



Die klimabedingte Veränderung der Totholzkäferfauna (Coleoptera) des nördlichen Rheinlandes

Analysen zur Gesamtfaua und am Beispiel
von Wiederholungsuntersuchungen in
ausgewählten Naturwaldzellen



Das Projekt ist Teil der Klimaschutzpolitik des Landes Nordrhein-Westfalen und wurde mit Mitteln des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert. Weitere Informationen zum Thema Klimawandel und Klimaschutz in NRW finden Sie im Internet unter:
www.klimawandel.nrw.de

Die klimabedingte Veränderung der Totholzkäferfauna (Coleoptera) des nördlichen Rheinlandes

Analysen zur Gesamtfaua und am Beispiel
von Wiederholungsuntersuchungen in
ausgewählten Naturwaldzellen

FRANK KÖHLER

im Auftrag von

Wald und Holz NRW
Albrecht-Thaer-Str. 34
48147 Münster

Stand 15.03.2010

Sehr geehrte Damen und Herren,



Der Klimawandel ist ein herausragendes Thema unserer Zeit. Er betrifft nicht nur die Menschen und die Umwelt, sondern auch den Wald mit all seinen Funktionen und Leistungen.

2009 wurden im Rahmen des Innovationsfonds NRW Forschungsprojekte zur „Anpassung des Landes NRW an die nicht vermeidbaren Folgen des Klimawandels“ initiiert. Die nachgewiesenermaßen überragende Bedeutung der Totholzkäfer in Waldlebensräumen war in diesem Zusammenhang Anlass, einen Blick auf die klimabedingte Veränderung der Totholzkäferfauna zu werfen. Allein in Nordrhein-Westfalen besiedeln rund 1.000 hochspezialisierte Arten die unterschiedlichsten Gehölzbiotop. Für unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind diese Insekten hochsensible Indikatoren für Umweltveränderungen.

Die Studie belegt einmal mehr, wie wir von unseren langfristig angelegten und kontinuierlichen Forschungen in den Naturwaldzellen profitieren. Seit 40 Jahren sind diese Wälder wichtige Hotspots der Biodiversität. Sie sind unverzichtbare Freiluftlabore, die uns einen wertvollen Blick in die sich rasch wandelnden natürlichen Prozesse unserer Wälder ermöglichen. Der besondere Verdienst der vorliegenden Arbeit ist es, die Effekte des Klimawandels in die komplexen Betrachtungen der faunistischen Veränderungen zu integrieren.

Die Erhaltung und Verbesserung der Biodiversität ist eine zentrale Aufgabe der multifunktionalen Forstwirtschaft von Wald und Holz NRW. Die Studie zeigt, dass die Zunahme der Artenvielfalt in den Naturwaldzellen nicht nur durch die reichere Biotopstruktur des fortschreitenden Alterungsprozesses dieser Waldareale zu erklären ist, sondern auch durch die klimabedingte Einwanderung wärmeliebender Arten. Das sind wichtige Erkenntnisse, die uns helfen, unsere Wälder auch außerhalb der Naturwaldzellen fit für den Klimawandel zu machen.

Nordrhein-Westfalen übernimmt mit seinen Forschungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald eine bundesweite Vorreiterrolle. Die 75 Naturwaldzellen bilden mit den dreihundert Wildnisgebieten und dem Nationalpark ein engmaschiges Netz an Prozessschutzflächen, welches den genetischen Austausch der seltenen, auf die speziellen Totholzlebensräume angewiesenen Arten fördert.

Die Forschung ist somit ein wichtiger Teil unserer „Mission Wald“ und bildet eine wesentliche Säule, um unserer Verantwortung für den Lebens- und Wirtschaftsraum Wald auch in Zukunft gerecht zu werden.

