Tuexenia 34: 89–106. Göttingen 2014.
doi: 10.14471/2014.34.007, available online at www.tuexenia.de

Naturwaldreservatsforschung in Bayern – Auswertung von Vegetationsdaten zur waldökologischen Dauerbeobachtung

Strict forest nature reserves research in Bavaria - analysis of vegetation data for ecological long-term observation

Helge Walentowski[1,*], Thomas Kudernatsch[1], Anton Fischer[2] & Jörg Ewald[3]

[1]Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Abt. Biodiversität, Naturschutz, Jagd, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising, Helge.Walentowski@lwf.bayern.de; Thomas.Kudernatsch@lwf.bayern.de; [2]Geobotanik, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising, A.Fischer@wzw.tum.de; [3]Fakultät Wald und Forstwirtschaft, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3, 85354 Freising, Joerg.Ewald@hswt.de
**Korrespondierender Autor*

Zusammenfassung

Ein im Jahr 2012 in Bayern verabschiedetes Naturwaldreservats-Forschungskonzept weist 26 der insgesamt 159 Reservate als Schwerpunktreservate für die künftige Dauerbeobachtung aus. 2013 wurden in vier der 26 Schwerpunktreservate erste Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Alle Probeflächen liegen innerhalb von 1 ha großen Repräsentationsflächen der Schwerpunktreservate und umfassen jeweils 6 Probekreise mit einem Radius von 10 m (314 m^2). Der Kreismittelpunkt wurde fest vermarkt; auf jedem der Probekreise wurde eine pflanzensoziologische Aufnahme nach BRAUN-BLANQUET (1964) angefertigt.

Das Konzept des geplanten Langzeit-Monitorings der Waldbestände wird vorgestellt, Auswertungswege werden skizziert und an Hand der ersten in 2013 erhobenen Daten erläutert. Da die erhobenen Daten räumlich stark autokorreliert sind, wurden sie in einen für die Waldfläche Bayerns repräsentativen Referenzdatensatz eingehängt. Dieser besteht aus von EWALD (2009) für die pnV-Einstufung an 313 Probepunkten der nationalen Bodenzustandserhebung (BZE II) im 8 x 8 km-Grundraster definierten Partneraufnahmen in den jeweils nächstgelegenen Naturwaldreservaten. Mittels Entzerrter Korrespondenzanalyse (DCA) wurden Aufnahme-Verteilungsmuster ermittelt. Der Referenzdatensatz ermöglichte eine objektive Waldgesellschafts-Zuordnung jeder Vegetationsaufnahme, indem die größte floristische Übereinstimmung zu einer Referenzaufnahme errechnet wurde. Die weitere Charakterisierung erfolgte anschließend über pflanzensoziologische Tabellenarbeit.

Die in je zwei Naturwaldreservaten im Hügelland Nord- und Südbayerns neu erhobenen Daten beinhalten Buchenwälder auf Kalk- (*Hordelymo-Fagetum*) und Silikatstandorten (*Galio-* und *Luzulo-Fagetum*), Hangmischwälder (*Adoxo-Aceretum*) und Auwälder (*Pruno-Fraxinetum*, *Querco-Ulmetum*). Der vorherrschende Nährstoff- und Basengradient entspricht dem floristischen Hauptgefälle im gesamtbayerischen Referenzdatensatz. Ebenso wurde ein Gefälle von Wärmezeigern auf der 2. Achse in beiden Datensätzen (Referenzdatensatz und neu erhobene Daten) abgebildet. Im Falle der neu erhobenen Daten erscheint das Temperaturgefälle allerdings als Pseudo-Effekt, der durch Nadelholzanbau (mit-)verursacht ist. Die Möglichkeiten der Datenauswertung werden in den nächsten zwei Jahrzehnten sukzessive ansteigen. In dem bis 2022 vollständig erstinventarisierten Gesamtset der 26 Schwerpunktreservate wird künftig die Beobachtung der Dynamik innerhalb der Buchenwälder ebenso möglich sein wie im Randbereich sowie jenseits der Höhen-, Trocken- oder Nässegrenze der Buche.

Manuskript eingereicht am 24. Dezember 2013, angenommen am 24. März 2014
Koordinierender Editor: Florian Jansen

Abstract

A recent research concept prioritises 26 out of Bavaria's 159 strict forest nature reserves for long-term observation. In 2013 the first permanent plot sample for ecological studies was established in four of the priority reserves. A total of 24 circular 314 m² vegetation plots were located within the large (1 ha) permanent core areas of six priority reserves.

The concept for long-term observation of natural forests is presented, pathways of analysis are outlined and exemplified on the basis of the 2013 vegetation data. Because plots are inevitably spatially autocorrelated, they were coupled with a representative reference from the whole of Bavaria. The latter data set comprises 313 plots in strict forest nature reserves which were selected to represent the potential natural vegetation of plots in the 8 x 8 km grid of the "Forest Soil Condition Survey" (BZE II; EWALD 2009). Detrended Correspondence Analysis (DCA) was used to detect gradients of species composition and corresponding plot groupings. Thus, the newly collected plots were classified independently and impartially on the base of their floristic similarity to reference vegetation types. The subsequent characterisation of vegetation types was performed by ordering phytosociological tables.

The newly collected data comprise beech forests on limestone (*Hordelymo-Fagetum*) and on siliceous substrates (*Galio-* and *Luzulo-Fagetum*), as well as mixed forests of unstable hillsides (*Adoxo-Aceretum*) and riverine forests (*Pruno-Fraxinetum, Querco-Ulmetum*). Post-hoc correlation with Ellenberg indicator values suggested soil reaction and nutrient availability as putative drivers of species turnover along the first axis; species turnover along the second axis was apparently caused by a temperature gradient. While these correlations are congruent between ordinations of the newly collected and the reference data set, the temperature gradient (featuring low Ellenberg temperature values) in the new plots appears as a pseudo-effect due to cultivated conifers. Opportunities for data analysis will gradually increase within the next two decades, and, with the data set of the 26 priority reserves completed, the long-term observation of vegetation dynamics in beech forests as well as at the temperature- and moisture-induced margins of beech distribution will become pivotal.

Keywords: monitoring, permanent plots, phytodiversity, reference data, temperate deciduous forests

1. Einleitung

Die bis zu 35 Jahre lang unbewirtschafteten „Naturwälder" der bayerischen Naturwaldreservate stellen wichtige Referenzflächen zur Beobachtung der Walddynamik und zudem wertvolle Lernflächen für eine am Naturpotenzial orientierte Waldbewirtschaftung außerhalb der Reservate dar. Mit dem „*Konzept zur Dauerbeobachtung und Forschung in den Naturwaldreservaten in Bayern*" der LWF vom 23.02.2012 soll die Basis für eine Langzeit-Analyse der Waldentwicklung ohne direkten Eingriff des Menschen gelegt werden. Dazu wurden 26 repräsentative Schwerpunktreservate ausgewählt (Abb. 1).

Für vertiefende Untersuchungen werden in diesen Reservaten auf sogenannten Repräsentationsflächen waldkundliche und waldökologische Aufnahmen durchgeführt. Eine Repräsentationsfläche ist in der Regel eine 1 ha große Fläche (100 x 100 m), deren vier Eckpunkte dauerhaft vermarkt sind. Durch Zäunung der Repräsentationsflächen soll der Einfluss von Schalenwild weitgehend ausgeschlossen werden. Ziel der waldökologischen Schwerpunktuntersuchungen ist es, die Entwicklung der Artenzusammensetzung in natürlichen Waldbeständen im Zeitverlauf und in Interaktion zur Bestandesentwicklung zu beobachten. Dabei werden ausgewählte waldrelevante Artengruppen erfasst, für die ein hoher ökologischer Kenntnisstand vorliegt und die eine gute Indikatorfunktion im Hinblick auf verschiedene Waldfunktionen bzw. -eigenschaften besitzen: (1) Gefäßpflanzen, bodenbesiedelnde Moose und Flechten; (2) ephiphytische Flechten, (3) holzbesiedelnde Pilze, (4) Laufkäfer, (5) xylobionte Käfer, (6) Vögel und (7) Landschnecken. Zusätzlich finden waldkundliche Erhebun-

gen statt. Die Biodiversitätserhebungen erfolgen mit einem auf die jeweilige Artengruppe angepassten Aufnahmeverfahren, welches soweit als möglich in das vorhandene Basisstichprobenraster der Betriebsinventur bzw. in die Repräsentationsflächen eingehängt wird.

Der Vorteil des neuen Konzeptes liegt darin, dass die Biodiversitätserhebungen räumlich und zeitlich synchronisiert stattfinden und die Ergebnisse der jeweiligen Artengruppen deshalb unmittelbar zueinander in Bezug gesetzt werden können. Die Erfassungen sind reproduzierbar und sollen in einem 10- bis 20-Jahresturnus wiederholt werden (Dauerbeobachtung mit echten Zeitreihen). Auch können sie mit bereits seit vielen Jahren vorliegenden Reihen von Waldstrukturdaten verknüpft werden. Weitere Vorzüge der Repräsentationsflächen sind reduzierter Verbissdruck durch Zäunung, exakte Erhebung von prägenden Bestandsparametern (Messungen aller Einzelbäume auf der Fläche) und minimierte Randeffekte (ALBRECHT 1990). Lediglich für die Artengruppe der Vögel wird die Aufnahme mit einer Rasterkartierung im Anhalt an die Betriebsinventur auf der gesamten Naturwaldreservats-Fläche durchgeführt. Eine weitgehende Konzentration der Forschung auf Repräsentationsflächen erfolgt z. B. auch in Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und in Flandern (EUROPEAN COMMISSION 2000, Blaschke schriftl. Mitteilung). Anders als in Hessen, Mecklenburg-Vorpommern oder Brandenburg, sieht das Bayerische Konzept allerdings keine ungezäunten Vergleichsflächen im Reservat vor und auch keine gleichzeitige Erfassung einer weiterhin bewirtschafteten Vergleichsfläche im Wirtschaftswald vor (MEYER 2013).

