

Die wärmeliebenden Waldgesellschaften der Lechleiten zwischen Augsburg und Schongau – Vegetation und Schutz

ANJA VOIGT & JÖRG EWALD

Zusammenfassung: An den Lechleiten zwischen Augsburg und Schongau (Bayern) wurde die Vegetation thermophiler Waldgesellschaften auf 25 GPS-verorteten Flächen mit einer Größe von je 144 m² untersucht. Außerdem wurden an jeder Aufnahme­fläche die Umweltfaktoren pH-Wert, Humusmächtigkeit, Exposition und Hang­neigung gemessen. Die untersuchten Waldgesellschaften setzten sich aus artenreichen Schnee­heide-Kiefern- und Orchideen-Kalkbuchenwäldern zusammen, die fließend ineinander übergehen und sich teilweise sehr nahestehen. Sie besiedeln die steilen, west- bis südwest­exponierten Oberhänge und Hangkanten der Leiten und sind durch hohe pH-Werte gekennzeichnet. Sie beherbergen viele licht- und wärmeliebenden Arten. An den weniger extremen standörtlichen Rändern der Buchenwälder sind Übergänge zu edellaubholzreichen Leitenwäldern zu erkennen. Dort, wo die Böden wegen schon länger zurückliegenden Hangrutschungen weiter entwickelt sind, kann sich die Buche etablieren und unterwandert teilweise die Kiefernwälder. Alle kartierten Vorkommen befinden sich in FFH-Gebieten und stellen schutzwürdige, naturnahe Waldbestände dar. Gefährdungen dieser wärmeliebenden Gesellschaften ergeben sich vor allem durch Nähr- und Stickstoffeinträge aus der Luft und die beeinträchtigte bzw. fehlende Morphodynamik der Hänge durch die Flussverbauung.

Key Words: Lech, thermophilous forests, vegetation, steep slopes

Summary: The vegetation of thermophilous forest communities at steep slopes along the river Lech was examined on 25 GPS-located plots with a size of 144 m² each. In addition, the site factors pH, thickness of humus layer, exposition and slope were measured. The surveyed forests are made up of *Erico-Pinion* and *Cephalanthero-Fagenion* communities, which grade into each other and are partly very similar. They colonise the steep west- to south-west exposed upper slopes and their upper edges and are characterised by high mineral soil pH. They are habitats of many heliophilous and heat-resistant species. Transitions to mesic deciduous woodlands (*Tilio-Acerion*) are present at less extreme beech forest sites. Where soils are more developed due to landslides that have taken place some time ago, beech can establish itself and partially infiltrate the pine forests. All mapped areas are under protection of the EU Habitats Directive and deserve protection as near-natural forest communities. On the long run, these habitats are likely affected by nutrient and nitrogen inputs from the air and impaired or missing morphodynamics of the slopes due to river regulation.

Anschriften der Autoren: Anja Voigt, Am Roggenfeld 10½, 86156 Augsburg; Prof. Jörg Ewald, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Wald und Forstwirtschaft, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3, 85354 Freising; E-Mail: joerg.ewald@hswt.de

1 Einleitung

Naturnahe lichte Wälder bieten Lebensbedingungen für zahlreiche wärmeliebende, oft gefährdete Tier- und Pflanzenarten und rücken zunehmend in den Fokus des Waldnaturschutzes (BOLLMANN 2011, HÖLZEL 2019). Da sich in den Talauen des Lechs bis weit ins Alpenvorland sehr artenreiche Schneeheide-Kiefernwälder finden (MÜLLER 1990), stellte sich die Frage, ob auch an den Steilhängen des Flusses, den sogenannten Leiten thermophile Waldgesellschaften vorkommen. Deshalb befasst sich diese Arbeit mit der Erfassung der wärmeliebenden Waldgesellschaften an den Lechleiten zwischen Schongau und Augsburg und deren Vegetationszusammensetzung, um folgende Fragen zu beantworten:

1. Welche Standortbedingungen herrschen vor?
2. Welche floristisch-vegetationskundlichen Ausbildungen kommen vor?
3. Sind die Wälder gefährdet und warum?

2 Untersuchungsgebiet und Methoden

Das Untersuchungsgebiet (s. Abb. 1) erstreckt sich entlang des Lechs von Schongau bis etwas nördlich von Kaufering und damit durch drei Wuchsbezirke, das Lechfeld (13.1) und das Voralpgäu (13.4) sowie die westliche kalkalpine Jungmoräne (14.4/1) (WALENTOWSKI et al. 2013). Die Aufnahmen erfolgten an den westlich exponierten Hangkanten und steilen Ober- und Mittelhängen östlich des Flusses.