Andreas Wiebe
Leiter Wald und Holz NRW

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	8
Summary	10
1 Einleitung	13
2 Veränderungen der Käferfauna	14
2.1 Methodische Aspekte	14
Verzeichnis der Käfer Deutschlands	14
Bundesländer und Regionen	15
Die rheinische Fauna	19
Taxonomie, Ökologie, Biogeographie, Gefährdung	22
Klimadaten	24
2.2 Deutschland	25
Verbreitungstypen	25
Biotop- und Habitatpräferenzen	28
Totholzkäfer	30
2.3 Bundesländer und Regionen	30
Exkurs: HORION-Prognosen 1938-1939	30
Biotop- und Habitatpräferenzen	33
Totholzkäfer	34
Verbreitungstypen	36
2.4 Rheinland	40
Gesamtfauna	40
Totholzkäfer	44
Expansive Totholzkäfer	48
Zuwanderungs-Projektion	52
3 Wiederholungs-Untersuchungen in Naturwaldzellen	57
3.1 Einführung	57
3.2 Methoden	59
Untersuchungsmethoden	59
Bestimmung und Dokumentation	62
Programm-Standardisierung	62
Wiederfundwahrscheinlichkeit	64

3.3 NWZ Altwald Ville	70
Gebiet und Käfererfassung	70
Gesamtfauna, Artenzahlen	73
Holzkäfer	76
Mulm- und Nestkäfer	80
Pilzkäfer	83
Rinden- und Saftkäfer	85
3.4 NWZ Worringer Bruch	88
Gebiet und Käfererfassung	88
Gesamtfauna, Artenzahlen	91
Holzkäfer	93
Mulm- und Nestkäfer	95
Pilzkäfer	98
Rinden- und Saftkäfer	101
3.5 NWZ Lindenberger Wald I	103
Gebiet und Käfererfassung	103
Gesamtfauna, Artenzahlen	106
Holzkäfer	107
Mulm- und Nestkäfer	111
Pilzkäfer	113
Rinden- und Saftkäfer	116
3.6 Gemeinsame Analyse	119
Methodendiskussion	119
Bestandsveränderung	120
Artenzahl	122
Klimaeinfluss	123
Totholzkäfergilden	124
Artenvielfalt	126
Seltene Arten	128
Ausblick	130
4 Danksagung	133
5 Literatur	134
Anhang 1 Verzeichnis der Totholzkäfer Deutschlands	138
Anhang 2 Daten und Fundursachen zu Neufunden von Totholzkäfern im Rheinland	164
Anhang 3 Gesamtartenliste der untersuchten Naturwaldzellen	172
Impressum	198

Zusammenfassung

Veränderung der Käferfauna

Im Jahre 1998 wurde ein Verzeichnis der Käfer Deutschlands veröffentlicht, das gesicherte Nachweise für 6.498 Arten umfasste. Zur Fortschreibung wurden 866 Publikationen und zahlreiche Mitteilungen von Projektmitarbeitern/-innen ausgewertet, die für 18 deutsche Faunenregionen 4.070 Neumeldungen und 2.620 Statusänderungen zu einzelnen Käferarten erbrachten. Die Gesamtzahl der Käferarten Deutschlands stieg bis Ende 2009 auf 6.620.

Unter den neuen Käferarten dominieren mit 72 Spezies südeuropäisch-mediterrane Faunenelemente. Es folgen Neozoen mit 26 und zentraleuropäische Arten mit 19 Vertretern. Südeuropäer sind im bisherigen Artenspektrum Deutschlands mit 36 % vertreten, unter den Zuwächsen aber nun mit 64 %. Aus ökologischer Sicht sind Offenlandarten sowie Boden- und Faulstoffbewohner überproportional an den Neufunden beteiligt. Die Zahl der Totholzkäferarten Deutschlands stieg von 1.384 im Jahre 1998 auf 1.413 Ende 2009. Mediterrane und thermophile lignicole Arten sind überdurchschnittlich stark unter den Neufunden zu finden, so dass hier ein Zusammenhang zwischen Klimaerwärmung und Zuwanderung angenommen werden muss.

Keine andere ökologische Gilde wurde im vergangenen Jahrzehnt so intensiv untersucht wie die der Totholzkäfer. Dementsprechend dominieren aus ökologischer Sicht unter den tausenden Neufunden in den 18 Faunenregionen Waldarten und Totholzkäfer. Unter diesen wiederum ist die Zuwachsrate bei den xylodetriticolen und polyporicolen Käfern – Indikatorarten für Altholzbiotope – deutlich höher als bei anderen Gilden. In schlechter untersuchten Regionen wurden zudem vor allem kleine und kleinste Arten neu nachgewiesen, so dass sich die durchschnittliche Körpergröße der Totholzfauna in den Regionen stark angenähert hat. Dies weist auf eine heute bundesweit gute Bestandserfassung der Totholzkäfer hin.