Innerhalb dieser Möglichkeiten und Grenzen erfolgte im Jahr 2013 in vier Schwerpunktreservaten eine Ersterfassung der Waldgesellschaften nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964). In dieser Ersterfassung sind bereits einige im Forschungskonzept als besonders relevant erachtete Waldtypen beinhaltet: (1) Buchenwaldgesellschaften (auf Kalk/Silikat) im Hügelland in Nord- und Südbayern, (2) Wälder mit einer nicht der natürlichen Vegetation entsprechenden Ausgangsbestockung, (3) Wälder auf Sonderstandorten (Hangwald, Auwald).

Im Zuge der geobotanischen Ersterfassung wurden folgende Ziele verfolgt: (A) Typisierung der Waldgesellschaften (Arteninventar, pflanzensoziologische Typisierung, ökologische Artengruppen, forstlicher Standort). (B) Vegetationsökologische Vergleiche zwischen den Aufnahmeplots: Was sind die wichtigsten Einflussfaktoren für Unterschiede in den Artenzusammensetzungen? Wie unterscheiden sich die Artenzahlen und was sind die wichtigsten Ursachen? (C) Beispielhafte Auswertung im Kontext mit Biodiversitäts-Indikatoren anderer Artengruppen.

Hier wird das Forschungskonzept vorgestellt, und an Hand der ersten erhobenen Daten werden Auswertungswege beispielhaft dargestellt.

2. Untersuchungsgebiet

Die 159 bayerischen Naturwaldreservate sind soweit wie möglich gleichmäßig über Bayern verteilt und decken eine große Spanne der natürlichen Waldgesellschaften ab (Abb. 1). Aus Abbildung 1 geht auch die Lage der insgesamt 26 Schwerpunktreservate sowie die Lage der vier hier behandelten Schwerpunktreservate Turmkopf, Dreiangel, Wildacker und Schlossberg hervor. Tabelle 1 charakterisiert die vier Reservate aus geographischer und standörtlicher Sicht.

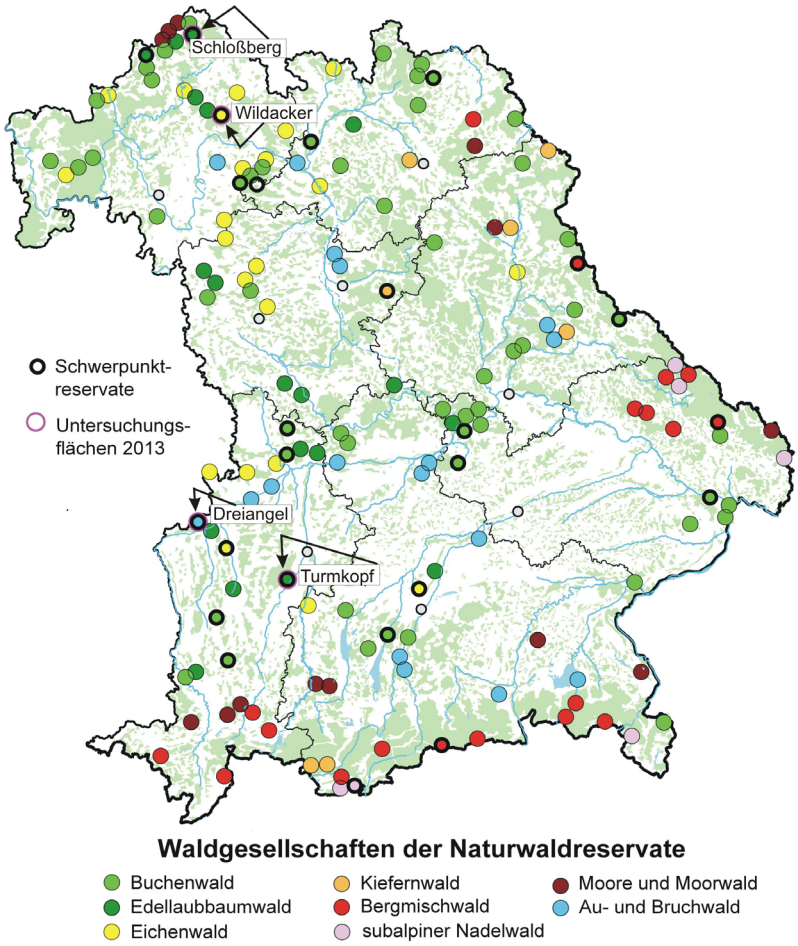


Abb. 1. Lage der 159 Naturwaldreservate Bayerns mit Indikation der jeweils dominierenden Waldgesellschaft. Die 26 ausgewählten Schwerpunktreservate (fetter Umriss) und die vier untersuchten Reservate (Pfeile) sind hervorgehoben.

Fig. 1. Location of 159 strict forest nature reserves in Bavaria classified by prevalent the forest type. 26 priority reserves for long-term observation (bold outline) and the four reserves investigated in 2013 (arrows) are highlighted.

3. Methoden

3.1 Stichprobenverfahren

In jedem Schwerpunktreservat wurden auf der jeweiligen Repräsentationsfläche sechs vegetationskundliche Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet, die in einen landesweiten Referenzdatensatz eingehängt wurden (vgl. 3.4). Die Lage der Dauerbeobachtungsflächen orientiert sich an sechs bereits im Vorfeld der Untersuchungen festgelegten, im Gelände markierten und mit GPS eingemessenen Inventurpunkten. Diese systematisch mittels eines Gitternetzrasters über die Repräsentationsfläche verteilten Inventurpunkte stellen die Mittelpunkte von Probekreisen dar, die der Durchführung verschiedener waldökologischer Aufnahmen dienen.

Tabelle 1. Steckbriefe der in 2013 untersuchten Naturwaldreservate (Schwerpunktreservate für Dauerbeobachtung).

Table 1. Short description of the four strict forest nature reserves (priority reserves for long-term observation) investigated in 2013.

Naturwaldreservat (NWR)	NWR 39 Dreiangel	NWR 141 Turmkopf	NWR 135 Wildacker	NWR 123 Schlossberg
Jahr der Ausweisung	1978	1991	1978	1978
Aktuelle Fläche (ha)	16,7	14,4	16,4	27,4
Wuchsgebiet	Tertiäres Hügelland	Tertiäres Hügelland	Fränkische Platte	Rhön
Wuchsbezirk	Donauried - [B.78.1]	Mittelschwäbisches Schotterriedel- und Hügelland - [B.78.2]	Nördliche Fränkische Platte - [B.62.1]	Höhe Rhön - [B.51.3]
Naturräumliche Großlandschaft	Donau-Iller-Lech-Platten - [D64]	Donau-Iller-Lech-Platten - [D64]	Mainfränkische Platten - [D56]	Osthessisches Bergland, Vogelberg u. Rhön - [D47]
Vorherrschende Vegetation	Traubenkirschen-Eschen-Feuchtwälder kalkhaltiger und sehr nährstoffreicher Standorte	arme Hainsimsen-Buchenwälder der Hochfläche, reiche Ahorn-Eschen-Hangmischwälder der Talflanken	Waldgersten-Buchenwälder im Unterboden basenreich-kalkhaltiger, im Oberboden verarmter Standorte	edellaubbaumreiche Waldgersten-Buchenwälder basen- und nährstoffreicher Standorte
Höhe von bis (m ü.NN)	453–454	538–580	335–360	560–660
Höhenstufe	kollin-submontan	submontan	kollin-submontan	paenemontan
Mittl. Jahrestemperatur (°C)	8,1	7,8	8,2	6,5–6,9
Mittl. Temperatur Vegetationsperiode (°C)	15,1	14,7	15	13,5–13,8
Mittl. Jahresniederschlag (mm)	727	881	690	850
Mittl. Niederschlag Vegetationsperiode (mm)	390	486	310	420
Geologie	Holozän	Pleistozän, Tertiär	Oberer Muschelkalk	Tertiär
Vorherrschender Bodentyp	Auenböden	Braunerde, Hanggley	Braunerde-Rendzina	Basalt-Braunerden

3.2 Pflanzensoziologische Dokumentation

Jeder vermarkte Inventurpunkt stellt den Mittelpunkt einer kreisförmigen pflanzensoziologischen Aufnahme dar. Der Radius des Aufnahmekreises beträgt 10 Meter, was einer Probeflächengröße von 314 m² entspricht. Die Aufnahmeflächengröße erfüllt so die Anforderungen an die Minimumfläche für Waldgesellschaften (DIERSCHKE 1994, FISCHER 2003). Im Aufnahmekopf wurden die folgenden Parameter festgehalten: Name des Naturwaldreservates, Bearbeiter, Datum, Inventurpunkt-Nummer, Rechts-/Hochwert, Höhe ü. NN, Geländeform, Exposition, Neigung, Normalaufnahme/Geophytenaufnahme, Angaben zu Schichtdeckungen.

Alle im Probekreis vorkommenden Arten von Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten wurden bestimmt und aufgelistet. Die Mengenschätzung erfolgte gemäß der auf der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) aufbauenden, verfeinerten Schätzskala nach WILMANNS (1998). Die Skala wurde gewählt, um eine Vergleichbarkeit der neu gefertigten Aufnahmen mit älteren Naturwaldreservatsaufnahmen zu gewährleisten. Die Deckung ist die nicht-kumulative Horizontalprojektion der oberirdischen Organe auf die Aufnahmefläche.

