaft der Hauptverursacher für die Gefährdung [4, 7, 8, 9, 10]. In Forstkreisen ist hingegen die Ansicht weit verbreitet, dass die moderne Waldwirtschaft der Artenvielfalt keinesfalls schadet, sie häufig nach dem Motto „Schutz durch Nutzung“ eher fördert [11]. Viele als gefährdet geltende Arten seien eigentlich noch vorhanden, je-

doch lediglich noch nicht nachgewiesen worden – entsprechend der Devise „wer sucht, der findet“. Es liegt auf der Hand, dass diese stark auseinanderfallenden Sichtweisen einem wirkungsvollen Waldnaturschutz entgegenstehen. Dieser läuft Gefahr, entweder unzureichend zu sein oder über das Ziel hinauszuschießen.

Tatsächlich gibt es Anhaltspunkte für die beiden dargestellten Positionen. In einem Teil der Vergleichsstudien zwischen unterschiedlich naturnahen bzw. bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern wird gezeigt, dass die moderne Forstwirtschaft durch einen Mangel an Altbäumen und Totholz, den Anbau von Nadelbäumen sowie die Bewirtschaftung in gleichaltrigen Reinbeständen zu einem Verlust der Artenvielfalt geführt hat [12, 13, 14, 15, 16]. Ein anderer Teil findet hingegen keine Unterschiede zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern [17, 18, 19]. Zudem bleibt bisher unklar, wie sich die Einführung naturnaher Waldbauprogramme seit den 1990er-Jahren [20] auf die Situation der Arten- und Biotopvielfalt im Wald ausgewirkt hat.

Notwendigkeit langfristiger Untersuchungen

Da Lebensgemeinschaften meist verzögert und häufig nicht linear auf Veränderungen ihrer Lebensbedingungen reagieren, verspricht erst eine langfristige Untersuchung der Bestandesentwicklung belastbare Resultate. So können die unterschiedlichen Ergebnisse der Vergleichsstudien darauf zurückgeführt werden, dass entweder die Geschichte der verglichenen Waldbestände

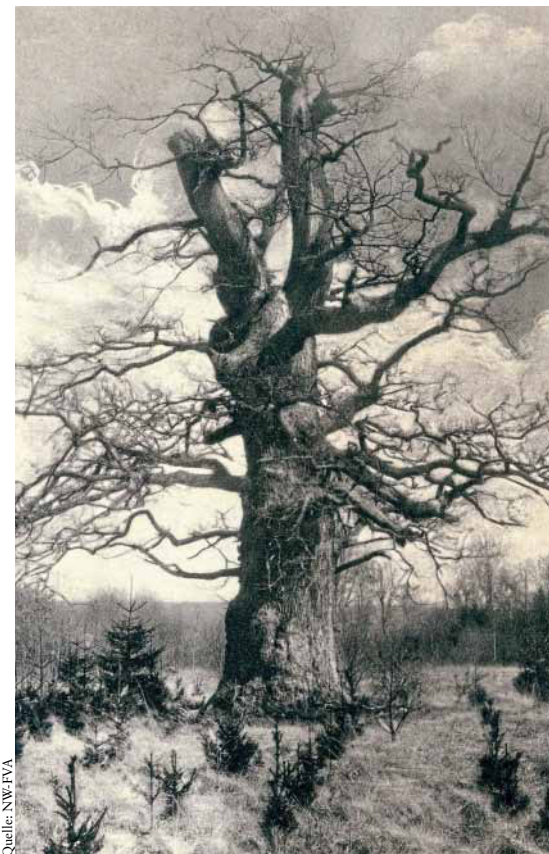
außer Acht gelassen wurde oder der Untersuchungszeitraum bzw. die betrachteten Entwicklungszeiträume zu kurz waren [21]. Zudem ist ein Vergleich zwischen bewirtschaftetem und unbewirtschaftetem Wald nur aussagekräftig, wenn konkret benannt und quantifiziert wird, welche der zahlreichen Einflussfaktoren – von der Baumartenzusammensetzung über den Auflichtungsgrad bis hin zu den Totholz-mengen – tatsächlich unterschiedlich sind.