Mit 1.036 regionalen Neumeldungen und einem Zuwachs von 8 % überwiegen auch unter den Totholzkäfern die südeuropäisch-mediterranen Arten. Ihre Zahl nimmt von Süden nach Norden stetig ab. Allerdings zeigt eine weitere Analyse der Daten, dass innerhalb Deutschlands starke Wanderungsbewegungen entlang des Rheins und der Elbe stattfinden, so dass die Zunahme südlicher Faunenelemente in der Mitte und im Norden Deutschlands bis zu 20 % über dem zu erwartenden Niveau liegt.

Für das gesamte Rheinland wurde 1911 ein Faunenwerk mit 3.489 Arten und 1968 eine entsprechende Arbeit mit 4.276 Spezies veröffentlicht, die durch drei Nachträge auf 4.545 Arten erhöht werden konnte. In den Folgejahren wuchs die Artenzahl weiter auf heute 4.857 gesicherte Artnachweise. Für die Gesamtf fauna stehen somit sechs

Zeithorizonte mit konkreten Artenzahlen zur Auswertung zur Verfügung. Für alle ökologischen Gilden ist ein linearer Anstieg der Artenzahl seit 1911 zu beobachten, wobei für aquatische Arten und Totholzkäfer ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Zeitachse und Artenzahl feststellbar ist.

Aus biogeographischer Sicht sind signifikante Korrelationen bei mediterranen und zentraleuropäischen Arten feststellbar. Letzteres wird insbesondere dadurch erklärt, dass das Rheinland am Nordwestrand des Areal der Buchenwälder liegt, deren Fauna von Südosten nachwandert. Mediterrane und zentraleuropäische Käferarten sind an den Zuwächsen zur Gesamtf fauna in den letzten beiden Jahrzehnten überproportional vertreten, während der Anteil nordeuropäisch-sibirischer und westeuropäisch-atlantischer Käfer stetig sinkt.

Seit 1911 konnten im gesamten Rheinland 352 Totholzkäferarten neu nachgewiesen werden. Für diese Arten wurden jeweils das Jahr des Erstnachweises im südlichen und nördlichen Rheinland sowie mögliche Ursachen für einen Neufund ermittelt. Bei 136 Arten (40 %) kann eine Einwanderung angenommen werden. Bei 183 Arten werden methodische Ursachen, bei 123 Arten taxonomische Gründe und bei 179 Arten Seltenheit oder spät entdeckte Reliktorkommen angeführt (Mehrfachnennung möglich). Um waldbauliche von klimatischen Ursachen trennen zu können werden die Einwanderer nach Nadelholzbewohnern (72 Arten) und expansiven Laubholzbewohnern (64 Arten) differenziert.

Unter den eingewanderten Käfern zeigt der Zuwachs der Nadelholzbewohner statistisch nicht signifikante Sättigungseffekte, während die Entwicklung der Artenzahl expansiver Laubholzbewohner einen statistisch hochsignifikanten linearen und signifikanten logarithmischen Trend aufweist. Die Fortschreibung der Trends ließe bis zum Jahr 2060 zwischen 102 und 150 neue Totholzkäferarten im gesamten Rheinland und 56 bis 84 Spezies im nördlichen Rheinland (Nordrhein) erwarten. In Deutschland kommen derzeit 153 Laubholzbewohner mit mediterranem Hauptverbreitungsgebiet vor, die bislang im Rheinland noch nicht nachgewiesen wurden.

Mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit unter 5 % ist auch die Einwanderung von Laubholzbewohnern in das Rheinland in den letzten 100 Jahren mit der Temperaturentwicklung in Deutschland korreliert. Ausgehend von einer genügend großen Zahl potenzieller Zuwanderer werden beispielhaft folgende Projektionen für die nächsten 50 Jahre berechnet: Bei einem Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur um etwa 1,5 °C über das vorindustrielle Niveau wären im gesamten Rheinland weitere 110 und in Nordrhein 63 neue expansive Totholzkäferarten zu erwarten, bei einem

Anstieg um 2,5 °C im gesamten Rheinland 155 und in Nordrhein 82 Neufunde.