Nicht aufgenommen wurden Arten, die auf erkennbaren Sondersubstraten wie Totholz, Stubben und Wurzelanläufen wachsen. Im Zweifel wurden Sondersubstrate auf ihre Bedeckung mit Humus geprüft. Mit mehr als 2 cm Feinhumus bedeckte Sondersubstrate zählten zum Waldboden (vgl. EWALD & FISCHER 1993). Die Erfassung der Vegetation erfolgte nach Vegetationsschichten getrennt (vgl. Tab. 2). Je nach Organisationsform (verholzte/nicht verholzte Gefäßpflanzen, Moose, Flechten), Wuchshöhe und Dominanz im Kronenraum wurde jede im Probekreis vorkommende Pflanzenart einer oder mehreren Schichten zugeordnet. Für jede „Schichtart“ wurde die Schichtdeckung als nicht-kumulative Horizontalprojektion aller beteiligten Arten in 5 %-Schritten geschätzt.

Tabelle. 2. Definition der Vegetationsschichten.

Table. 2. Definition of vegetation layers (tree, shrub, herb, bryophyte).

B1 (1. Baumschicht)	obere Baumschicht (Gehölze mit mindestens 5 m Wuchshöhe)*
B2 (2. Baumschicht)	untere Baumschicht (Gehölze mit mindestens 5 m Wuchshöhe, die jedoch maximal zwei Drittel der Oberhöhe der B1 erreichen)*
S (Strauchschicht)	Gehölze von 1 bis 5 m Höhe*
K (Krautschicht)	alle am Boden wachsenden Gefäßpflanzen einschließlich Gehölze <1 m
M (Moosschicht)	am Boden wachsende Laubmoose, Lebermoose und Flechten

*Klimm- und Kletterpflanzen wie *Clematis vitalba* und *Hedera helix* werden nach denselben Kriterien wie andere Gehölze zugeordnet.

3.3 Nomenklatur

Die Nomenklatur der wissenschaftlichen Pflanzennamen richtet sich nach den Standardlisten von WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998; für Gefäßpflanzen), KOPERSKI et al. (2000; für Moose) und SCHOLZ (2000; für Flechten), die der Pflanzengesellschaften nach RENNWALD (2000). Die Nomenklatur der xylobionten Käferarten richtet sich nach KÖHLER & KLAUSNITZER (1998). Eine Ausnahme bildet *Orchestes fagi*, dessen Nomenklatur dem neuesten umfassenden Werk über Rüsselkäfer (RHEINHEIMER & HASSLER 2013) folgt.

3.4 Auswertung des neuen Datensatzes im Rahmen eines Referenz-Datensatzes aus Naturwaldreservaten ganz Bayerns

Um eine Vergleichs-Stichprobe für die neuen Aufnahmen zu erhalten, wurde ein Referenz-Datensatz abgefragt. Dieser bestand aus 313 Vegetationsaufnahmen, die von Ewald (2009) als sog. „Naturwaldreservats-Partneraufnahmen“ zu den Vegetationsaufnahmen an den Probepunkten der Bodenzustandserhebung (BZE; systematische Zufallsstichprobe auf einem 8 x 8 km-Grundraster) erfasst worden waren (Tab. 3). Dabei wurde basierend auf den Lage-Koordinaten der Rasterpunkte und der potenziellen natürlichen Vegetation (pnV) jedem BZE-Punkt eine Partneraufnahme gleicher pnV aus einem möglichst nahe gelegenen Naturwaldreservat (maximale Entfernung 60 km) zugeordnet. Unter mehreren gleichwertigen Aufnahmen entschieden Zufallszahlen über die Auswahl, wobei jede Naturwaldreservats-Aufnahme nur einmal ausgewählt wurde. Damit kann der nach pflanzensoziologischen Kriterien klassifizierte Datensatz als annähernd flächenrepräsentativ für die bayerischen Waldflächen gelten.

Tabelle 3. Häufigkeitsverteilung der potentiellen natürlichen Waldgesellschaften im flächenrepräsentativen Referenzdatensatz aus 313 Naturwaldreservats-Partneraufnahmen der BZE-Punkte in Bayern; Nomenklatur nach RENNWALD (2000); *n* = Anzahl der Aufnahmen. In der Spalte „Gruppe" wurden die Verbände in Klammern gesetzt, wenn die Assoziation einem anderen Verband zugeordnet, aus Gründen der Übersichtlichkeit jedoch in dieser Gruppe subsummiert wird.

Table 3. Frequency distribution of potential natural vegetation types in an area-representative reference data set of 313 plot sites from natural forest of the German Forest Soil Condition Survey (BZE II) and their twin plots from strict forest nature reserves. In the column `Gruppe´ (= group) the alliance was set in brackets, if the association is rather assigned to another alliance, but was subsumed to the listed group for reasons of simplicity.

Vegetationstyp	Gruppe	*n*
Carici elongatae-Alnetum glutinosae	*(Alno-Ulmion minoris)*	3
Circaeo-Alnetum glutinosae	*Alno-Ulmion minoris*	4
Pruno-Fraxinetum	*Alno-Ulmion minoris*	2
Carici remotae-Fraxinetum	*Alno-Ulmion minoris*	1
Alnetum incanae	*Alno-Ulmion minoris*	1
Querco-Ulmetum	*Alno-Ulmion minoris*	2
Adoxo-Aceretum	*Tilio platyphylli-Acerion pseudoplatani*	6
Galio-Carpinetum	*Carpinion betuli*	8
Stellario-Carpinetum	*Carpinion betuli*	7
Carici-Fagetum	*Fagion sylvaticae*	1
Hordelymo-Fagetum	*Fagion sylvaticae*	34
Aposerido-Fagetum	*Fagion sylvaticae*	30
Pyrolo-Abietetum	*Fagion sylvaticae*	1
Galio odorati-Fagetum, kollin-submontane Höhenform	*Fagion sylvaticae*	30
Galio odorati-Fagetum, montane Höhenform	*Fagion sylvaticae*	6
Luzulo-Fagetum	*Luzulo-Fagion*	154
Luzulo-Fagetum, montane Höhenform	*Luzulo-Fagion*	8
Calamagrostio villosae-Fagetum	*(Luzulo-Fagion)*	6
Adenostylo glabrae-Piceetum	*Piceion abietis*	1
Bazzanio-Piceetum	*Piceion abietis*	4
Calamagrostio villosae-Piceetum	*Piceion abietis*	2
Vaccinio-Pinetum rotundatae	*(Piceion abietis)*	2

Die 313 Referenzaufnahmen und die 24 neu erhobenen Aufnahmen wurden in einen gemeinsamen Datensatz überführt. Artvorkommen in verschiedenen Schichten wurden zusammengefasst, indem die jeweils maximale Artdeckung verwendet wurde. Für alle Aufnahmen wurden Gesamtartenzahl sowie mittlere ungewichtete Ellenberg-Zeigerwerte für Licht, Temperatur, Kontinentalität, Feuchte, Reaktion und Nährstoffe berechnet (ELLENBERG et al. 2001). Die Aufnahmematrix wurde wurzeltransformiert. Es wurde eine Entzerrte Korrespondenzanalyse (DCA) mit Geringergewichtung seltener Arten und Entzerrung nach 26 Segmenten berechnet. Die erste DCA-Achse hatte eine Gradientenlänge von 5,762. Schließlich wurde eine Matrix aller paarweisen Sørensen-Distanzen berechnet, aus der anschließend für jede neue Aufnahme die ähnlichste Referenzaufnahme ausgewählt wurde. Aus der Ähnlichkeit zu Referenzaufnahmen wurde ein Klassifikationsvorschlag abgeleitet.

Nach der Zuordnung der neu erhobenen Aufnahmen zu Vegetationstypen des Referenzdatensatzes erfolgte eine Kalibrierung mittels pflanzensoziologischer Tabellenarbeit nach dem u. a. bei DIERSCHKE (1994) und FISCHER (2003) beschriebenen Verfahren. Die Benennung der Syntaxa (Subassoziationen, Varianten) erfolgte in Anlehnung an die bei OBERDORFER (1992) präsentierten Übersichtstabellen. Für die ermittelten Differentialartenblöcke wurde post hoc die Zugehörigkeit der Arten zu ökologischen

Artengruppen (EWALD 2007, WALENTOWSKI et al. 2013,) angegeben (Tab. 8 als Beilage). Mittels einer DCA wurde zunächst die Gradientenlänge der Datensätze ermittelt. Diese betrug > 3 Standardabweichungen (SD). Für die weiteren Ordinationen wurde ein unimodales Modell zugrundegelegt. Die Gradienten wurden allein aus der Artenzusammensetzung berechnet, stellen also ein floristisches Gefälle dar. Um Anhaltspunkte zu erhalten, wie dieser Artenwechsel zwischen den Aufnahmen ökologisch interpretiert werden könnte, wurden als passive Größen post hoc die Ordinationsachsen mit den ungewichteten Ellenberg-Zeigerwerte (vgl. DURWEN 1982, 1983, BÖCKER et al. 1983, KOWARIK & SEIDLING 1989) korreliert. Zusammen mit den PEARSON-Korrelationswerten erhält man somit Vorstellungen über die Richtung und die Stärke der Auswirkungen unterschiedlicher Umweltvariablen auf die Artenzusammensetzung der Aufnahmen. Wie von ZELENÝ & SCHAFFERS (2012) vorgeschlagen, wurde auf eine Signifikanzprüfung dieser Beziehungen verzichtet, da aus der Artenzusammensetzung abgeleitete Variablen grundsätzlich nicht unabhängig voneinander sind. Die Auswertungsroutine steht ab sofort für die weiteren vegetationskundlichen Analysen der Schwerpunktreservate zur Verfügung. Sämtliche multivariaten Analyseverfahren wurden mittels der Software PC-ORD (MC CUNE & MEFFORD 2011) durchgeführt.