Für das Land Hessen sind wir daher der Frage nachgegangen, welchen Entwicklungstrend die Artenvielfalt einer Gruppe seltener Holzkäfer, der sogenannten „Ur-

Schneller Überblick

- Der Einfluss der Forstwirtschaft auf die Artenvielfalt und das Vorkommen gefährdeter Arten wird kontrovers diskutiert
- Am Beispiel gefährdeter Holzkäfer wird ein negativer Trend des Artenreichtums seit der Mitte des 19. Jahrhunderts belegt
- Hierfür wurden im Rahmen einer Literaturstudie alle Datensätze zu holzbewohnenden Käfern (Urwaldrelikt-Arten) aus Hessen erfasst
- Die Abnahme des Artenreichtums resultiert vermutlich aus dem Ersatz historischer Waldnutzungsformen durch Laub- und Nadel-Hochwälder sowie einer intensiveren Holznutzung in entlegenen Waldbeständen

Abb. 1: Umwandlung von Hutewäldern in Fichtenbestände (Reinhardswald um 1910)



Bezugsraum	Waldanteil um 1850	Nadelwaldanteil	Quellen
Kurfürstentum Hessen (Nordhessen, Rhön, Nordspessart)	41 %	1820: 10 % 1885: 40 %	[30, 31, 32]
Fürstentum Waldeck (westl. Nordhessen)	40 %	1872: 8 % 1900: 30 %	[33, 34]
Großherzoglich hessische Provinz Oberhessen (v. a. Vogelsberg, Wetterau)	35 %	1840: 9 % 1900: 31 %	[22, 23, 35]
Provinz Starkenburg (Rhein-Main-Ebene, Odenwald)	40 %	1840: 31 % 1900: 51 %	[22, 23, 35]

Tab. 1: Waldanteile um 1850 in Hessen und Entwicklung der Nadelwaldanteile im 19. Jahrhundert

waldrelikt-Arten“ [3], zeigt und ob dieser durch die Veränderungen von Waldnutzung und Waldstrukturen erklärt werden kann. Daher stellen wir der Analyse der zeitlichen Entwicklung des Artenreichtums einen Abriss der Entwicklung der Waldbewirtschaftung voran.

Entwicklung der Waldbewirtschaftung seit 1800

Während sich die hessische Waldlandschaft vor 1800 sowohl aus intensiv bewirtschafteten Beständen als auch aus vorrats- und totholzreichen Laubwäldern in schwer zugänglichen Lagen sowie halboffenen Hutewäldern mit zahlreichen Baumveteranen zusammensetzte, strebte die moderne Forstwirtschaft nach einheitlich bewirtschafteten Hochwäldern und der Ablösung von Nutzungsberechtigungen der lokalen Bevölkerung [22, 23, 24]. Im Großherzogtum Hessen war um 1840 die Überführung von Hute- in Hochwald bereits sehr weit fortgeschritten. Dabei gab es vielerorts aber noch Reliktorkommen alter Hutebäume [22, 23]. Das einstige Kurfürstentum Hessen hingegen galt noch im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts im Hinblick auf die Ablösung der Huteberechtigungen als besonders rückständig [25]. Erst in preußischer Zeit wurde auf der Grundlage der „Verordnung, betreffend die Ablösung der Servituten“ vom 13. Mai 1867 die Überführung verstärkt vorangetrieben. Sie ging meist mit einer Umwandlung in Fichtenbestände einher (Abb. 1) [26]. Die Ablösung der Hute- und Streunutzungsberechtigungen war bis zum Ersten Weltkrieg weitgehend abgeschlossen.

Darüber hinaus wurden ab den 1860er-Jahren in ganz Hessen systematische Wald-

wegenetze angelegt, sodass Holznutzung und -transport nun fast überall stattfinden konnten [27, 28]. Bei einem Waldanteil, der in etwa den heutigen Verhältnissen entspricht, ist im 19. Jahrhundert eine stetige Erhöhung des Nadelwaldanteils in Hessen zu verzeichnen [29] (Tab. 1).