Nördlich von Schongau, wo der Lech die Moränenlandschaft verlässt, bis zu seiner Mündung in die Donau besitzt der Fluss zwei sehr unterschiedliche aufgebaute Ufer (JERZ & MANGELSDORF 1989). Am Westufer erstreckt sich eine reich gegliederte Terrassenlandschaft (DIETZ 1968), das als Leite bezeichnete Ostufer hingegen steigt steil an und bildet bis zu 50 m hohe und instabile Steilhänge (PFEUFFER 2010). Die Lechleite ist im oberen Teil von rifeiszeitlichen Moränesedimenten und Schotter, z. T. als Nagelfluh, aufgebaut (JERZ & MANGELSDORF 1989). Im unteren Teil wurden Sedimente der Oberen Süßwassermolasse abgelagert (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2019).

An den steilen Talhängen sind die Böden verschieden tief entwickelt. An den Hangkanten und Oberhängen finden sich v. a. Roh- und Auflagehumusböden. Die Übersichtsbodenkarte beschreibt den Boden an den steilen Talhängen fast ausschließlich als Syrosem-Rendzina, (Para-)Rendzina und Braunerde aus verschiedenem Ausgangsmaterial (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2019).

Das Klima am Lech zwischen Schongau und Kaufering ist von Norden kommend, im WG 13.1, zunächst subkontinental, in den WGs 13.4 und 14.4/1 dann präalpid (WALENTOWSKI et al. 2013). Die Lage des Lechs ist auf der Temperaturkarte deutlich zu sehen. Die Lufttemperatur in diesem Bereich beträgt im langjährigen Mittel (1971 - 2000) 7,8 bis 7,9 °C, auf den Hochterrassen östlich und westlich des Flusses hingegen liegt dieser Wert mit 7,4 bis 7,7 °C etwas niedriger. Der mittlere Jahresniederschlag zwischen den Jahren 1971 und 2000 nimmt von Kaufering und Landsberg (990 - 1.121 l/qm) in Richtung Alpen bis nach Schongau (1.122 - 1.471 l/qm) zu (HERA et al. 2012).

Allerdings kann sich das Klima am Hang deutlich von dem der Ebene unterscheiden. Dabei spielt vor allem die Exposition eine große Rolle, sie beeinflusst das Mikroklima stärker als die Hangneigung. Dieser Unterschied wirkt sich im Winter, wenn der Sonnenstand