4. Die ersten Schwerpunktreservate im Spektrum naturnaher Wälder Bayerns

4.1 Pflanzensoziologische und standörtliche Struktur

Im Ordinationsraum sind die Vegetationstypengruppen und die durch zahlreiche Aufnahmen vertretenen Waldgesellschaften des mittleren Bereichs ziemlich klar abgegrenzt. Die an Verbänden orientierten Gesellschaftsgruppen differenzieren sich im DCA-Diagramm ziemlich deutlich (Abb. 2).

Bei der post-hoc-Korrelation der Ellenberg-Zeigerwerte mit den DCA-Achsen wird deutlich, dass die Achse 1 einen pH-Gradienten darstellt (R); in ähnliche Richtung liegt ein Gradient der Stickstoffverfügbarkeit (N) vor. Achse 2 erscheint in erster Linie als Gefälle von Wärmezeigern, gegenläufig nehmen Arten mit östlicher Verbreitung nach unten zu.

Tabelle 4 zeigt die Zuordnung der neu erhobenen Aufnahmen zu Vegetationstypen des Referenzdatensatzes. Die Aufnahmen aus Naturwaldreservat 123 Schlossberg werden sämtlich dem *Hordelymo-Fagetum* zugeordnet. Dasselbe gilt, mit Ausnahme der Aufnahme 12 (*Galio odorati-Fagetum*) für Naturwaldreservat 135 Wildacker. Die Aufnahmen in Naturwaldreservat 141 Turmkopf gehören mehrheitlich zum *Luzulo-Fagetum*, die Aufnahmen 14 und 16 zum *Adoxo-Aceretum*. Die Aufnahmen aus Naturwaldreservat 39 Dreiangel werden mit einer Ausnahme dem *Pruno-Fraxinetum*, lediglich Nr. 16 dem *Querco-Ulmetum* zugeordnet.

4.2 Vegetationsökologische Vergleiche zwischen den untersuchten Reservaten

4.2.1 Artenzusammensetzung

Das Streudiagramm der Aufnahmewerte der DCA (Abb. 3) bildet die Ähnlichkeitsmuster der angefertigten Vegetationsaufnahmen ab. Es wurden zwei Achsen maximaler Streuung aufgespannt. Der floristische Gradient entlang der 1. Achse reicht von Edellaubbaum-dominierten Hangmisch- und Auwäldern (*Pruno-Fraxinetum, Adoxo-Aceretum*) auf feuchten, basen- und stickstoffgesättigten Alluvionen/Kolluvien bis hin zu den Moderhumus-Buchenwäldern mit phasenweisem Wassermangel und versauerten und basenverarmten Oberböden (*Luzulo-Fagetum caricetosum brizoidis*). Im Zentrum des Ordinationsraumes

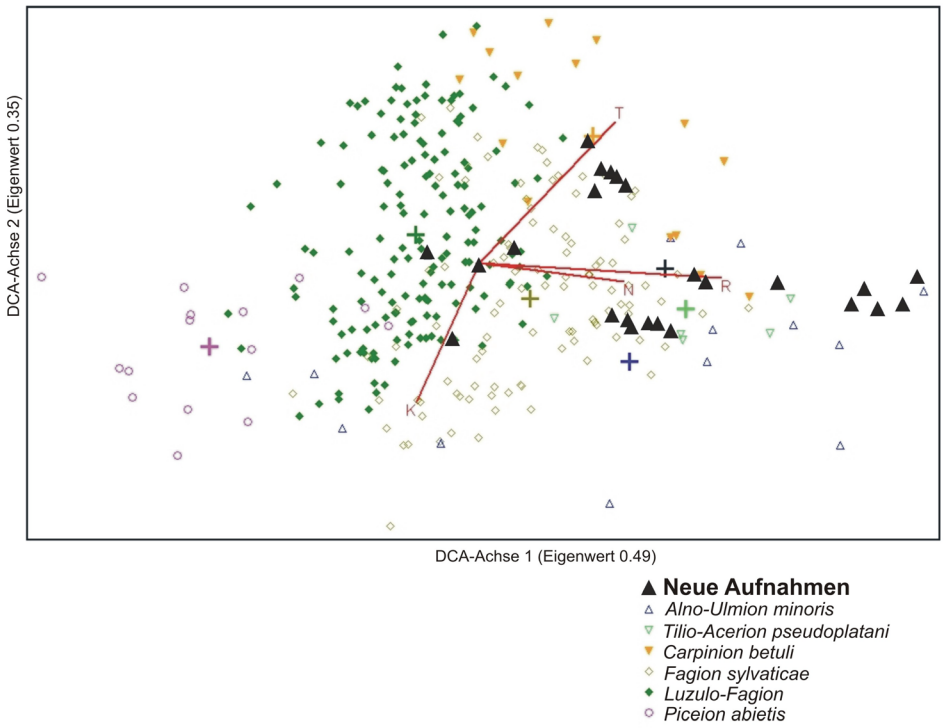


Abb. 2. Differenzierung der 313 Naturwaldreservats-Partneraufnahmen einschließlich ihrer Zuordnung (Expertenwissen) zu Verbänden, zusammen mit den neu erhobenen Aufnahmen (schwarze Dreiecke) in der DCA-Ordination; die großen Kreuze markieren den rechnerischen Schwerpunkt (Zentroid) der von den zugehörigen Aufnahmen eines Verbandes gebildeten Punktwolke; rote Vektoren zeigen post-hoc-Korrelation der mittleren Ellenberg-Zeigerwerte für Temperatur (T), Kontinentalität (K), Reaktion (R und Nährstoffe (N) mit den DCA-Achsen; Gradientenlängen Achse 1: 5,762 SD, Achse 2: 3,276 SD (Standardabweichungs-Einheiten).

Fig. 2. Projection of 313 twin plots from strict forest nature reserves and their expert-based assignment to alliances, combined with the permanent plots sampled in 2013 in DCA-ordination space (black triangles); bold crosses denote centroids of plots belonging to alliances; red vectors show after-the-fact correlation of mean Ellenberg values for temperature (T), continentality (K), soil reaction (R) and nutrients (N) with DCA axes; length of gradients axis 1: 5.762 SD, axis 2: 3.276 SD (standard deviation units).

wird bezeichnenderweise ein Waldtyp abgebildet, der trophisch zwischen den reichsten und den ärmeren Standorten vermittelt und floristisch zu den edellaubbaumreichen Hangmischwäldern (*Tilio platyphylli-Acerion pseudoplatani*) überleitet (*Hordelymo-Fagetum tilietosum platyphylli*).

Die DCA mit 120 Arten aus 24 Aufnahmen ergibt Eigenwerte von 0,45 für die erste und 0,30 für die zweite Achse (Abb. 3). Die Gradientenlänge von 3,1 Standardabweichungs-Einheiten (SD für *standard deviation*) und dem damit verbundenen Artenwechsel der ersten Achse, der 46 % der Variation im Ordinationsraum erklärt (Tab. 5), ergibt sich dem Anschein nach vorrangig durch abnehmenden Nährstoff- und Basenreichtum (Tab. 6).

Tabelle 4. Zuordnung der neu erhobenen Aufnahmen zu Vegetationstypen des Referenzdatensatzes; minimale floristische Distanz zu Referenzaufnahmen grün markiert.

Table 4. Assignment of permanent plots sampled in 2013 to vegetation types of the reference dataset; minimum distance in floristic composition to reference plots highlighted in green.