Die seit dem Ersten Weltkrieg intensivierte Forstwirtschaft führte zu einem weiteren Rückgang des Laubholzes, das um 1960 in Hessen einen Anteil von 49 % erreichte [36]. Ab den 1960er-Jahren stieg die Bedeutung von Naturschutzbelangen deutlich an. Nachdem in den 1970er-Jahren zunächst „Altholzinseln“ ausgewiesen worden waren, wurden 1988 in Hessen die ersten Naturwaldreservate und 2004 der Nationalpark Kellerwald/Edersee eingerichtet [37, 38, 39]. Im Jahr 1989 wurde der „naturgemäße Waldbau“ im hessischen Staatswald eingeführt [40, 41]. Über die Bundeswaldinventuren werden seitdem steigende Laubholzanteile (aktuell 59 %) erkennbar [42]. Gleichzeitig wurden die Naturschutzbemühungen deutlich intensiviert, was sich

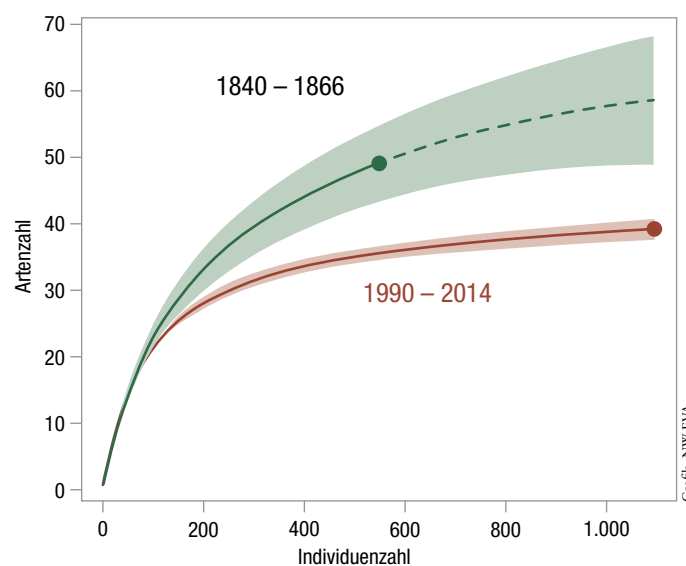


Abb. 2: Vergleich der Artenzahlen der Urwaldrelikt-Arten in Hessen für die Zeiträume 1840 bis 1866 und 1990 bis 2014 mithilfe von Artensättigungskurven

beispielsweise in der Umsetzung von Alt- und Totholzkonzepten und einem stark steigenden Anteil von Wäldern mit natürlicher Entwicklung ausdrückt [43].

Methodische Vorgehensweise

Für das Gebiet des heutigen Bundeslandes Hessen wurden aus dem Zeitraum von 1790 bis 2014 alle in der Literatur verfügbaren Artnachweise der 115 Urwaldrelikt-Arten unter den Käfern gesammelt. Diese holzbewohnenden Käferarten sind an Waldbestände gebunden, die eine weit zurückreichende Kontinuität von in Urwäldern häufigen, aber in Wirtschaftswäldern besonders seltenen Alt- und Totholzstrukturen aufweisen [21]. Insgesamt wurden 548 Originalarbeiten durchsucht und 1.560 Datensätze mit Angaben zu Artnamen, Individuenzahl, Ort, Jahr und Name des Sammlers erfasst. Alle Daten für den ausreichend mit Untersuchungen abgedeckten Zeitraum zwischen 1840 und 2014 wurden in die Analyse einbezogen. Dabei wurden fünf verschiedene Phasen abgegrenzt, die durch die oben beschriebenen historischen Entwicklungen und Veränderungen der Waldnutzung und -struktur gekennzeichnet sind (Tab. 2).