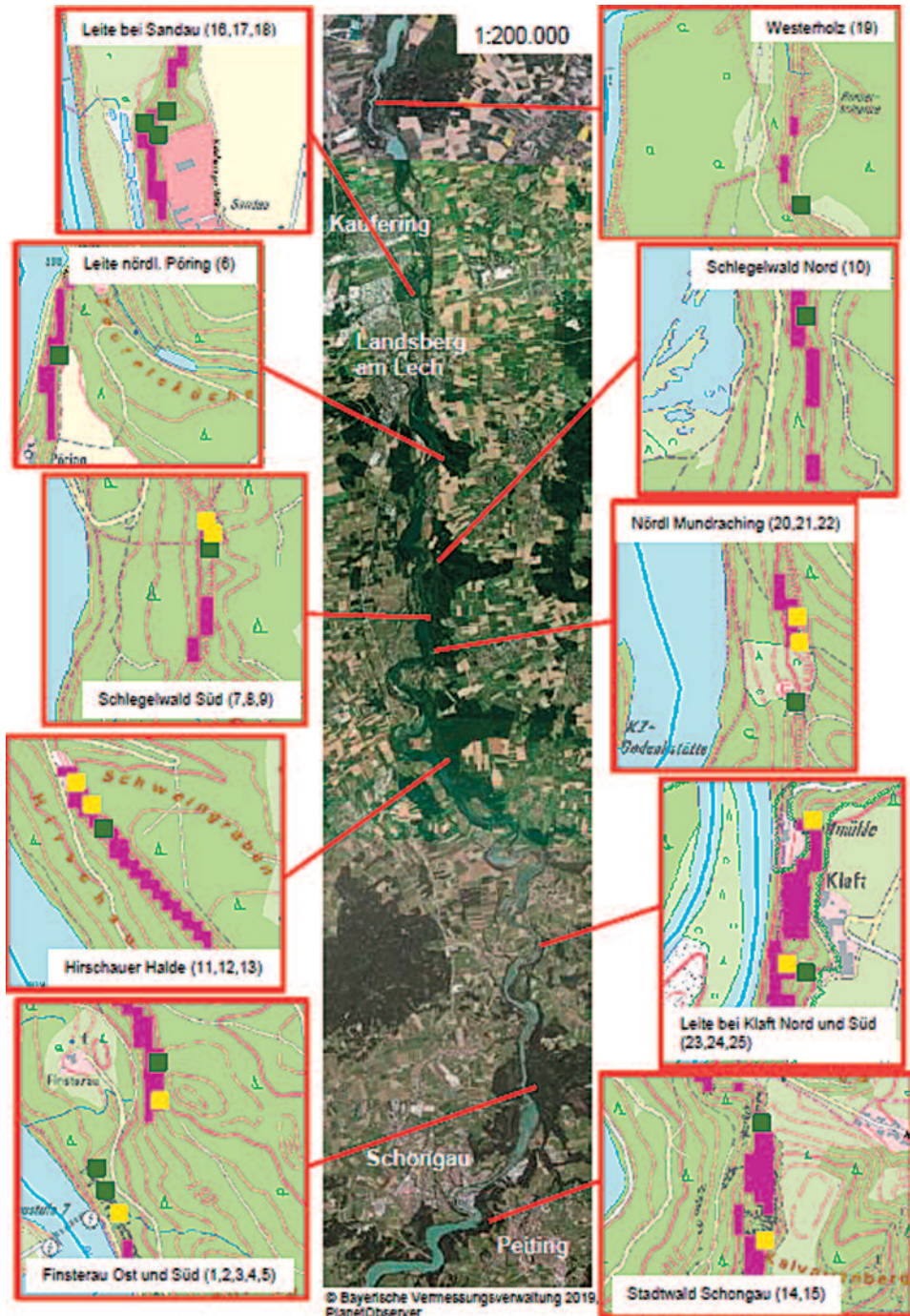


Abb. 1: Karte der Aufnahmeflächen am Lech, alle Wälder mit Steigung $> 30^\circ$ sind lila markiert; Quadrate kennzeichnen die Lage der Vegetationsaufnahmen (grün: Buchenwälder, gelb: Kiefernwälder); zur Wahrung des des Datenschutzes sind die Aufnahmepunkte nicht ganz exakt eingezeichnet.

niedrig ist, besonders stark aus, während er sich im Sommer verringert. Am Oberhang kommt noch der höhere Abfluss des Niederschlags hinzu, was diesen Standort nicht nur wärmer, sondern auch trockener macht (FUCHS 2019).

Methoden

Das Ziel dieser Arbeit ist es, wärmeliebende Waldgesellschaften an den Lechleiten zu erfassen, zu beschreiben und ihren Zustand und ihre Gefährdung einzuschätzen. Da die Sonneneinstrahlung und Trockenheit der Hänge wichtige Umweltfaktoren für das Vorkommen solcher Waldgesellschaften sind, wurde in einer Karte auf Grundlage des DGM 25 die Bodennutzungsart „Wald“ mit Flächen einer Hangneigung größer 30° verschnitten. Das Ergebnis ist eine Karte der steilen Waldstandorte entlang des Lechs.

Da aus Luftbildern die Hauptbaumart nicht ersichtlich ist, wurde durch Aufsuchen der ausgeschiedenen Flächen eine Auswahl getroffen. Dabei wurden verschiedenen Kriterien berücksichtigt. Als bestandsbildende Baumarten kamen Buche, Wald-Kiefer, Mehlbeere und Eiche in Frage. Die Individuen sollten darüber hinaus einen krüppeligen Wuchs aufweisen. Außerdem wurde auf Pflanzen in der Bodenvegetation geachtet, die für diese Waldgesellschaften charakteristisch sind, wie Seggen, Orchideen und Sträucher.

Je nachdem, wie groß die Fläche war, wurden zwei bis drei Aufnahmen pro Vorkommen angelegt. Jede Aufnahme umfasst 144 m² (soweit möglich 12 x 12 m, bei Vorkommen entlang der Hangkante teils mit rechteckiger Form). Darüber hinaus sollten die Flächen möglichst ungestört sein. Die Vegetation wurde in fünf Schichten aufgenommen: Baumschicht 1, Baumschicht 2, Strauchschicht, Krautschicht und Moosschicht. Fels- und holzbesiedelnde Pflanzen wurden nicht berücksichtigt. Für jede Schicht erfolgte eine Schätzung der Gesamtdeckung in Prozent, jede Art wurde nach der Skala BRAUN-BLANQUETS (1964) geschätzt. Insgesamt beläuft sich die Zahl der Aufnahmen auf 25, diese sind auf 12 Vorkommen verteilt.

Jede der Aufnahmen ist GPS-verortet, zudem wurden der pH-Wert, die Mächtigkeit der Humusaufgabe (L, Of, Oh), die Exposition, die Hangneigung und die Meereshöhe ü. NN. gemessen und die Reliefposition und die Deckung des liegenden Totholzes erfasst.

Die Aufnahme der Vegetations- und Umweltdaten fand zwischen Ende Juli und Mitte August 2018 statt.

Die Vegetationsdaten wurden mithilfe der Vegetationsdatenbank TurboVeg digitalisiert, durch die Ellenberg-Zeigerwerte Licht, Temperatur, Feuchte, Reaktion und Stickstoff (ELLENBERG et al. 2001) ergänzt und mit Excel als Vegetationstabelle sortiert. Die statistische Auswertung erfolgte mit PC-Ord 7 (MCCUNE, B. & MEFFORD 2016). Als Grundlage wurden lediglich Daten der Strauch-, Kraut- und Moosschicht herangezogen, da von Interesse war, ob sich die buchendominierten Aufnahmen von denen mit Kiefer in den Baumschichten auch in ihrem Unterwuchs unterscheiden. Als Ordinationsmethode wurde die DCA gewählt (final length of gradient = 2,552).