neue Aufnahmen	Adenostylo-Piceetum	Adoxo-Aceretum	Alnetum incanae	Aposerido-Fagetum	Bazzanio-Piceetum	Bazzanio-Piceetum	Calamagrostio-Fagetum	Carici-Alnetum	Carici-Fraxinetum	Circaeo-Alnetum	Galio-Fagetum, kollin-submontane Höhenform	Galio-Fagetum, montane Höhenform	Galio-Carpinetum	Hordelymo-Fagetum	Luzulo-Fagetum	Luzulo-Fagetum, montane Höhenform	Pruno-Fraxinetum	Pyrolo-Abietetum	Querco-Ulmetum	Stellario-Carpinetum	Vaccinio-Pinetum	minimale Distanz
123_91	0,99	0,71	1,00	0,59	1,00	0,91	0,78	0,96	0,85	0,95	0,55	0,67	0,78	0,44	0,67	0,79	0,85	0,67	0,93	0,71	1,00	0,44
123_92	0,99	0,61	0,99	0,60	1,00	0,88	0,78	0,96	0,78	0,94	0,59	0,65	0,81	0,52	0,72	0,78	0,86	0,62	0,85	0,70	0,99	0,52
123_93	0,99	0,74	1,00	0,57	1,00	0,89	0,76	0,97	0,87	0,92	0,49	0,67	0,77	0,43	0,63	0,75	0,84	0,70	0,95	0,79	0,99	0,43
123_94	0,99	0,56	0,96	0,62	1,00	0,91	0,82	0,97	0,74	0,96	0,66	0,69	0,79	0,53	0,77	0,82	0,84	0,61	0,84	0,67	0,99	0,53
123_95	0,99	0,61	0,97	0,60	1,00	0,88	0,78	0,97	0,75	0,95	0,60	0,68	0,81	0,52	0,75	0,80	0,86	0,63	0,87	0,69	0,99	0,52
123_96	1,00	0,62	1,00	0,57	1,00	0,91	0,80	0,97	0,78	0,96	0,61	0,66	0,79	0,51	0,73	0,80	0,87	0,65	0,86	0,60	0,99	0,51
135_11	0,98	0,73	1,00	0,61	1,00	0,96	0,76	1,00	0,88	0,98	0,57	0,68	0,71	0,46	0,58	0,75	0,87	0,85	0,96	0,65	1,00	0,46
135_12	1,00	0,66	1,00	0,68	1,00	1,00	0,81	1,00	0,88	0,98	0,48	0,67	0,68	0,51	0,61	0,80	0,85	0,85	0,87	0,56	1,00	0,48
135_13	1,00	0,69	1,00	0,61	1,00	0,98	0,79	0,98	0,86	0,98	0,52	0,65	0,68	0,48	0,53	0,74	0,88	0,87	0,94	0,52	1,00	0,48
135_14	0,98	0,68	0,97	0,68	1,00	0,98	0,80	1,00	0,88	0,98	0,52	0,68	0,67	0,48	0,60	0,80	0,86	0,86	0,93	0,56	1,00	0,48
135_15	1,00	0,71	1,00	0,67	1,00	0,99	0,80	1,00	0,89	0,98	0,62	0,68	0,71	0,49	0,63	0,79	0,84	0,87	0,92	0,59	1,00	0,49
135_16	1,00	0,70	1,00	0,65	1,00	0,98	0,82	1,00	0,91	1,00	0,60	0,74	0,70	0,49	0,62	0,79	0,91	0,84	0,96	0,59	1,00	0,49
141_11	0,88	0,69	0,95	0,50	0,80	0,78	0,59	0,94	0,82	0,73	0,46	0,46	0,75	0,59	0,40	0,53	0,96	0,76	0,96	0,70	0,92	0,40
141_12	0,83	0,67	0,94	0,52	0,88	0,83	0,58	0,93	0,82	0,78	0,43	0,42	0,77	0,57	0,41	0,54	0,89	0,79	0,93	0,65	0,92	0,41
141_13	0,81	0,73	0,95	0,55	0,81	0,76	0,54	0,86	0,83	0,67	0,58	0,50	0,83	0,68	0,37	0,51	0,87	0,71	0,96	0,74	0,90	0,37
141_14	1,00	0,48	0,92	0,58	0,99	0,95	0,85	0,83	0,71	0,88	0,51	0,68	0,78	0,56	0,76	0,84	0,57	0,85	0,64	0,64	1,00	0,48
141_15	0,95	0,73	0,98	0,42	0,97	0,89	0,65	0,95	0,78	0,91	0,35	0,43	0,83	0,39	0,30	0,54	0,94	0,80	0,93	0,68	0,98	0,30
141_16	1,00	0,48	0,94	0,68	0,98	0,97	0,91	0,82	0,74	0,85	0,57	0,70	0,72	0,66	0,81	0,88	0,60	0,87	0,58	0,65	1,00	0,48
39_11	1,00	0,84	1,00	0,73	1,00		0,94	0,98	0,79	1,00	0,85	0,80	0,71	0,78	0,96	0,94	0,64		0,68	0,83	1,00	0,64
39_12	1,00	0,85	0,97	0,81	1,00		0,96	0,98	0,84	0,99	0,87	0,84	0,75	0,77	0,98	0,96	0,73		0,76	0,84	1,00	0,73
39_13	1,00	0,76	1,00	0,70	1,00		0,82	0,99	0,76	1,00	0,76	0,70	0,73	0,69	0,81	0,83	0,66		0,70	0,77	1,00	0,66
39_14	1,00	0,83	0,96	0,81	1,00		0,96	0,95	0,84	0,99	0,89	0,83	0,82	0,80	0,98	0,94	0,61		0,71	0,86	1,00	0,61
39_15	1,00	0,77	0,97	0,86	1,00		0,96	0,96	0,83	0,99	0,88	0,90	0,79	0,76	0,98	0,96	0,67		0,75	0,80	1,00	0,67
39_16	1,00	0,82	0,96	0,89	1,00		1,00	0,96	0,91	1,00	0,89	0,93	0,85	0,80	0,98	1,00	0,68		0,68	0,86	1,00	0,68

Entlang der zweiten Achse (Gradientenlänge 3,0 SD), die zusätzlich 13 % der Variation im Ordinationsraum erklärt (kumulativ mit Achse 1 = 59 %; Tab. 5), vollzieht sich ein Artenwechsel von den Auwäldern des Donauriedes und den Platterbsen-Buchenwäldern der Fränkischen Platte bis hin zu den Ahorn-Eschen-Hangmischwäldern und Seegras-Buchenwäldern des Tertiären Hügellandes. Die zweite Achse scheint neben der Basenversorgung (Ellenberg-Reaktionszahl) auch in einem starken Zusammenhang mit einem Klimagradienten zu stehen, der sich durch einen hohen Korrelationskoeffizienten mit den Ellenberg-Temperaturzahlen (Gefälle von Wärmezeigern) ausdrückt (Tab. 6).

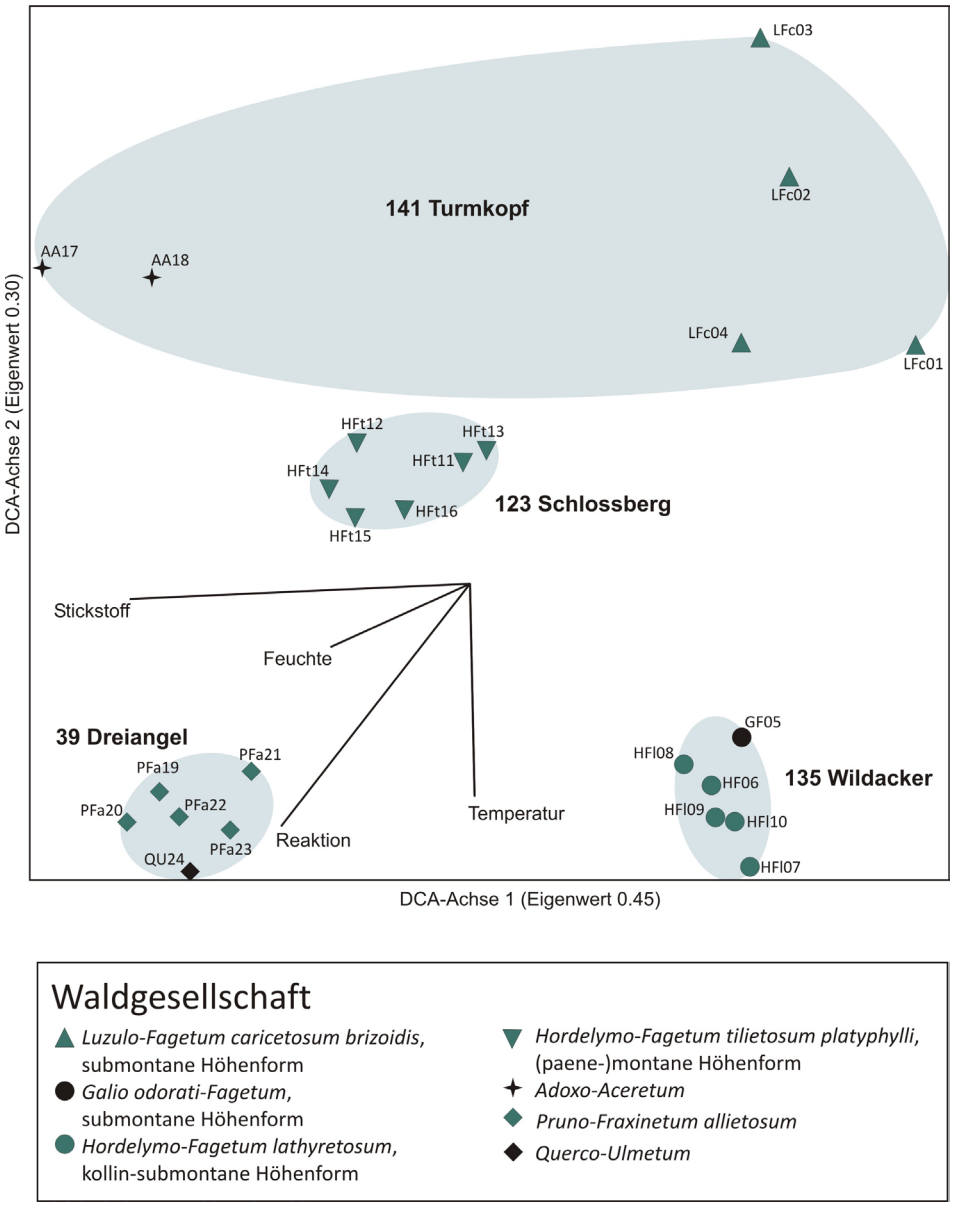


Abb. 3. DCA-Ordination der 2013 erstmals aufgenommen Dauerflächen in Schwerpunktreservaten; Zeigerwerte für Temperatur, Feuchte, Reaktion und Stickstoff als passive Größen ohne Einfluss auf die Berechnung verwendet; Gradientenlängen Achse 1: 3,129 SD, Achse 2: 3,007 SD (Standardabweichungs-Einheiten).

Fig. 3. DCA ordination of plots recorded in 2013 in the strict forest nature reserves of Dreiangel, Schlossberg, Wildacker and Turmkopf; mean Ellenberg values for temperature, soil moisture, soil reaction and nutrients used as passive variables not affecting plot scores; length of gradients axis 1: 3.129 SD, axis 2: 3.007 SD (standard deviation units).