Die Individuenzahlen sind während der betrachteten Zeiträume sehr unterschiedlich, da beispielsweise im Zusammenhang mit der FFH-Richtlinie die Kartierintensität seit den 1990er-Jahren deutlich zugenommen hat. Daher war es erforderlich, die Artenzahl mithilfe von Artensättigungskurven („Rarefaction-Kurven“) auf eine vergleichbare Individuenzahl zu standardisieren [44]. Hierzu wurde die Software iNEXT [45, 46] eingesetzt. Um die Artenvielfalt aller fünf Zeiträume zu vergleichen, wurde als unterer Vergleichswert die Individuenzahl des Zeitraums 1867 bis 1913 (383 Individuen) angesetzt. Die Extrapolation erfolgte dann beim Zweifachen dieses Wertes (766 Individuen). Mittelwerte und Konfidenzintervalle wurden auf der Basis von 100 Stichprobenwiederholungen (Bootstrapping) berechnet.

Ergebnisse

Der Artenreichtum der Urwaldrelikt-Arten unter den Käfern ist Ende des 20. und im beginnenden 21. Jahrhundert deutlich

Zeitraum	Anzahl Nachweise	Anzahl Arten
1840-1866	547	49
1867-1913	383	49
1914-1965	415	40
1966-1989	957	41
1990-2014	4.024	46
Summe	6.326	68

Tab. 2: Anzahl Nachweise und Urwaldrelikt-Arten in Hessen zu verschiedenen Zeiträumen

geringer als im 19. Jahrhundert (Abb. 2). Dies gilt sowohl für die reduzierte als auch für die extrapolierte Artenzahl. Außerdem nimmt die Variabilität der Artenvielfalt stark ab. Anzeichen einer Erholung des Artenreichtums sind zwar nicht zu erkennen, jedoch steigt die Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung seit den 1960er-Jahren wieder an (Abb. 4).

Schlussfolgerungen

Unsere Studie liefert erstmals einen datenbasierten Beleg für einen signifikanten Verlust des Artenreichtums einer Gruppe seltener und gefährdeter holzbewohnender Käfer in den letzten zwei Jahrhunderten. Wir gehen davon aus, dass dies hauptsächlich auf die großflächige Umwandlung von historischen Waldnutzungsformen (Nieder-, Mittel- und Hutewald) in Laub- und Nadel-Hochwälder und eine flächendeckende Erschließung zuvor schwer zugänglicher Waldbereiche zurückzuführen



Abb. 3: Die Urwaldrelikt-Arten (v. l.) Feuerschmied (*Elater ferrugineus*) und Heldbock (*Cerambyx cerdo*)

ist [7]. Dies hat zu einem Rückgang von Laubwäldern, alten Bäumen, Totholzstrukturen und halboffenen Wäldern geführt und damit die für die Urwaldrelikt-Arten notwendigen Habitate zunehmend reduziert. Im betrachteten Zeitraum hat es offenbar einen „historischen Flaschenhalseffekt“ im Hinblick auf die Habitat- und die Strukturkontinuität und damit auch für die Verbreitung dieser Holzkäfer gegeben. Darum sind sie heute vor allem dort zu finden, wo Altbaum- und Totholzstrukturen die Veränderungen der Waldlandschaften seit 1800 überdauert haben [7, 47, 48]. Für die Gruppen der flugunfähigen holzbewohnenden Rüsselkäfer sowie der rindenbewohnenden Flechten in Wäldern wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt [49, 50]. Die bisher ausbleibende Erholung trotz steigender Naturschutzmaßnahmen kann auf mehrere Gründe zurückgeführt werden: (a) zeitliche Verzögerung (die Maßnahmen greifen möglicherweise erst

langfristig), (b) unzureichende Intensität [51] oder (c) Auswahl wenig geeigneter Flächen (Waldbestände ohne Lebensraumkontinuität) [52]. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob stark verinselte Reliktpopulationen anspruchsvoller Holzkäfer in ihrem Bestand überhaupt dauerhaft gesichert und vernetzt werden können [53]. Eine Wirkungskontrolle der bisher ergriffenen Maßnahmen erscheint vor diesem Hintergrund notwendig.