3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die unterschiedenen Waldgesellschaften an Hand einer Vegetationstabelle beschrieben, die Standortbedingungen und Zeigerwerte der Hauptgruppen werden verglichen. Ein synoptischer Vergleich aller Vegetationsaufnahmen und ihrer Standortbedingungen erfolgt an Hand eines Ordinationsdiagramms.

3.1 Vegetation der wärmeliebenden Waldgesellschaften der Lechleiten

Wie in der Vegetationstabelle (siehe Tab. 1) zu sehen, lassen sich die Wälder der Lechleiten anhand der Baumschichten in zwei Gesellschaften aufteilen. Die Gesellschaften sind sich, v. a. in der Ausstattung mit Bodenpflanzen, ähnlich und die Übergänge zwischen ihnen sind fließend (vgl. Abb. 3), sodass auch eine andere Einteilung begründet werden könnte.

Beide Waldgesellschaften verbindet ein Artengrundstock vorwiegend aus Artengruppen (Einteilung nach WALENTOWSKI et al. 2013) mit Schwergewicht auf trockenen Standorten der Bergseggen-, Schneeheide- und Wucherblumengruppe. Dazu gesellen sich vereinzelt Arten der mäßig trockenen bis mäßig frischen Standorte wie *Mercurialis perennis*, *Melica nutans*, *Prenanthes purpurea* und *Polytrichum formosum*. Wärmeliebende Sträucher des Berberidion, namentlich *Viburnum lantana*, *Ligustrum vulgare*, *Cornus sanguinea* und *Crataegus monogyna*, treten ebenfalls mit hohen Stetigkeiten auf.

Für die in der Vegetationstabelle an erster Stelle stehende Waldgesellschaft ist die Dominanz oder hohe Beteiligung der Wald-Kiefer und der Mehlbeere an der Baumschicht ausschlaggebend. In der Bodenvegetation fallen Kenn- und Trennarten des Erico-Pinion wie *Polygala chamaebuxus* und *Erica carnea* und einige wärmeliebende Arten wie *Cephalanthera damasonium*, *Molinia caerulea*, *Thesium bavarum* und *Primula veris* auf. Diese Arten können als Trennarten der von Wald-Kiefer und Mehlbeere dominierten Waldgesellschaft dieser Arbeit gelten. Anhand der Beteiligung der beiden Lichtbaumarten zerfällt die Gesellschaft nochmals in zwei Untergruppen. Die erste (1a) ist durch die Dominanz v. a. der Wald-Kiefer, aber auch der Mehlbeere und Fichte gekennzeichnet, in der zweiten (1b) tritt die Buche hinzu. Diese Zweiteilung zeigt sich zusätzlich durch das Fehlen bestimmter Arten im Cluster mit Buchenbeteiligung (1b). Darunter sind die Orchideen *Cephalanthera rubra* und *Cypripedium calceolus* und besonders lichtliebende Arten wie *Cotoneaster tomentosus*, *Hippocrepis comosa* und *Thymus praecox*. Alle Trennarten des Clusters 1a weisen außerdem meist auf Kalk hin oder sind Basen- und Kalkzeiger.

Der zweiten Waldgesellschaft in der Vegetationstabelle fehlt die Wald-Kiefer in allen Schichten fast gänzlich. Hier beherrscht die Buche das Bild. In der Bodenvegetation treten nun vermehrt Arten der *Anemone*-Gruppe auf, von denen *Galium sylvaticum*, *Carex digitata*, *Solidago virgaurea*, *Hedera helix*, *Viola reichenbachiana* und *Maianthemum bifolium* auch als Trennarten für die Gesellschaft herangezogen werden können. Zwei weitere Trennarten sind *Fragaria vesca* und *Aegopodium podagraria*. Letztere weist auf eine bessere Stickstoffverfügbarkeit in der zweiten Waldgesellschaft im Vergleich mit der ersten hin.

Die zweite Waldgesellschaft lässt sich, ebenfalls anhand der Baumartenbeteiligung, in drei Untergruppen teilen. Die erste Untergruppe (2a) trennt sich von den anderen Gruppen in der Bodenvegetation nur durch *Galium odoratum*, allerdings sind in ihrer Baumschicht die Mehlbeere und die Fichte fast immer beteiligt. Im zweiten Cluster (2b) herrscht allein die Buche mit hohen Deckungen in der Baumschicht. Trennarten in der Krautschicht sind *Euonymus latifolia* und die Gattung *Rosa*. Bei letzterer kommen mehrere Arten infrage, da es sich um Jungpflanzen handelte und keine Blüten oder Früchte vorhanden waren. Nach Mayer (per Mail) könnte es sich bei den Aufnahmen 1 und 2 um *Rosa canina* var. *glandulosa* und bei Aufnahme 24 um *Rosa canina* var. *canina* handeln.

Die Cluster 2a und 2b verbinden *Aposeris foetida* aus der Zahnwurzgruppe und zwei Arten der Quirlweißwurz-Gruppe, *Carex sylvatica* und *Polygonatum verticillatum* selbst.