Tabelle 5. Bestimmtheitsmaß (r^2) der Regression zwischen relativer euklidischer Distanz im Ordinationsraum und Sørensen-Distanz im ursprünglichen floristischen Datensatz (MCCUNE & GRACE 2002).

Table 5. Coefficient of determination (r^2) of the regression between relative Euclidean distance in ordination space and Sørensen-distance original floristic space (MCCUNE & GRACE 2002).

Achse	r^2	kumulatives r^2
1	0,461	0,461
2	0,128	0,590
3	0,097	0,688

Tabelle 6. Pearson-Korrelation (r) der mittleren Ellenberg-Zeigerwerte der Aufnahmen mit der ersten und zweiten Achse der DCA.

Table 6. Pearson-Correlation (r) of Ellenberg Indicator values and species number of plots with DCA-axis 1 and 2.

	DCA-Achse 1	DCA-Achse 2
Artenzahl	0,038	0,130
Ellenberg-Lichtzahl	0,089	0,073
Ellenberg-Temperaturzahl	0,012	0,486
Ellenberg-Kontinentalitätszahl	0,024	0,174
Ellenberg-Feuchtezahl	0,319	0,145
Ellenberg-Reaktionszahl	0,432	0,555
Ellenberg-Stickstoffzahl	0,779	0,035

Inwieweit die Artengruppierungen entlang der zweiten Achse tatsächlich mit dem Umweltfaktor Temperatur in Beziehung steht, wird im Folgenden auf Basis der in GAUER & ALDINGER (2005) angegebenen Daten aus der Klima-Normalperiode 1961–1990 überprüft. In Abbildung 4 ist der thermische Gradient aus dem Verhältnis von Winterkälte zu Jahresmitteltemperatur aufgetragen, der Gradient der hygrischen Kontinentalität aus dem Verhältnis von Jahresniederschlag zu Meereshöhe. Als Index wird der Kontinentalitätswinkel nach GAMS (1931/32) verwendet, welcher sich als Arkustangens des Quotienten aus Seehöhe und Jahresniederschlag errechnet. Darüber hinaus wird als Maß für die Humidität der von ELLENBERG (1982) vorgeschlagene Quotient aus der Julitemperatur und dem Jahresniederschlag gewählt.

Das Reservat Wildacker (135) auf der Fränkischen Platte erscheint danach am wintermildesten und wärmsten. Danach folgt Naturwaldreservat 39 (Dreiangel; Donauried). Etwas subkontinentalere Einflüsse, indiziert durch steilere Kontinentalitätswinkel, weisen die Naturwaldreservate 141 (Turmkopf; Mittelschwäbisches Hügelland) und 123 (Schloßberg; Hohe Rhön) auf. Am kältesten erscheint das Naturwaldreservat Schloßberg, das die niedrigsten Jahresmitteltemperaturen, die niedrigste Wintertemperaturen und die höchste Kontinentalität aufweist (Abb. 4). Dieselbe Reihung ergibt sich aus dem Ellenberg-Wärme-/Trockenheitsindex (EQ = Quotient aus dem Temperaturmittel des wärmsten Monats [Juli] x 1000 und den mittleren Jahresniederschlägen): Die Reservate 135 und 39 lägen mit EQ = 26 mitten im Bereich des (warmen) submontanen Buchenwaldes mit Eichen, Reservat 141 an der Grenze, und Reservat 123 liegt mit EQ = 18 im Bereich des (kühlen) montanen Buchenwaldes (10–20).

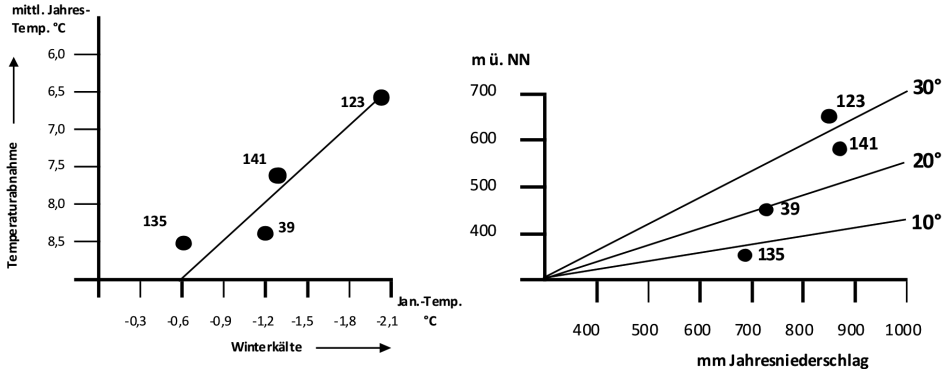


Abb. 4. Klimatische Position der untersuchten Naturwaldreservate hinsichtlich des kältesten Monats und der Jahresmitteltemperatur (links) sowie des Kontinentalitätswinkels nach GAMS (1931/32; rechts).

Fig. 4. Climatic position of the investigated strict forest nature reserves regarding temperature (January vs. year) and continentality angle (precipitation-elevation; GAMS 1931/32).

Eine in enger Beziehung zur Temperatur stehende 2. Achse im Streudiagramm der Aufnahmewerte der DCA (Abb. 3, Tab. 6) müsste somit eigentlich zwischen dem sommerwarm-wintermilden submontanen Platterbsen-Buchenwald der Fränkischen Platte (Reservat 135 Wildacker) und dem durch ein raues Gebirgsklima geprägten montanen Zwiebelzahnwurz-Buchenwald des Reservats Schloßberg in der Hohen Rhön (Reservat 123) aufgespannt werden. Dies ist aber nicht der Fall. Der Artenwechsel entlang der 2. Achse steht also offenbar in Beziehung mit einem weiteren, als Pseudo-Temperaturgradienten zu bezeichnenden Umweltfaktor. Interpretierbar wird dieser Faktor erst, wenn man das Streudiagramm der Artwerte der DCA betrachtet (Abb. 5). Die für die Positionierung des submontanen Hainsimsen-Buchenwaldes mit Seegras-Segge im Tertiären Hügelland (Reservat 141 Turmkopf) verantwortlichen Arten, nämlich die Fichte, die Europäische und die Japanische Lärche sowie die Wald-Kiefer, gehören nicht zur natürlichen Waldgesellschaft, sondern wurden forstlich eingebracht. Nadelholzanbau und Bewirtschaftung haben nitrophile Arten (*Rubus fruticosus, Sambucus racemosa, Galeopsis* spec.), säurezeigende Farne (*Dryopteris carthusiana, Athyrium filix-femina*) und Moose (*Dicranella heteromalla, Herzogiella seligeri*) in der Bodenvegetation begünstigt oder nach sich gezogen (vgl. EWALD 2009). Der am Achsenende der 2. Achse positionierte Laub-Nadel-Mischwald ist demnach neben Reaktion und Temperatur durch den Einflussfaktor Nutzungsüberpragung zu erklären. Das Reservat 141 wurde erst 1991 ausgewiesen und aus der Nutzung genommen.

4.2.2 Artenzahlen

Die Artenzahlen (pro Aufnahme) schwanken zwischen 12 und 41 (Tab. 7). Die höchsten Durchschnittswerte finden sich im *Hordelymo-Fagetum tilietosum platyphylli* (durchschnittlich 36 Arten je Aufnahme), wobei hier neben Gefäßpflanzen auch Moosarten eine große Rolle spielen. Die im Durchschnitt niedrigsten Artenzahlen weist mit 19 Arten das *Luzulo-Fagetum caricetosum brizoidis* auf.