Unsere Ergebnisse bestätigen eine anhaltend starke Gefährdung derjenigen Holzkäfer, die hohe Ansprüche an die Habitatkontinuität von Alt- und Totholzlebensräumen stellen. Dieses Resultat ist mit der Halbierung des Anteils gefährdeter Holzkäfer seit den 1980er-Jahren, wie sie die Neufassung der Roten Liste nahelegt, nicht konsistent und weckt Zweifel an der Reproduzierbarkeit der Gefährdungseinschätzung [54]. Da weitreichende Entscheidungen für die Ausrichtung von Forstwirtschaft und Naturschutz auf dieser Gefährdungseinschätzung beruhen, sollte den methodischen Problemen der Roten Liste dringend nachgegangen werden. Hier zeigt sich zudem, dass unser Kenntnisstand der Artenvielfalt, ihrer Entwicklung und Gefährdung nach wie vor sehr unzureichend ist [55].

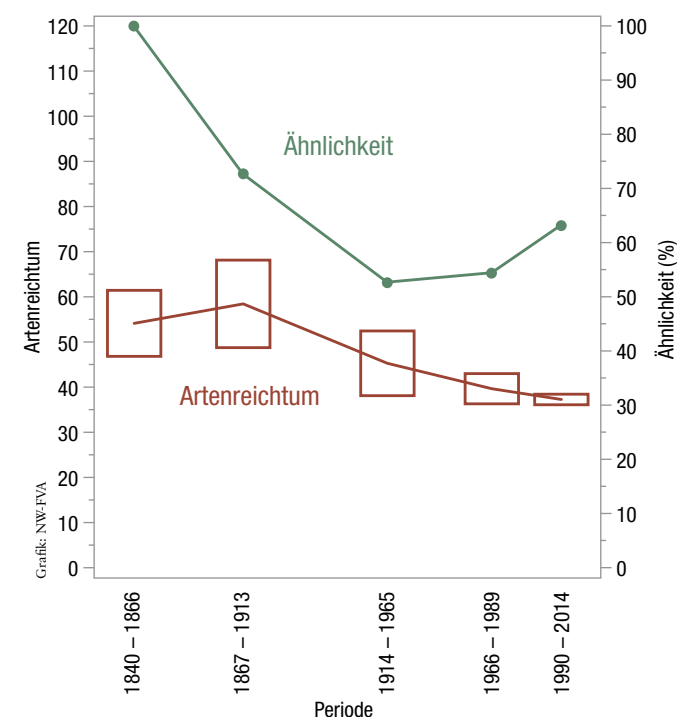


Abb. 4: Extrapolierter Artenreichtum der „Urwaldrelikt-Arten“ in Hessen zu verschiedenen Zeiträumen. Die Boxen umschließen das 95 %-Konfidenzintervall. Die Linie innerhalb der Box kennzeichnet den Mittelwert. Zudem wird die Entwicklung der Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung (Gemeinschaftskoeffizient nach Jaccard) dargestellt.

Literaturhinweise:

Das Literaturverzeichnis findet sich unter: <https://www.forstpraxis.de/downloads/>

Dr. Peter Meyer, Peter.Meyer@nw-fva.de, leitet das Sachgebiet Waldnaturschutz/ Naturwaldforschung an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA). Dr. Marcus Schmidt und Dr. Andreas Mölder sind wissenschaftliche Mitarbeiter in dem Sachgebiet. Dr. Ulrich Schaffrath ist Inhaber eines Büros für Zoologische Untersuchungen in Kassel.