Tab. 1: Vegetationstabelle der wärmeliebenden Waldgesellschaften der Lechleiten; Aufnahmeorte: Westterholz (19), Leite bei Sandau (16, 17, 18), Leite nördl. Pöring (6), Schlegelwald Nord (10), Schlegelwald Süd (7, 8, 9), Nördl Mundraching (20, 21, 22), Hirschauer Halde (11, 12, 13), Leite bei Klaf Nord (23), Leite bei Klaf Süd (24, 25), Finsterau Ost (4, 5), Finsterau Süd (1, 2, 3), Stadtwald Schongau (14, 15).

Aufnahmenummer	11	12	14	3	8	5	20	21	7	23	25	22	13	15	9	4	2	1	24	6	17	16	18	19	10		
Cluster	1a	1a	1a	1a	1a	1b	1b	1b	1b	1b	1b	2a	2a	2a	2a	2a	2b	2b	2b	2b	2c	2c	2c	2c	2c		
Meereshöhe ü. NN (m)	698	705	790	705	673	753	680	683	660	705	686	651	705	787	667	745	702	681	696	636	626	623	618	596	643		
Exposition (°)	225	222	287	228	261	259	262	270	262	241	259	210	224	264	286	264	252	251	172	281	274	280	262	232	258		
Hangneigung (°)	46	40	43	28	34	43	39	36	33	40	36	15	39	30	37	36	36	31	40	35	41	21	43	42	36		
Baumarten																											
<i>Fagus sylvatica</i>	B1	1	.	.	.	2	3	2	2	2	3	.	2	3	2	3	4	5	3	3	2	2	2	3	2		
<i>Fagus sylvatica</i>	B2	.	.	.	2	.	2	.	2	.	.	2	1	.	2	.	2	.	.	1	1	.	1	.	2		
<i>Fagus sylvatica</i>	S	.	.	1	+	.	2	1	1	2	.	2	.	+	.	1	1	.	1	+	1	1	1	1	+		
<i>Fagus sylvatica</i>	K	.	+	+	+	1	+	+	+	1	2	+	+	1	+	1	1	+	1	+	+	+	1	1	1		
<i>Sorbus aria</i>	B1	2	.	3	2	2	1	.	.	1	1	1	.	2	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aria</i>	B2	1	.	1	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	1	.	+	.	1	1	.	+	1	1	1	
<i>Sorbus aria</i>	S	+	1	.	.	+	1	1	2	1	1	.	.	.	1	+	1	+	.	1	.	.	1	+	+		
<i>Sorbus aria</i>	K	.	+	+	+	+	1	1	+	+	+	.	.	1	+	+	+	+	+	1	+	+	.	.	.		
<i>Pinus sylvestris</i>	B1	1	3	3	2	2	1	3	2	1	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	
<i>Pinus sylvestris</i>	B2	.	2	1	.	2	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pinus sylvestris</i>	S	.	.	.	.	.	.	1	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pinus sylvestris</i>	K	.	.	.	+	.	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Picea abies</i>	B1	.	.	.	2	2	.	1	1	1	.	.	1	2	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Picea abies</i>	B2	+	1	.	.	.	+	.	.	1	.	1	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Picea abies</i>	S	.	+	2	.	.	+	2	.	+	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	.	.	.	.	+
<i>Picea abies</i>	K	.	1	1	.	+	+	1	1	+	+	+	.	.	+	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.
<i>Quercus robur</i>	B1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.
<i>Quercus robur</i>	B2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Quercus robur</i>	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Quercus robur</i>	K	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Fraxinus excelsior</i>	B1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	1
<i>Fraxinus excelsior</i>	B2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Fraxinus excelsior</i>	S	+	.	.	.	.	.	.	+	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Fraxinus excelsior</i>	K	+	+	+	.	1	+	+	.	1	1	1	+	.	+	1	+	.	+	+	+	+	+	+	1		
<i>Larix kaempferi</i>	B1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Larix kaempferi</i>	B2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Carpinus betulus</i>	B2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Carpinus betulus</i>	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Carpinus betulus</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Acer pseudoplatanus</i>	B2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Acer pseudoplatanus</i>	S	+	.	.	1	+	.	.	.	1	.	+	+	.	+	+	+	+	+	1	.	.	.	.	1	
<i>Acer pseudoplatanus</i>	K	+	+	+	1	+	+	.	1	+	+	.	.	.	1	1	+	+	+	+	+	+	+	2	+		
<i>Sorbus aucuparia</i>	S	.	.	.	.	+	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Sorbus aucuparia</i>	K	.	.	+	.	1	+	+	+	+	+	.	.	+	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Prunus avium</i>	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Prunus avium</i>	K	.	.	+	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	+
<i>Acer campestre</i>	B2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Acer campestre</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Ulmus glabra</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Ulmus glabra</i>	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
d 1a																											
<i>Cephalanthera rubra</i>	K	+	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cotoneaster tomentosus</i>	S	.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cotoneaster tomentosus</i>	K	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hippocrepis comosa</i>	K	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Thymus praecox</i>	K	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cypripedium calceolus</i>	K	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Potentilla erecta</i>	K	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
d 1 Kiefernwald																											
<i>Polygala chamaebuxus</i>	K	1	1	1	.	1	.	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Scleropodium purum</i>	M	+	1	1	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cephalanthera damasonium</i>	K	1	+	1	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Melampyrum pratense</i>	K	1	.	.	.	1	.	+	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hylocomium splendens</i>	M	.	1	2	.	1	.	.	1	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Molinia caerulea</i>	K	2	1	.	2	.	.	1	.	+	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Angelica sylvestris</i>	K	.	.	.	.	+	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Thesium bavarum</i>	K	+	+	+	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Primula veris</i>	K	+	.	+	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tab. 1: Fortsetzung