Wiederholungsuntersuchungen in Naturwaldzellen

Zur Überprüfung lokaler Effekte der Klimaentwicklung wurde 2009 in Naturwaldzellen des Landes Nordrhein-Westfalen eine Wiederholungsaufnahme zur Totholzkäferfauna durchgeführt. Ausgewählt wurden drei Reservate im Süden des Landes, die vor etwa 20 Jahren erstmalig mit verschiedenen Fallentechniken (Flugfallen, Leimringe und andere) und manuellen Methoden (Klopfschirm, entomologisches Sieb und andere) repräsentativ untersucht wurden. Um die jeweils einjährigen Bestandserfassungen miteinander vergleichen zu können, wurden für die Auswertung das Methodenset und der Probenumfang der beiden Erfassungsdurchgänge standardisiert.

Um die Bestandsentwicklung der Totholzkäferarten beurteilen zu können, wurden Daten aus zweijährig mit gleichem Methodenset untersuchten Naturwaldreservaten in Rheinland-Pfalz analysiert. Für alle Standorte wurde im zweiten Untersuchungsjahr eine Annäherung der Artenzahl an einen auf Basis der Daten des ersten Untersuchungsjahres errechneten Erwartungswert festgestellt, womit von einer relativ vollständigen Bestandserfassung ausgegangen werden kann. Anschließend wurden Wahrscheinlichkeiten für alle möglichen Kombinationen aus Fundzahlen im ersten und zweiten Untersuchungsjahr berechnet. Neufunde, Bestandszunahmen oder -abnahmen und verschollene Arten konnten somit bei Fehlerwahrscheinlichkeiten auf 1 %-, 5 %- oder 10 %-Niveau zugeordnet werden.

In der 1978 ausgewiesenen 19,9 ha großen Buchen-Naturwaldzelle „Altwald Ville“ bei Erftstadt wurden 2009 mit zehn Untersuchungsmethoden 79 Proben genommen, in denen sich insgesamt 44.872 Käfer in 824 Arten fanden. Die aus der Ersterfassung bekannte Artenzahl von 742 erhöht sich damit um 282 auf 1.071 Arten, darunter 574 Waldbewohner und 374 Xylobionte. Im Rahmen der standardisierten Erfassung ergeben sich für alle Artengemeinschaften der einzelnen Totholzstrukturen im Schnitt Zuwächse von 8 %, bei den Pilzkäfern in Folge der Einwanderung neuer Pilzarten von 17 %.

Keine Totholzkäferart ist auf signifikantem oder hochsignifikantem Niveau verschollen, allerdings fehlen Arten, deren Brutbäume am Waldrand gefällt wurden. Wenigen im Bestand abnehmenden Arten stehen viele zunehmende Arten gegenüber. 43 Arten sind mit einer Wahrscheinlichkeit über 90 % neu eingewandert. Bei 27 weiteren Arten kann von einer Einwanderung ausgegangen werden. Unter den Neufunden finden sich nordrheinische Erstnachweise von *Dirhagus lepidus*, die Urwaldreliktarten *Aeletes atomarius*, *Pediacus dermestoides* und *Corticicus fasciatus*. Das bedeutende Vorkommen von *Allecula rhenana*, der in hohlen Buchen brütet, konnte bestätigt werden.

In der 18,5 ha großen, 1980 ausgewiesenen Naturwaldzelle „Worringer Bruch“, einem Bruchwald bei Köln, wurden im Jahr 2009 mit neun Untersuchungsmethoden 58 Proben genommen, die insgesamt 59.046 Käfer in 715 Arten enthielten. Die aus der Ersterfassung bekannte Artenzahl von 647 erhöht sich damit um 313 auf 960 Arten, von denen 412 der Waldfauna und 285 dem Lebensraum Totholz zuzurechnen sind. Eurytope Arten und Bewohner der Feuchtbiootope sind im Gebiet besonders stark vertreten. Im Rahmen der standardisierten Erfassung zeigen die Artengemeinschaften der einzelnen Totholzstrukturen unterschiedliche Tendenzen. Bei den Holz- und Rindenbewohnern wurde infolge des Rückganges stehenden Totholzes eine Abnahme um jeweils 4 % verzeichnet, während bei den Mulm- und Pilzkäfern die Artenzahl aufgrund des größeren Angebotes an stärker zersetztem Totholz und in Folge der Einwanderung neuer Pilzarten um 11 bzw. 15 % anstieg.