Literaturverzeichnis

- [1] Geiser, R. (1984): Rote Liste der Käfer (Coleoptera). In: Blab, J.; Nowak, E., Trautmann, W.; Sukopp, H. (Hrsg.): Rote Liste der gefährdeten Pflanzen und Tiere in der Bundesrepublik Deutschland. 4. Aufl. Greven. S. 75-114.
- [2] Seibold, S.; Brandl, R.; Buse, J.; Hothorn, T.; Schmidl, J.; Thorn, S.; Müller, J. (2014): Association of extinction risk of saproxylic beetles with ecological degradation of forests in Europe. *Conserv. Biol.* 29(2): 382-390.
- [3] Müller, J.; Bußler, H.; Bense, U.; Brustel, H.; Flechtner, G.; Fowles, A.; Kahlen, M.; Möller, G.; Mühle, H.; Schmidl, J.; Zabransky, P. (2005): Urwaldrelikt-Arten – Xylobionte Käfer als Indikatoren für Strukturqualität und Habitattradition. *Waldökol. onl.* 2: 106-113.
- [4] Speight, M. C. D. (1989): Saproxylic invertebrates and their conservation. Council of Europe, Nature and Environment Series 42: 1-81.
- [5] Geiser, R. (1998): Rote Liste gefährdete Tiere Deutschlands. *Schriftenr. Landschaftspf. Natursch.* 55: 168-230.
- [6] Schmidt, M.; Meyer, P.; Langer, E. (2012): Biodiversitäts-Hotspots. Holzbewohnende Pilze als Naturnähezeiger in hessischen Wäldern. *AFZ/Wald* 67(6): 19-21.
- [7] Günther, A.; Nigmann, U.; Achtziger, R.; Gruttke, H. (2006). Analyse der Gefährdungsursachen planungsrelevanter Tiergruppen in Deutschland. *Natursch. Biol. Vielf.* 21: 1-605.
- [8] Grove, S. J. (2002): Saproxylic insect ecology and the sustainable management of forests. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33: 1-23.
- [9] Müller, J.; Leibl, F. (2011): Unbewirtschaftete Waldflächen sind europaweit artenreicher. *AFZ/Wald* 66(17): 20-21.
- [10] Seibold, S.; Leibl, F. (2015): Eckpfeiler gegen Artenschwund bei Totholzbewohnern. *AFZ/Wald* 70(8): 23-24.
- [11] Schulze, E.-D.; Boch, S.; Müller, J.; Levick, S. R.; Schumacher, J. (2016): Seltene und gefährdete Pflanzen wachsen im Laubwald überall. *AFZ/Wald* 71(13): 35-38.
- [12] Hammond, P. M. (1974): Changes in the British coleopterous fauna. In: Hawksworth, D. L. (Hrsg.): *The changing Flora and Fauna of Britain*, S. 323-369.
- [13] Winter, S. (2005): Ermittlung von Struktur-Indikatoren zur Abschätzung des Einflusses forstlicher Bewirtschaftung auf die Biozönosen von Tiefland-Buchenwäldern. *Diss. TU Dresden.* 322 S.
- [14] Müller, J.; Hothorn, T.; Pretzsch, H. (2007): Long-term effects of logging intensity on structures, birds, saproxylic beetles and wood-inhabiting fungi in stands of European beech *Fagus sylvatica* L. *For. Ecol. Manage.* 242: 297-305.
- [15] Lassauce, A.; Paillet, Y.; Jactel, H.; Bouget, C. (2011): Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: Meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecol. Indicators* 11: 1027-1039.
- [16] Bässler, C.; Ernst, R.; Cadotte, M.; Heibl, C.; Müller, J. (2014): Near-to-nature logging influences fungal community assembly processes in a temperate forest. *J. Appl. Ecol.* 51: 939-948.