Aufnahmenummer		11	12	14	3	8	5	20	21	7	23	25	22	13	15	9	4	2	1	24	6	17	16	18	19	10		
Cluster		1a	1a	1a	1a	1a	1b	1b	1b	1b	1b	1b	2a	2a	2a	2a	2a	2b	2b	2b	2b	2c	2c	2c	2c	2c		
<i>Erica carnea</i>	K	.	.	.	1	+	2	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Frangula alnus</i>	S	.	.	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Frangula alnus</i>	K	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
<i>Calamagrostis varia</i>	K	.	.	.	2	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Epipactis helleborine</i>	K	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Campanula rotundifolia</i>	K	.	.	.	.	1	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Gemeinsame Arten 1, 2a, 2b																												
<i>Leucobryum glaucum</i>	M	.	.	.	.	+	+	1	.	+	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bupthalmum salicifolium</i>	K	+	1	.	.	.	.	1	.	.	+	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Anthericum ramosum</i>	K	2	2	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.
<i>Ctenidium molluscum</i>	M	+	.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	1	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cardus defloratus</i> agg.	K	+	+	.	.	.	.	.	1	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Festuca ovina</i> agg.	K	+	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Lonicera alpigena</i>	S	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lonicera alpigena</i>	K	+	.	+	.	.	.	.	.	+	+	1	.	1	+	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhynchospora triquetra</i>	M	+	+	1	.	+	.	1	2	.	.	1	.	.	1	+	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Festuca rubra</i>	K	+	+	.	1	+	.	1	+	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.
<i>Tortella tortuosa</i>	M	+	+	+	.	1	.	+	+	.	.	.	1	1	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rubus idaeus</i>	K	.	.	.	+	.	.	.	+	+	+	.	.	.	+	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.
<i>Neottia nidus-avis</i>	K	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
d 1b, 2a																												
<i>Dicranum polysetum</i>	M	.	.	.	.	.	1	1	+	+	.	+	.	+	.	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Vaccinium myrtillus</i>	K	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	.	.	+	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
d 1a, 2																												
<i>Campanula persicifolia</i>	K	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	+	1	.
<i>Viola hirta</i>	K	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	+	+	.	.	.	+	+	1
<i>Melittis melissophyllum</i>	K	2	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.
d 1b, 2																												
<i>Hieracium murorum</i>	K	.	.	.	.	.	+	.	2	+	+	.	+	.	+	.	+	.	+	.	.	2	+	.	+	.	+
<i>Campanula trachelium</i>	K	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	+	+	.	.	.	.	+	+	+	.	.	+	.	1	1	.
<i>Sesleria albicans</i>	K	.	.	.	.	.	2	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	1
<i>Mycelis muralis</i>	K	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	+	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+
d 2 Buchenwald																												
<i>Fragaria vesca</i>	K	.	.	+	.	.	.	.	+	.	+	.	+	.	+	+	+	+	+	1	+	1	+	+	+	+	+
<i>Galium sylvaticum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	+	.	+	.	1	.	1	+	+	+	+	+
<i>Carex digitata</i>	K	.	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	1	.	+	1	.	+	+	+
<i>Solidago virgaurea</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	+	.	.	+	+	.	.	+	+	+	+	+	+
<i>Hedera helix</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	2	.	.	+	.	+	+	+	+	+
<i>Aegopodium podagraria</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+
<i>Viola reichenbachiana</i>	K	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rubus caesius</i>	K	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Maianthemum bifolium</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.
d 2a																												
<i>Galium odoratum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
d 2a und 2b																												
<i>Carex sylvatica</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Polygonatum verticillatum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Aposeris foetida</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
d 2b																												
<i>Rosa spec.</i>	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Rosa spec.</i>	K	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	+	+	.	.	.	1	.
<i>Euonymus latifolia</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.
d 2b und 2c																												
<i>Euonymus europaea</i>	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Euonymus europaea</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lamium galeobdolon</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	+	.	+
<i>Impatiens parviflora</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	+	.	+
<i>Polygonatum multiflorum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1	1	1
<i>Geum urbanum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.
<i>Stachys sylvatica</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
d 2c																												
<i>Phyteuma spicatum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	1	+
<i>Eurhynchium hians</i>	M	+	1	.	1	+	+
<i>Leucanthemum vulgare</i>	K	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	1
<i>Polygonatum odoratum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	1	.