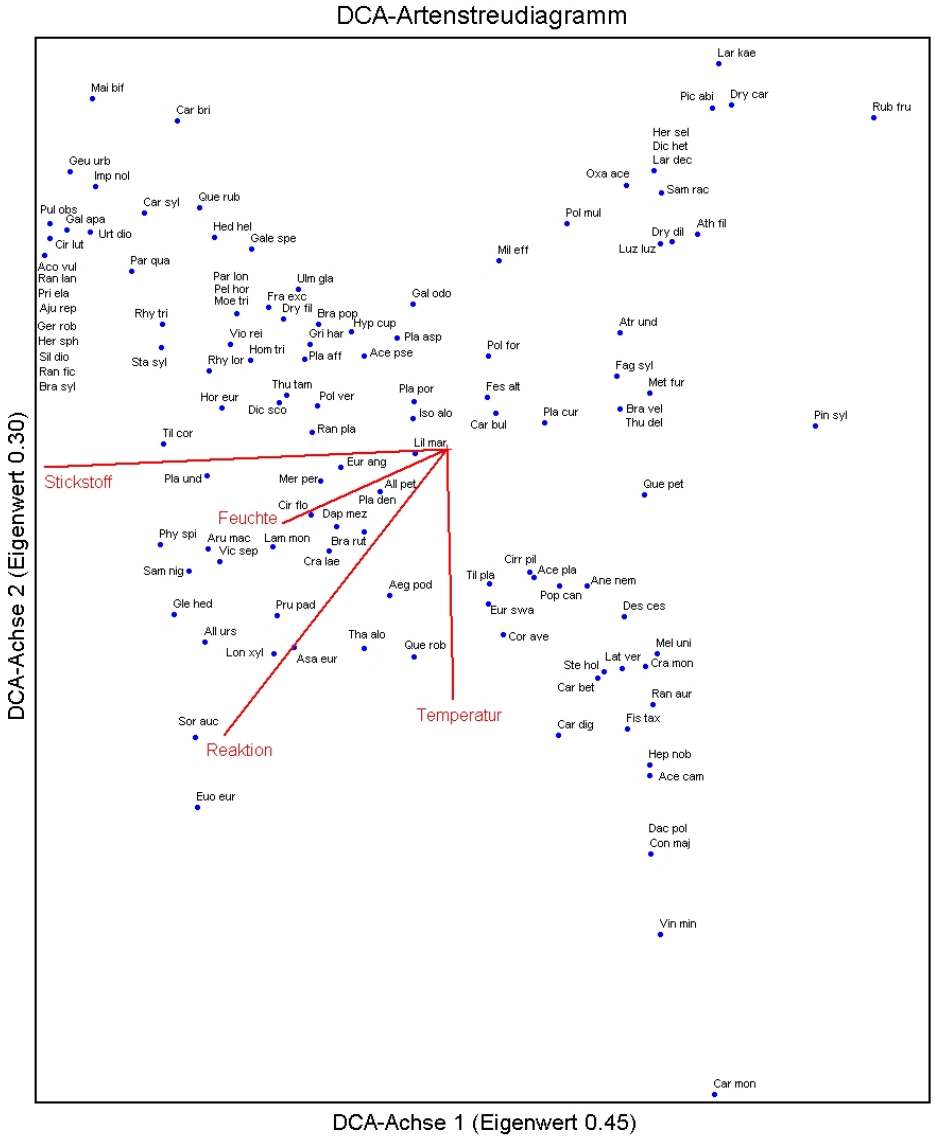


Abb. 5. Arten-Ordination (DCA) der 2013 untersuchten Schwerpunkt-Naturwaldreservate Dreiangel, Schlossberg, Wildacker und Turmkopf.

Fig. 5. DCA species ordination of the strict forest nature reserves of Dreiangel, Schlossberg, Wildacker and Turmkopf.

Die Zusammenhänge zwischen Artenzahlen und Ellenberg-Zeigerwerten sind insgesamt nicht sehr deutlich ausgeprägt. Die engste Korrelation ergibt sich mit der Feuchtezahl (abnehmende Artenzahl mit zunehmender Bodenfeuchte; r^2 = 0,36). Die nur schwach ausgeprägten Zusammenhänge deuten darauf hin, dass die Artenzahlen offenbar durch einen Faktor gesteuert werden, der in den mittleren Ellenberg-Zeigerwerten nicht zum Ausdruck

Tabelle. 7. Artenzahlen (Gefäßpflanzen und bodenbewohnende Moose) in den durch mindestens zwei Vegetationsaufnahmen belegten Waldgesellschaften.

Table. 7. Species richness (vascular plants and epigeic mosses) of vegetation types with a minimum representation of two plots.

Waldgesellschaft	Anzahl Aufnahmen	Mittelwert	Minimum	Maximum
Hordelymo-Fagetum lathyretosum	4	23	17	27
Hordelymo-Fagetum tilietosum	6	**36**	33	**40**
Luzulo-Fagetum caricetosum brizoidis	4	19	16	25
Pruno-Fraxinetum allietosum	5	17	12	21
Adoxo-Aceretum typicum	2	**35**	28	**41**

kommt: der kleinstandörtlichen Vielfalt. So werden die höchsten Artenzahlen auf kleinstandörtlich inhomogenen Block-Lehm-Böden in Hanglage (*Hordelymo-Fagetum tilietosum platyphylli*) und Unterhang-Hangfuß-Situationen (*Adoxo-Aceretum typicum*) festgestellt, wodurch auch die enge Korrelation zwischen Artenzahl und Hangneigung (r^2 = 0,73) erklärt werden kann (zum Vergleich: die hinsichtlich der kleinstandörtlichen Situation homogeneren Aufnahmeflächen des *Hordelmyo-Fagetum lathyretosum*, des *Luzulo-Fagetum caricetosum brizoidis* und des *Adoxo-Aceretum allietosum* sind alle durch eine mehr oder minder ebene Lage gekennzeichnet). Dass die kleinstandörtliche Vielfalt im vorliegenden Datensatz eine treibende Kraft für die Artenvielfalt der Waldbodenvegetation ist, kommt auch in der Korrelation zwischen Artenzahl und Standardabweichung der Ellenberg-Reaktionszahlen (r^2 = 0,40) zum Ausdruck. Je größer die Variabilität der bodenchemischen Verhältnisse (und damit als indirektes Maß die Streuung der Reaktionszahlen), desto größer ist die Artenvielfalt.

4.2.3 Vergleiche zu anderen Artengruppen, Beispiel xylobionte Käfer

Interessant sind Zusammenhänge der geobotanischen Befunde mit anderen indikatorisch relevanten Artengruppen. Als erstes Schlaglicht seien hier die in 2013 von Dr. H. Bußler an denselben Aufnahmepunkten erhobenen xylobionten Käferarten herausgegriffen. Besonders artenreich an xylobionten Käfern war die Probefläche des Reservats Nr.135 Wildacker, da hier Laubbaumtradition, Baumartenvielfalt (kalkhaltige Böden, ehemaliger Stockausschlagwald) und Klimagunst (warm, wintermild; vgl. Abb. 4) zusammentreffen. Bemerkenswert war darüber hinaus der Nachweis der Urwaldreliktart *Corticeus fasciatus* an *Quercus robur* im Naturwaldreservat Nr. 39 Dreiangel. Das Donautal war einst eine wichtige Migrationsroute für nacheiszeitliche Pflanzen- und Tierwanderungen und bietet Wärme und Laubbaumtradition. Die Stiel-Eiche war hier über viele Jahrhunderte hinweg Garant für Biotoptradition und Habitatkontinuität, weshalb BAIL (2007) neben der **Urwaldreliktart** *Corticeus fasciatus* im Naturwaldreservat Dreiangel weitere Zeigerarten s.l. für Eichentradition (*Agrilus laticornis, A. obscuricollis*, *A. olivicolor* und *Lymexylon navale*) nachweisen konnte. Reste der Donau-Auwälder gelten als Biodiversitäts-Hotspots für xylobionte Käferarten (BUßLER & MÜLLER 2006, BUßLER 2010, WALENTOWSKI et al. 2010). Charakteristisch ist das häufige Auftreten des Buchen-Springrüsslers (*Orchestes fagi*) in den Probeflächen der Reservate Nr. 141 Turmkopf und Nr. 123 Schloßberg, deren Einbettung in ziemlich niederschlagsreiche submontane bis paenemontane Waldregionen (Tab. 1) eine Buchentradition garantierte. In den Probeflächen der Reservate Nr. 39 Dreiangel (buchenarmes Waldgebiet in der Do-

nauniederung) und Nr. 135 Wildacker (über Jahrhunderte buchenarme ehemalige Stockausschlagwälder der Fränkischen Platte) tritt diese einzige monophage Käferart der Rot-Buche dagegen nur sporadisch auf. Durch Wärmemangel verursacht erscheint das Fehlen der inzwischen in Bayern weit verbreiteten Adventivart *Xyloborus germanus* in der paenemontanen Höhenstufe auf 650 m Meereshöhe gelegenen Probefläche des vergleichsweise kältesten Naturwaldreservates Nr. 123 Schlossberg (Abb. 6). Nach Ergebnissen aus dem Forschungsverbund-Projekt FORKAST, Modul 2 „Ökologischer Höhengradient Naturwaldreservate im Bayerischen Wald“ hat diese ubiquitäre Art eine temperaturgesteuerte Höhen-Verbreitungsgrenze (BUßLER et al. 2010).

5. Diskussion

Die vorliegende Publikation bildet den konzeptionellen und methodischen Rahmen der im Jahr 2013 begonnenen Langzeit-Untersuchungen zur Artenzusammensetzung in naturnahen Wäldern Bayerns, und sie stellt beispielhaft mögliche Auswertungswege dar. Innerhalb der nächsten neun Jahre sollen die Ersterfassungen aller 26 Schwerpunktreservate abgeschlossen sein (Projektphase 1). Nach Abschluss der kompletten Erstinventarisierung aller 26 Schwerpunktreservate in 2022 können sämtliche Befunde aus der geobotanischen Erhebung, der waldkundlichen Inventarisierung und den weiteren Artengruppen verglichen werden. Ab 2023 beginnen die Wiederholungsaufnahmen (zeitliche Replikationen; Projektphase 2). Ab diesem Zeitpunkt können erste Veränderungen innerhalb der Repräsentationsflächen ausgewertet werden. Nach Abschluss des ersten Wiederholungsaufnahme-Turnus im Jahr 2032 können schließlich die Veränderungen der Reservate zueinander in Bezug gesetzt werden. Damit kann das Potenzial des Datensatzes dann komplett genutzt werden.