- [17] Müller, J.; Wende, B.; Strobl, C.; Eugster, M.; Gallenberger, I.; Floren, A.; Steffan-Dewenter, I.; Linsenmair, K. E.; Weisser, W. W.; Gossner, M. M. (2015): Forest management and regional tree composition drive the host preference of saproxylic beetle communities. *J. Appl. Ecol.* 52: 753-762.
- [18] Dieler, J.; Uhl, E.; Biber, P.; Müller, J.; Rötzer, T.; Pretzsch, H. (2017): Effect of forest stand management on species composition, structural diversity, and productivity in the temperate zone of Europe. *Eur. J. For. Res.* 136: 739-766.
- [19] Schall, P.; Gossner, M. M.; Heinrichs, S.; Fischer, M.; Boch, S.; Prati, D.; Jung, K.; Baumgartner, V.; Blaser, S.; Böhm, S.; Buscot, F.; Daniel, R.; Goldmann, K.; Kaiser, K.; Kahl, T.; Lange, M.; Müller, J.; Overmann, J.; Renner, S. C.; Schulze, E.-D.; Sikorski, J.; Tschapka, M.; Türke, M.; Weisser, W. W.; Wemheuer, B.; Wubet, T.; Ammer, C. (2018): The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. *J. Appl. Ecol.* 55: 1-28.
- [20] Petereit, A.; Meyer, P.; Spellmann, H. (2017): Naturschutz in den Konzepten der Landesforstbetriebe. *AFZ/Wald* 72(11): 29-32.
- [21] Meyer, P.; Bücking, W.; Schmidt, S.; Schulte, U.; Willig, J. (2004): Stand und Perspektiven der Untersuchung von Naturwald-Vergleichsflächen. *Forstarchiv* 75: 167-179.
- [22] Wedekind, G. W. v. (1838): Die Bewaldung des Großherzogthums Hessen und merkwürdige Waldbäume in demselben. *Neue Jahrb. Forstk.* 14: 31-58.
- [23] Wedekind, G. W. v. (1841) Übersicht der früheren Bewaldung des Großherzogthums Hessen mit Hinblicken auf die Gegenwart. *Neue Jahrb. Forstk.* 22: 49-63.
- [24] Schmidt, M.; Mölder, A.; Schönfelder, E.; Engel, F.; Fortmann-Valtink, W. (2016): Welche Auswirkungen hatte die frühindustrielle Köhlerei auf hessische Wälder? Eine vergleichende Untersuchung im Reinhardswald und im Nationalpark Kellerwald-Edersee. *Jahrb. Natursch. Hessen* 16: 21-27.
- [25] Wendelstadt, E. (1878): Die landwirtschaftlichen Verhältnisse des Regierungsbezirks Cassel. In: *Führer durch Cassel und seine nächste Umgebung. Festschrift dargebracht der 51. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte*, S. 184-200.
- [26] Schaefer, B. (1913): Der Schutz des Waldes, besonders in Hessen. *Abh. Ber. Ver. Naturk. Kassel* 53: 178-193.
- [27] Anonymus (1865): Der Waldwegebaubetrieb in Kurhessen. *Suppl. Allg. Forst- Jagdztg.* 5: 145-157.
- [28] Heyer, E. (1864): Anleitung zum Bau von Waldwegen, welche zum Forstproducten-Transport auf der Axe dienen. *J. Rickersche Buchhandlung, Gießen.*
- [29] Jacobi, H. B. (1912): Die Verdrängung der Laubwälder durch die Nadelwälder in Deutschland. *Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung, Tübingen.*
- [30] Maron, E. W. (1862): *Forst-Statistik der sämtlichen Wälder Deutschlands einschließlich Preußen.* Springer, Berlin.
- [31] Hundeshagen, J. C. (1819): *Forststatistik von Kurhessen (1).* *Beitr. Kenntniß Forstw. Deutschl.* 1: 413-454.