Tab. 1: Fortsetzung

Aufnahmenummer		11	12	14	3	8	5	20	21	7	23	25	22	13	15	9	4	2	1	24	6	17	16	18	19	10		
Cluster		1a	1a	1a	1a	1a	1b	1b	1b	1b	1b	1b	2a	2a	2a	2a	2a	2b	2b	2b	2b	2c	2c	2c	2c	2c		
<i>Origanum vulgare</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Lamium maculatum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	
<i>Lilium martagon</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	
<i>Arum maculatum</i>	K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
Sonstige Arten																												
<i>Brachypodium pinnatum</i> agg.	K	1	1	2	2	2	1	1	1	1	+	+	2	1	1	+	1	+	1	+	+	+	+	+	1	1	1	1
<i>Carex alba</i>	K	2	1	2	1	1	1	2	+	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2
<i>Lonicera xylosteum</i>	S	.	.	+	1	+	.	+	.	1	1	1	+	1	.	+	+	1	.	+	1	1	+	+	+	+	+	+
<i>Lonicera xylosteum</i>	K	+	+	.	+	.	.	+	+	+	1	+	+	1	.	+	1	+	.	.	+	1	.	.	.	.	1	1
<i>Hypnum cupressiforme</i>	M	.	.	3	1	1	1	2	1	+	1	1	2	.	1	1	1	+	1	1	2	.	.	.	.	+	+	1
<i>Convallaria majalis</i>	K	1	+	+	1	1	.	1	1	1	1	1	.	1	.	1	+	2	.	1	+	+	1	1	1	1	1	+
<i>Carex flacca</i>	K	1	1	2	1	+	1	1	+	.	+	+	1	2	1	.	+	1	1	+	+	2	.	1	.	1	.	1
<i>Viburnum lantana</i>	S	.	1	2	1	.	.	+	1	1	1	+	.	2	+	.	.	1	.	+	1	.	.	1	.	1	.	.
<i>Viburnum lantana</i>	K	1	+	1	+	.	1	1	1	+	+	+	.	1	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Polytrichum formosum</i>	M	.	.	.	.	+	+	1	+	.	.	.	.	+	.	1	1	+	1	+	.	1	1	.	.	1	.	1
<i>Ligustrum vulgare</i>	S	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	2	.	+	.	.	1	1	1	1	1
<i>Ligustrum vulgare</i>	K	+	.	.	.	.	.	1	.	+	+	+	+	1	+	.	.	+	1	+	.	.	1	1	1	1	1	1
<i>Daphne cneorum</i>	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Daphne cneorum</i>	K	+	.	.	.	+	.	+	+	.	+	+	+	+	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Mercurialis perennis</i>	K	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	1	+	1	.	.	.
<i>Melica nutans</i>	K	+	+	.	2	1	.	.	.	1	.	.	.	+	1	+	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Carex montana</i>	K	+	+	+	.	1	.	+	1	+	+	.	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Plagiochila asplenoides</i>	M	+	.	.	.	.	.	1	+	1	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1
<i>Clematis vitalba</i>	K	.	.	1	.	.	.	.	+	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	+	1	+	2	.	.
<i>Prenanthes purpurea</i>	K	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	+	+	+	+	+	1	.	.	.	.	.	.	+
<i>Galium mollugo</i>	K	+	+	.	+	+	.	.	.	+	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cornus sanguinea</i>	S	.	.	.	.	.	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	1	.	.
<i>Cornus sanguinea</i>	K	.	.	.	+	+	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	1	.	.	.	+	1	.
<i>Crataegus monogyna</i>	S	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
<i>Crataegus monogyna</i>	K	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	1
<i>Carex humilis</i>	K	1	.	.	.	.	.	1	.	.	+	.	1	.	1	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1

In der dritten Untergruppe (2c) tritt die Buche zugunsten der Esche und der Eiche wieder etwas zurück. Auffällig ist die hohe Zahl von acht Trennarten im Vergleich zu den vorigen beiden Untergruppen. Sie setzen sich aus Arten mit sehr unterschiedlichen Standortansprüchen zusammen. Zum einen treten mit *Lilium martagon*, *Phyteuma spicatum*, *Lamium maculatum* und *Arum maculatum* Frische- bis Feuchtezeiger auf, wobei die beiden letzteren auch ausgesprochene Stickstoffzeiger sind. *Origanum vulgare*, *Polygonatum odoratum* und *Leucantheum vulgare* hingegen zeigen Trocknis an und sind, im Gegensatz zu den vorher genannten, Halblichtpflanzen, ebenso wie das Moos *Eurhynchium hians*.

Die Cluster 2b und 2c verbinden *Impatiens parviflora* und *Polygonatum multiflorum* der *Anemone*-Gruppe, weit verbreitete Pflanzen der Goldnesselgruppe wie *Lamium galeobdolon* und *Geum urbanum* sowie *Stachys sylvatica* und *Euonymus europaea*.