Nur eine Totholzkäferart ist mit über 95 % Wahrscheinlichkeit verschollen (*Phloeocharis subtilissima*). Der Verlust weiterer fünf Arten (> 90 %) kann auf Überflutungen und eine Veränderung des Totholzangebotes zurückgeführt werden. Sehr wenigen im Bestand abnehmenden Arten stehen viele zunehmende Arten – vor allem Mulm- und Pilzkäfer – gegenüber. 21 Arten sind mit einer Wahrscheinlichkeit über 90 % neu eingewandert. Bei 25 weiteren Arten kann von einer Einwanderung ausgegangen werden. Ein Vorkommen von *Xyletinus fibyensis* wird erstmals sicher für Nordrhein nachgewiesen.

In der 1983 ausgewiesenen Naturwaldzelle „Lindenberger Wald I“, einem 7,2 ha großen Alteichen-Hainbuchen-Bestand bei Jülich, wurden mit acht Untersuchungsmethoden 70 Proben genommen, in denen sich insgesamt 50.124 Käfer in 523 Arten fanden. Das Artenspektrum umfasste 1991 insgesamt 586 Käfer und erhöhte sich im Jahr 2009 nun um 191 auf 777 Arten. Mit 499 Vertretern dominiert im dunklen Bestand deutlich die Waldfauna, der auch die 333 nachgewiesenen Totholzbewohner angehören. Im Rahmen der standardisierten Vergleiche zeigen die Artengemeinschaften stark unterschiedliche Entwicklungstendenzen: Während die Zahl der Rindenkäfer aufgrund des Fehlens frisch abgestorbener Bäume um 6 % sinkt, finden sich 13 % neue Pilzkäfer und infolge der starken zahlenmäßigen Zunahme toter Eichen und Hainbuchen 38 bzw. 36 % mehr Holz- und Mulmbewohner.

Keine Totholzkäferart ist mit hoher oder sehr hoher Wahrscheinlichkeit verschollen. Lediglich eine Käferart kommt mit einer Wahrscheinlichkeit größer 90 % nicht mehr im Untersuchungsgebiet vor (*Placusa atrata*). Wenige Käfer haben einen Bestandsrückgang erfahren, darunter mit über 99 % Wahrscheinlichkeit eine nordeuropäische Pilzkäferart (*Acrulia inflata*). Mit einer Wahrscheinlichkeit größer 90 % ist bei 33 Arten eine Bestandszunahme und bei 44 Arten eine Einwanderung zu verzeichnen. Hinzu kommen 17 weitere sichere Neulinge, die nur mit einzelnen Nachweisen belegt wurden. Die herausragenden

Vorkommen von *Abraeus parvulus*, *Teredus cylindricus* und *Tetratoma desmaresti* konnten 2009 bestätigt werden, allerdings konnte ein früherer Einzelfund von *Anitys rubens* nicht reproduziert werden. Die expansiven Urwaldreliktarten *Aeletes atomarius* und *Pediacus dermestoides* wurden neu nachgewiesen.

Eine gemeinsame Analyse für die drei Reservate, aus denen nun insgesamt 476 Totholzkäfer bekannt sind, zeigt, dass nur sehr wenige Arten mit hoher Wahrscheinlichkeit heute nicht mehr vorkommen oder Bestandseinbußen hatten. In der Regel können dafür Veränderungen im Totholzangebot verantwortlich gemacht werden. Nur in einem Fall (*Acrulia inflata*, Lindenberg) liegt eine statistisch hochsignifikante Bestandsabnahme vor, die mit der Klimaerwärmung zusammenhängen dürfte, da es sich um ein nordeuropäisch-sibirisches Faunenelement handelt. Drei weitere nordische Arten sind mit über 90 % Wahrscheinlichkeit verschollen. Im Rahmen der Untersuchung wurde allerdings nur eine Käferart (*Phloeocharis subtilissima*) festgestellt, die in allen drei Reservaten auffällig seltener gefunden oder vermisst wurde. Der Kurzflügler galt bislang als weit verbreitete sehr häufige Art. Den wenigen negativen Entwicklungen steht in allen Reservaten eine beträchtliche Zahl neuer oder im Bestand zunehmender Arten gegenüber.