- [32] Wagner, A. (1886): Die Waldungen des ehemaligen Kurfürstenthums Hessen, jetzigen Königlich Preußischen Regierungs-Bezirks Cassel. Klindworth, Hannover.
- [33] Bernhardt, A. (1872): Forststatistik Deutschlands: Ein Leitfaden zum akademischen Gebrauche. Springer, Berlin und Heidelberg.
- [34] Endres, M. (1905): Handbuch der Forstpolitik mit besonderer Berücksichtigung der Gesetzgebung und Statistik. Springer, Berlin.
- [35] Centralstelle Landesstatistik (1901): Die Forsten im Grossherzogthum Hessen nach Besitzstand, Ertrag, Bestands- und Betriebsart, auf Grund von Erhebungen im Jahre 1900. Mitt. Grossherzogl. Hess. Centralst. Landesstatistik 736: 273-285.
- [36] Lütkeemann, J. (1957): Wandlungen im Bestockungsaufbau des Hessisch-Darmstädtischen Waldes. Allg. Forst- Jagdztg. 128: 232-244.
- [37] Schwarz, K. (2005): Naturschutz im Wald und Waldökologie – grundlegende Ziele der Waldwirtschaft. In: Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (Hrsg.): Beiträge zur hessischen Forstgeschichte, S. 243-280.
- [38] Franke, N. M. (2013): Die Geschichte des Naturschutzes in Hessen. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.
- [39] Schmidt, M.; Sundermann, M. (2013): 25 Jahre Naturwaldreservate in Hessen. Entstehung des Naturwaldreservate-Programms. AFZ/DerWald 68(24): 7-8.
- [40] Rödig, K.-P. (2000): Naturgemäßer Waldbau – der Weg zum Mischwald. In: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Werden und Wandel. Hessens Forstwirtschaft auf dem Weg in das 3. Jahrtausend, S. 148-153.
- [41] Dertz, W. (2000): Wald und Forstwirtschaft – ein hessisches Muster für Nachhaltigkeit. In: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Werden und Wandel. Hessens Forstwirtschaft auf dem Weg in das 3. Jahrtausend, S. 216-220.
- [42] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2015): Wald- und Forstwirtschaft in Hessen 2011-2014. Wiesbaden.
- [43] Hessen-Forst (Hrsg.) (2011): Naturschutzleitlinie für den Hessischen Staatswald. Kassel.
- [44] Gotelli, N. J.; Colwell, R. K. (2001): Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecol. Lett. 4: 379-391.
- [45] Hsieh, T. C.; Ma, K. H.; Chao, A. (2013): iNEXT online: interpolation and extrapolation (Version 1.3.0) [Software]. URL: <https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/>
- [46] Chao, A.; Jost, L. (2012): Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. Ecology 93: 2533-2547.
- [47] Möller, G. (2009): Struktur- und Substratbindung holzbewohnender Insekten, Schwerpunkt Coleoptera – Käfer. Dissertation, Freie Universität Berlin.
- [48] Mölder, A.; Gürlich, S.; Engel, F. (2014): Die Verbreitung von gefährdeten Holz bewohnenden Käfern in Schleswig-Holstein unter dem Einfluss von Forstgeschichte und Besitzstruktur. Forstarchiv 85: 84-101.

- [49] Buse, J. (2012): "Ghosts of the past": flightless saproxylic weevils (Coleoptera: Curculionidae) are relict species in ancient woodlands. *J. Insect. Conserv.* 16: 93-102.
- [50] Hauck, M; de Bruyn, U.; Leuschner, C. (2012): Dramatic diversity losses in epiphytic lichens in temperate broad-leaved forests during the last 150 years. *Biol. Conserv.* 157: 136-145.
- [51] Bütler, R.; Lachat, T.; Larrieu, L.; Paillet, Y. (2013): Habitatbäume: Schlüsselkomponenten der Waldbiodiversität. In: Kraus, D.; Krumm, F. (Hrsg.): *Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern*, S. 86-94.
- [52] Flensted, K. K.; Bruun, H. H.; Ejrnæs, R.; Eskildsen, A.; Thomsen, P. F.; Heilmann-Clausen, J. (2016): Red-listed species and forest continuity – A multi-taxon approach to conservation in temperate forests. *For. Ecol. Manage.* 378: 144-159.
- [53] Vandekerkhove, K.; Thomaes, A.; Jonsson, B.-G. (2013): Konnektivität und Fragmentierung: Inselbiogeographie und Metapopulationen in Elementen später Waldentwicklungsphasen. In: Kraus, D.; Krumm, F. (Hrsg.): *Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern*, S. 108-119.
- [54] Köhler, F. (2011): Europäische Rote Liste der Totholzkäfer. Beitrag auf der Homepage der Arbeitsgemeinschaft Rheinischer Koleopterologen. URL: <http://www.koleopterologie.de/arbeitsgemeinschaft/beitraege/koehler/europa-roteliste.html>
- [55] Theunert, R. (2017): Ein Überblick zur faunistischen Forschung in den Naturwäldern Niedersachsens. *Beitr. Naturk. Nieders.* 70: 1-10.