Die Datenauswertungsmöglichkeiten der in Projektphase 1 im Jahr 2013 durchgeführten Erhebungen sind noch begrenzt. Sehr deutlich wird aber erkennbar, dass die erhobenen 24 Aufnahmen (4 Reservate x 6 Aufnahmeplots je Repräsentationsfläche) erwartungsgemäß stark geclustert sind. Die Aufnahmen innerhalb einer Repräsentationsfläche dürfen nicht als unabhängig voneinander betrachtet werden, da sie eine räumliche Autokorrelation im Hinblick auf die floristische Ähnlichkeit aufweisen. Die räumlich eng benachbarten 6 Vegetationsaufnahmen innerhalb der 1 ha großen Repräsentationsflächen, v. a. wenn diese homogen ist, repräsentieren mehrere Sub-plots einer Aufnahmefläche. Da sich mit den autokorrelierten Daten vorrangig räumliche Cluster ausbilden, wurden die Daten in einen Referenzdatensatz eingehängt, der als annähernd flächenrepräsentativ für die bayerischen Waldflächen gelten kann (EWALD 2009). In diesem Wissen wurden die ersten Daten ausgewertet und interpretiert. Die vorrangige Bedeutung des Nährstoff- und Basengradienten als den wichtigsten, die Artenzusammensetzung bestimmenden Umweltfaktor stehen in vollem Einklang mit dem Ergebnis für den Referenzdatensatz über ganz Bayern. Ebenso wird das Gefälle von Wärmezeigern in beiden Datensätzen (Referenzdatensatz und neu erhobene Daten) abgebildet. Im Falle der neu erhobenen Daten ist das Temperaturgefälle allerdings ein Pseudo-Effekt. Der suggerierte Gradient von einem wintermild-maritimen Laubwaldklima zu kaltkontinentalem Nadelwaldklima war so nicht gegeben, sondern durch Nutzungsüberprägung (Nadelholzanbau) mit verursacht. Auch wenn zum jetzigen Zeitpunkt noch kein umfassender Vergleich von Biodiversitäts-Steuergrößen über verschiedene Artengruppen hinweg möglich ist, wurden die ersten Ziele, nämlich die geobotanische Charakterisierung und die Aufklärung der Beziehung zwischen Phytodiversität, forstlichem Standort und ehemaligen Nutzungseinflüssen erreicht.

6. Schlussfolgerungen

Mit dem neuen Naturwaldreservats-Forschungskonzept wurde ein Grundstein für ein leistbares und systematisches Biodiversitäts-Monitoring in Schwerpunkt-Reservaten gelegt, das wichtige Waldtypen in Bayern abdeckt. Auf Basis der Erstinventarisierungen werden die Möglichkeiten der Datenauswertung in den nächsten zwei Jahrzehnten sukzessive ansteigen. In dem bis 2022 vollständig erstinventarisierten Gesamtset werden künftig die Beobachtung der Dynamik innerhalb der Buchenwälder sowie am standörtlichen Rand und jenseits der Höhen-, Trocken- oder Nässegrenze der Buche von großer Bedeutung sein. Die in 2013 durchgeführten geobotanischen Erhebungen bieten in diesem Kontext einen wichtigen Auftakt zu einer auf ein langfristiges Dauerflächen-Monitoring angelegten Naturwaldforschung.

Danksagung

Für die Anfertigung der Naturwaldreservats-Übersichtskarten und das Beisteuern wichtiger Informationen danken wir ganz herzlich Herrn Markus Blaschke. Herr Dr. Heinz Bußler gab uns wertvolle Informationen zu seinen Befunden aus der Erfassung der xylobionten Käferarten in den Naturwaldreservats-Probeflächen.

Beilagen und Anhänge

Beilage 1. Tabelle 8. Laubwaldgesellschaften aus 24 Aufnahmeflächen in vier Schwerpunkt-Naturwaldreservaten (NWR 39 Dreiangel, 123 Schlossberg, 135 Wildacker, 141 Turmkopf).

Supplement 1. Table 8. Broadleaf forest communities from 24 vegetation plots in four priority reserves (39 Dreiangel, 123 Schlossberg, 135 Wildacker, 141 Turmkopf).

Literatur

ALBRECHT, L. (1990): Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung in Naturwaldreservaten. – Schriftenr. Naturwaldres. Bay. 1: 1–221.

BAIL, J.G. (2007): Arborikole Lebensgemeinschaften xylobionter und phyllophager Käfer (*Coleoptera*) in naturnahen und anthropogen beeinflussten Donau-Auwäldern. – Diss. Univ. Erlangen-Nürnberg: 225 pp. + Anh.

BÖCKER, R., KOWARIK, I. & BORNKAMM, R. (1983): Untersuchungen zur Anwendung der Zeigerwerte nach Ellenberg. – Verh. Ges. Ökol. 11: 35–56.

BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. 3. Aufl. – Springer, Wien: 865 pp.

BUßLER, H. (2010): Hotspot-Gebiete xylobionter Urwaldreliktarten aus dem Reich der Käfer. – LWF aktuell 76: 10–12.

BUßLER, H., BLASCHKE, M. & WALENTOWSKI, H. (2010): Bemerkenswerte xylobionte Käferarten in Naturwaldreservaten des Bayerischen Waldes (*Coleoptera*). – Entomol. Z. 120: 263–268.

BUßLER, H. & MÜLLER, J. (2006): Wir brauchen differenzierte Konzepte im Wald-Naturschutz. – AFZ-Der Wald 4: 174–175.

DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie, Grundlagen und Methoden. – Ulmer, Stuttgart: 683 pp.

DURWEN, K.-J. (1982): Zur Nutzung von Zeigerwerten und artspezifischen Merkmalen der Gefäßpflanzen Mitteleuropas für Zwecke der Landschaftsökologie und -planung mit Hilfe der EDV - Voraussetzungen, Instrumentarien, Methoden und Möglichkeiten. – Arbeitsber. Lehrst. Landschaftsökol. Münster 5: 1–138 + Anh.

DURWEN, K.-J. (1983): Biodindikation im Dienste des Umweltschutzes. – Beitr. Landespflege Rheinl.-Pfalz 9: 133–160.

ELLENBERG, H. (1982): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. 3. Aufl. – Ulmer, Stuttgart: 989 pp.

ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DÜLL, R., WIRTH, V. & WERNER, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3. Aufl. – Scr. Geobot. 18: 1–262.

EUROPEAN COMMISSION (2000): Cost Action E4, Forest reserves research network. – Office for official publications of the European communities, Luxembourg: 377 pp.

EWALD, J. (2007): Beurteilung von Waldstandorten und Waldgesellschaften mit Zeigerarten-Ökogrammen. – Tuexenia 27: 7–18.

EWALD, J. (2009): Bimodale Spektren von Nährstoffzeigerwerten in Bayerns Nadelwäldern. – Forstarchiv 80: 189–194.

EWALD, J. & FISCHER, A. (1993): Montane und hochmontane Waldgesellschaften am nördlichen Abfall der Benediktenwand (Bayerische Kalkalpen). – Hoppea, Denkschr. Regensb. Ges. 54: 191–300.

FISCHER, A. (2003): Forstliche Vegetationskunde: Eine Einführung in die Geobotanik. 3. Aufl. – Ulmer, Stuttgart: 421 pp.

GAMS, H. (1931/32): Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. – Z. Ges. Erdkd. 9/10: 32–68; 1/2: 178–198; 5/6: 321–346.

GAUER, J. & ALDINGER, E. (Eds.) (2005): Waldökologische Naturräume Deutschlands – Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke, mit Karte 1 : 100.000. – Mitt. Ver. Forstl. Standortskunde u. Forstpflanzenzüchtung 43: 1–324.

KÖHLER, F. & KLAUSNITZER, B. (Eds.) (1998): Verzeichnis der Käfer Deutschlands. – Entomol. Nachr. Ber. (Dresden), Beih. 4: 1–185.

KOPERSKI, M., SAUER, M., BRAUN, W. & GRADSTEIN, S.R. (2000): Referenzliste der Moose Deutschlands. – Schriftr. Vegetationskd. 34: 1–519.

KOWARIK, I. & SEIDLING, W. (1989): Zeigerwertberechnungen nach Ellenberg - Zu Problemen und Einschränkungen einer sinnvollen Methode. – Landsch. Stadt 21: 132–143.

MCCUNE, B. & GRACE, J.B. (2002): Analysis of Ecological Communities. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.

MCCUNE, B. & MEFFORD, M.J. (2011): PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.

MEYER, P. (2013): Naturwaldreservate und ihre Erforschung in Deutschland: Erreichtes und Erwartungen. – Schriftenr. Landesforstverw. Nordrh.-Westfal. 23: 124–129.

OBERDORFER, E. (Ed.) (1992): Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil 4: Wälder und Gebüsche. 2. Aufl. – G. Fischer, Jena: 282 pp. (Textband) + 580 pp. (Tabellenband).

RENNWALD, E. (2000): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskd. 35: 1–800.

RHEINHEIMER, M. & HASSLER, J. (2013): Die Rüsselkäfer Baden-Württembergs. 2. Aufl. – Verlag Regionalkultur, Basel: 944 pp.

SCHOLZ, P. (2000): Katalog der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskd. 31: 1–298.

WALENTOWSKI, H., BLASCHKE, M., BUßLER, H. & LAUTERBACH, M. (2010): Hotspots der Biodiversität. – LWF aktuell 76: 7.

WALENTOWSKI, H., EWALD, J., FISCHER, A., KÖLLING, C. & TÜRK, W. (2013): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. Ein auf geobotanischer Grundlage entwickelter Leitfaden für die Praxis in Forstwirtschaft und Naturschutz. 3. Aufl. – Geobotanica, Freising: 441 pp.

WILMANNS, O. (1998): Ökologische Pflanzensoziologie. 6. Aufl. – Quelle & Meyer, Wiesbaden: 405 pp.

WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn-und Blütenpflanzen Deutschlands. – In: HAEUPLER, H. (Ed.): Die Farn-und Blütenpflanzen Deutschlands. – Ulmer, Stuttgart: 765 pp.

ZELENÝ, D. & SCHAFFERS, A.P. (2012): Too good to be true: pitfalls of using mean Ellenberg indicator values in vegetation analyses. – J. Veg. Sci. 23: 419–431.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: NS_34

Autor(en)/Author(s): Walentowski Helge, Kudernatsch Thomas, Fischer Anton, Ewald Jörg

Artikel/Article: Naturwaldreservatsforschung in Bayern - Auswertung von Vegetationsdaten zur waldökologischen Dauerbeobachtung 89-106