Eine Hochrechnung des Standardprogramms auf die Gesamtfauna der Naturwaldzellen ergibt einen Artenverlust zwischen einer und neun Arten je Reservat und eine Zuwanderung zwischen 55 und 94 Arten. Der prozentuale Artenzuwachs der vergangenen 20 Jahre beläuft sich da-

mit auf 24 bis 27 %. Eine isolierte Betrachtung expansiver Laubholzbewohner zeigt, dass zwischen 26 und 41 Arten (11 bis 15 %) aufgrund der Klimaerwärmung neu aufgetreten sind. Damit halten sich Artenzuwächse aufgrund eines erhöhten Totholz- und Strukturangebotes sowie von Klimaeffekten etwa die Waage. Aus ökologischer Sicht sind die stärksten klimabedingten Wanderungsbewegungen bei den Holz-, Rinden- und Pilzkäfern zu beobachten. Bei den Mulmkäfern bestehen die Artzuwächse zu einem deutlich geringeren Teil aus expansiven Arten. Seltene und gefährdete Käfer sind stark überproportional an den Neufunden beteiligt. Ihre Zunahme geht ebenfalls zu gleichen Teilen auf Klimaeffekte und ein vergrößertes Totholzangebot zurück.

Da in den forstlichen Simulationen für Nordrhein-Westfalen die meisten Baumarten eine positive Reaktion auf noch zu erwartende Klimaänderungen zeigen, ist in den Naturwaldzellen in den nächsten Jahrzehnten mit einer zunehmend längeren Vegetationszeit und einem schnelleren Holzzuwachs zu rechnen. Für die Totholzkäfer verbessern sich die Expansions- und Reproduktionsbedingungen zusätzlich durch eine Zunahme der Sommer- und Hitzetage, so dass sich die bislang beobachteten Prozesse der Artenzunahme bis zur Mitte des Jahrhunderts vermutlich in gleicher Weise fortsetzen werden. Auch wenn viele Totholzkäfer vom Klimawandel profitieren und die Naturwaldzellen nachweislich ihre Refugialfunktion erfüllen, bleibt die anthropogen bedingte Gefährdungssituation vieler Totholzkäferarten unverändert, so dass ein Nachlassen bei Schutz- und Fördermaßnahmen nicht angezeigt ist.

Summary

Climate-induced changes in the saproxylic beetle fauna (Coleoptera) of the northern Rhineland – Analyses of the total fauna based on repeated studies in selected natural forests.

Changes in the beetle fauna

In 1998, a checklist of the beetles of Germany with confirmed records of 6,498 species was published. The project was continued by evaluating 866 publications and numerous unpublished records, yielding 4,070 first records for the 18 German regions and 2,620 status changes for individual beetle species. At the end of 2009, the total number of beetle species in Germany has risen to 6,620.

Most of the newly recorded beetle species (72 species) are South European-Mediterranean elements, followed by adventive species (26) from other zoogeographic regions, and by Central European species (19). South European species were previously represented in the Central European fauna by 36 %, but make up 64 % of the newly

recorded species. Ecologically, species living in unforested habitats and in decaying matter, as well as epigeic species are overrepresented among the new records. The number of saproxylic beetle species in Germany has increased from 1,384 in 1998 to 1,413 at the end of 2009. Mediterranean and thermophilous lignicolous species are overrepresented among the new records, suggesting a relation between climate warming and an expansion of distribution ranges.

In the past decade, no other ecological guild has been studied as thoroughly as the saproxylic beetles. As a result, the number of forest species and xylobionts is disproportionately high among the thousands of new records in the 18 regions. Among this group of species, the increase in xylo-detricolous and polyporicolous beetles – indicators of mature forests – is higher than that of other guilds. In less well studied regions, mainly species of small or very small body size were recorded, so that the average body size of the saproxylic fauna has become more similar between

regions. This suggests that the species inventory of saproxylic beetles is near completion in all German regions.

With 1,036 new regional records and an increase of 8 %, South European-Mediterranean species are predominant among saproxylic beetles. Their diversity continuously decreases from south to north. However, an analysis of the data revealed that pronounced migration takes place particularly along the Rhine and Elbe rivers, which explains that the increase of southern faunal elements in northern and central Germany is up to 20 % higher than the expected level.

For the Rhineland, two catalogues were published in 1911 and 1968, the former including 3,489 and the latter 4,276 species. After three subsequent supplements, this figure increased to 4,545 species. In the following years additional records were published, so that today the presence of 4,857 species has been confirmed. Thus, six dates with concrete species numbers are available for an analysis. A linear increase in species numbers since 1911 can be observed for all ecological guilds, but a statistically significant correlation between time and species number was found only for aquatic and for saproxylic species.

From a biogeographic perspective, significant correlations were observed only for Mediterranean and Central European species. The latter can be explained by the fact that the Rhineland is situated at the northwestern limit of the range of beech forests, whose fauna has reached the region from the southeast. Mediterranean and Central European beetle species are overrepresented among the recent additions to the total beetle fauna, while the proportion of North European-Siberian and West European-Atlantic beetles is decreasing continuously.

Since 1911, 352 species of saproxylic beetles were newly recorded from the Rhineland. For these species, the year of the first record in the southern and northern Rhineland, as well as possible causes of the new records were assessed. 136 species (40 %) can be assumed to have newly immigrated into the region. The first records of 183 species can be attributed to methodical, those of 123 species to taxonomic causes, and those of 179 species to rarity or recently discovered relict populations (combinations possible). In order to distinguish between forest-related and climatic causes, the adventive species were separated into inhabitants of coniferous forests (72 species) and of deciduous forests (64 species).

Among the adventive species, the inhabitants of coniferous forests showed no significant saturation effects, whereas a statistically highly significant linear and a significant logarithmic trend was found for the increase of the species of deciduous forests. Based on these trends, between 102 and 150 new species of saproxylic beetles can be expected for the whole Rhineland, and between 56 and 84 species for the North-Rhine region. 153 Mediterranean hardwood species are currently known from Germany which have not been recorded from the Rhineland.

With an error margin of 5 %, the immigration of hardwood species into the Rhineland in the past century is correlated with the climate warming in Germany. Assuming a sufficiently high number of potential immigrants, the following projections were calculated for the upcoming 50 years: should the average annual temperature increase by 1.5 °C above the preindustrial level, 110 additional expansive saproxylic species can be expected for the whole Rhineland and 63 for the northern Rhineland, an increase of 2.5 °C would result in 155 additional species for the whole Rhineland and 82 for the Northrhine region.

Repeated studies in natural forests

In order to assess local climate change effects, the saproxylic beetle fauna of previously studied natural forests in Nordrhein-Westfalen was reanalysed in 2009. Three reserves in the south of the state were selected, which, 20 years ago, were studied for the first time with various trapping methods (flight intercept traps, glue rings, etc.) and manual methods (beating branches, sifting, etc.). In order to compare the respective one-year studies, the applied combination of methods, as well as the size of the samples were standardised.

In order to assess the changes in the populations of the saproxylic beetle species, the data from two-year studies in natural forests in Rheinland-Pfalz, in which a similar combination of methods was used, were analysed. For all the plots, an expected total species number was calculated based on the available data. Subsequently, the probabilities for every possible combination of record numbers in the first and second study year were calculated, so that new records, increases or decreases, and extinctions can be attributed to error margins of 1, 5, or 10 %.

In the 19.9 ha beech forest reserve „Altwald Ville“ near Erftstadt, a reserve since 1978, 79 samples were taken in 2009, using ten sampling methods. A total of 44,872 beetles in 824 species were recorded. Thus, the species number recorded in the first study increased by 282 species and is now at 1,071 species, 573 of them forest species and 374 xylobionts. The standardised survey yielded increases of 8 % for all saproxylic species communities and 17 % for fungicolous species due to the immigration of new species of fungi.

Extinct saproxylic species were not recorded at a significant or highly significant level. However, species whose host trees at the forest margin had been cut were not found. While declining population densities were observed for only few species, increasing densities were recorded for numerous species. 43 species have newly immigrated into the forest at a probability level of more than 90 %. For 27 additional species, which were represented in the samples only by single specimens, immigration can be assumed. Among the new species, there are the first record of *Dirhagus lepidus* from the northern Rhineland, as well as the natural forest relicts *Aeletes atomarius*, *Pediacus dermestoides*, and *Corticeus fasciatus*. The presence of

Allecula rhenana, which reproduces in hollow beech trees, was confirmed.

In the 18.5 ha natural forest reserve „Worringer Bruch“, a paludal forest near Köln and a reserve since 1980, 58 samples were taken in 2009, using nine sampling methods. In all, 59,046 beetles belonging to 715 species were recorded. Thus, the species number recorded in the first study (647) increased by 313 species and is now at 960 species, among them 412 forest and 285 saproxylic species. A considerable proportion of the recorded beetles are eurytopic or hygrophilous species. The standardised comparison of the two studies revealed different trends for the saproxylic species communities. The number of lignicolous and corticolous species was reduced by 4 %, owing to a reduction of standing dead wood, whereas the number of beetles inhabiting rotten wood and fungi increased by 11 and 15 %, respectively, as a result of a greater supply of decaying wood and of the immigration of new species of fungi.

Only one saproxylic beetle species (*Phloeocharis subtilissima*) is likely to have gone extinct at a probability level of > 95 %. The loss of five additional species (> 90 %) can be attributed to floods and a change in the supply of dead wood. A reduced population density was observed for only very few species, whereas higher densities were found for numerous species, particularly species inhabiting rotten wood and fungi. 21 species have newly immigrated into the reserve at a probability level of > 90 %, and for 25 additional species immigration can be assumed. The presence of *Xyletinus fibyensis* in the northern Rhineland is confirmed for the first time.

In the 7.2 ha natural forest reserve „Lindenberger Wald“, an old-oak-hornbeam forest near Jülich and a reserve since 1983, 70 samples were taken using eight sampling methods. In all, 50,124 beetles belonging to 523 species were recorded. The species inventory had comprised 586 species in 1991 and risen by 191 to 777 species in 2009. Most of the species (499) are forest species, among them 333 saproxylic species. The standardised comparison revealed remarkably different trends for the species communities: the number of corticolous species dropped by 6 %, due the absence of dead trees in early stages of decay, the number of fungicolous species had increased by 13 % and that of the lignicolous and rotten-wood species by 38 and 36 %, respectively, owing to the ample supply of dead oak and hornbeam trees in later stages of decay.

Extinct saproxylic species at high or very high probability levels were not observed, and the loss of only one species (*Placusa atrata*) at the > 90 % probability level was recorded. A density reduction was found for only few species, among them a North-European fungicolous species (*Acrulia inflata*) at a probability level of > 95 %. At a probability level of > 90 %, the densities of 33 species had increased and 44 species had newly immigrated into the reserve. For 17 additional species, which were represented in the samples only by single specimens, immigration

can be assumed. The remarkable presence of *Abraeus parvulus*, *Teredus cylindricus*, and *Tetratoma desmaresti* was confirmed in the 2009 survey; the previous record of *Anitys rubens*, however, which was based on a single specimen, was not repeated. The expansive natural forest relicts *Aeletes atomarius* and *Pediacus dermestoides* were newly recorded.

A pooled analysis for all three reserves, from which a total of 476 saproxylic beetles species is known today, revealed that only very few species have gone extinct or have suffered density reductions, which are generally a result of changes in the supply of dead wood. Only in one case (*Acrulia inflata*, Lindenberg), a statistically highly significant reduction was recorded that is probably a result of climate warming; the species has a North European-Siberian distribution. Three additional northern species have gone extinct at a probability level of > 90 %. Only one species (*Phloeocharis subtilissima*) that suffered considerable density reduction or had gone extinct in all three reserves was recorded. Up to today, this rove beetle species has been regarded as widespread and very common. In all three reserves, numerous new species and species with increasing densities were observed.

A projection of the standard program for the total fauna of the natural forest reserves yields a species loss of one to nine species per reserve and an increase between 55 and 95 species. Thus, the relative increase of the past 20 years is between 24 and 27 %. A separate analysis of the expansive hardwood species revealed an immigration of 26 to 41 species (11-15 %) due to climate change. Thus, the impact of climate change and the effects of changes in the supply of dead wood are of a similar magnitude. From an ecological perspective, the most significant climate-induced immigration rates were observed for the lignicolous, corticolous, and fungicolous species. Higher numbers of the species inhabiting rotten wood, in contrast, are to a much lesser extent based on expansive species. Rare and endangered species are clearly overrepresented among the newly recorded species. Their increase is equally a result of climate effects and of changes in the supply of dead wood.

Since most tree species show positive reactions to the expected climate changes in the forest simulations for Nordrhein-Westfalen, the upcoming decades will probably see a continuous increase in the length of the vegetation period and more rapid tree growth in the natural forest reserves. The conditions for the expansion and reproduction of saproxylic beetles will additionally benefit from an increase of summer and hot days, suggesting that the observed trends of increased species numbers will continue up to the middle of the century. Even if many saproxylic beetles benefit from the climate change and although the natural forest reserves serve as refuges for these species, the threatened status of many species of saproxylic beetles remains unchanged, so that protection and conservation efforts will be as crucial in the future as they are today.