Einige häufige Arten wie *Hieracium murorum*, *Mycelis muralis* und *Campanula trachelium*, aber auch *Sesleria albicans* als Kennart der Schneeheide-Kiefernwälder und des Blaugras-Buchenwaldes greifen aus den Buchenwaldgesellschaften auf Cluster 1b über.

Die Cluster 1b und 2a haben zwei auf saure Bedingungen zeigende Arten der Beerstrauchgruppe gemeinsam, *Vaccinium myrtillus* und das Moos *Dicranum polysetum*.

Weitere Gemeinsamkeiten ergeben sich zwischen der buchendominierten Gesellschaft und dem Cluster 1a. Hier fallen *Melittis melissophyllum*, *Campanula persicifolia* und *Viola hirta*, die trocken- und wärmeliebende Arten sind, auf.

Die Cluster 1, 2a und 2b haben Pflanzen gemeinsam, die sehr unterschiedliche und teils gegensätzliche Standortbedingungen anzeigen. So kommt das säurezeigende Moos *Leucobryum glaucum* neben Kalkzeigern wie *Lonicera alpigena* und den Moosen *Ctenidium molluscum* und *Tortella tortuosa* ebenso vor, wie lichtliebende Arten wie *Bupthalmum salicifolium*, *Rubus idaeus*, *Anthericum ramosum* und *Carduus defloratus* neben schattentoleranten wie *Neottia nidus-avis*.

Das spricht einerseits für die Ähnlichkeit der Standorte zwischen Buchen- und Kiefernwäldern, andererseits ändern sich die Standortbedingungen innerhalb beider Gesellschaften anscheinend sehr kleinflächig, sodass Pflanzen mit unterschiedlichen Ansprüchen nebeneinander gedeihen können.

3.2 Standortbedingungen

Die Standortverhältnisse sind über die kartierten Flächen ähnlich. Es lassen sich sowohl bei den gemessenen Umweltwerten als auch bei den mittleren Ellenberg-Zeigerwerten leichte Unterschiede erkennen, wenn die Kiefern- und Buchenwälder getrennt betrachtet werden.

Die Standorte befinden sich auf 600 bis 800 m Meereshöhe an schroffen Hängen (Abb. 2a) in west- bis südwestlicher Exposition (Abb. 2b). Bei den gemessenen Umweltfaktoren weist den deutlichsten Unterschied der pH-Wert auf (Abb. 2c). Zwar ist sowohl der mittlere pH-Wert der Buchenwälder mit 7,1 hoch, doch der der Kiefernwälder liegt mit im Mittel 7,6 noch etwas darüber. Mit der Humusmächtigkeit verhält es sich ähnlich (Abb. 2d). Sie liegt bei den Buchenwäldern im Mittel bei 4,6 cm. In den Kiefernwäldern ist der Wert mit 6,9 cm etwas höher.

Den größten Unterschied der gemittelten Ellenberg-Zeigerwerte weist die Stickstoffzahl auf (Abb. 2e). Sie liegt in den Buchenwäldern mit 4,5 (mäßig stickstoffreiche Standorte) höher als in den Kiefernwäldern mit 4,0 (eher stickstoffarme Standorte). Ein Unterschied zeigt sich auch in der Lichtzahl (Abb. 2f), die in den Kiefernwäldern mit 5,5 (Halbschatten- bis Halblichtzeiger) höher ist als in den Buchenwäldern mit 5,1 (Halbschattenzeiger). Die mittleren Reaktions- (Abb. 2g), Feuchte- (Abb. 2h), und Temperaturzahlen (Frische-, Schwachsäure- bis Schwachbasen- und Mäßigwärmezeiger) unterscheiden sich zwischen Kiefern- und Buchenwald nur um je eine Nachkommastelle, wobei im Buchenwald immer etwas höhere Werte vorliegen als im Kiefernwald. Insgesamt lässt sich sagen, dass die Standortbedingungen in beiden Waldgesellschaften sehr nahe beieinander liegen und sich nur leichte Tendenzen ausmachen lassen.

3.3 Ordination

Das Ordinationsdiagramm (Abb. 3) bildet die Ähnlichkeit zwischen den Vegetationsaufnahmen ab. Als aussagekräftigste Dimensionen der Ordination stellen sich die erste (Eigenwert = 0,325; erklärte Varianz = 0,495) und die zweite Achse (Eigenwert = 0,216; erklärte Varianz = 0,144) heraus.

Im Ordinationsdiagramm ist eine schwache Zweiteilung zu erkennen. Die Vegetationsaufnahmen, die von Kiefern dominiert sind oder in denen Kiefer beteiligt ist, befinden sich im linken Teil des Diagramms, während die buchendominierten Flächen in der Mitte und rechts zu finden sind. Allerdings überschneiden sich die Gruppen in der Mitte des Diagramms. Die Buchenwälder schließen dort fast unmittelbar an den Kiefernwäldern an. Diese Zweiteilung lässt vermuten, dass sich die Vegetation der Buchenwälder von denen der Kiefernwälder in gewisser Weise unterscheidet.

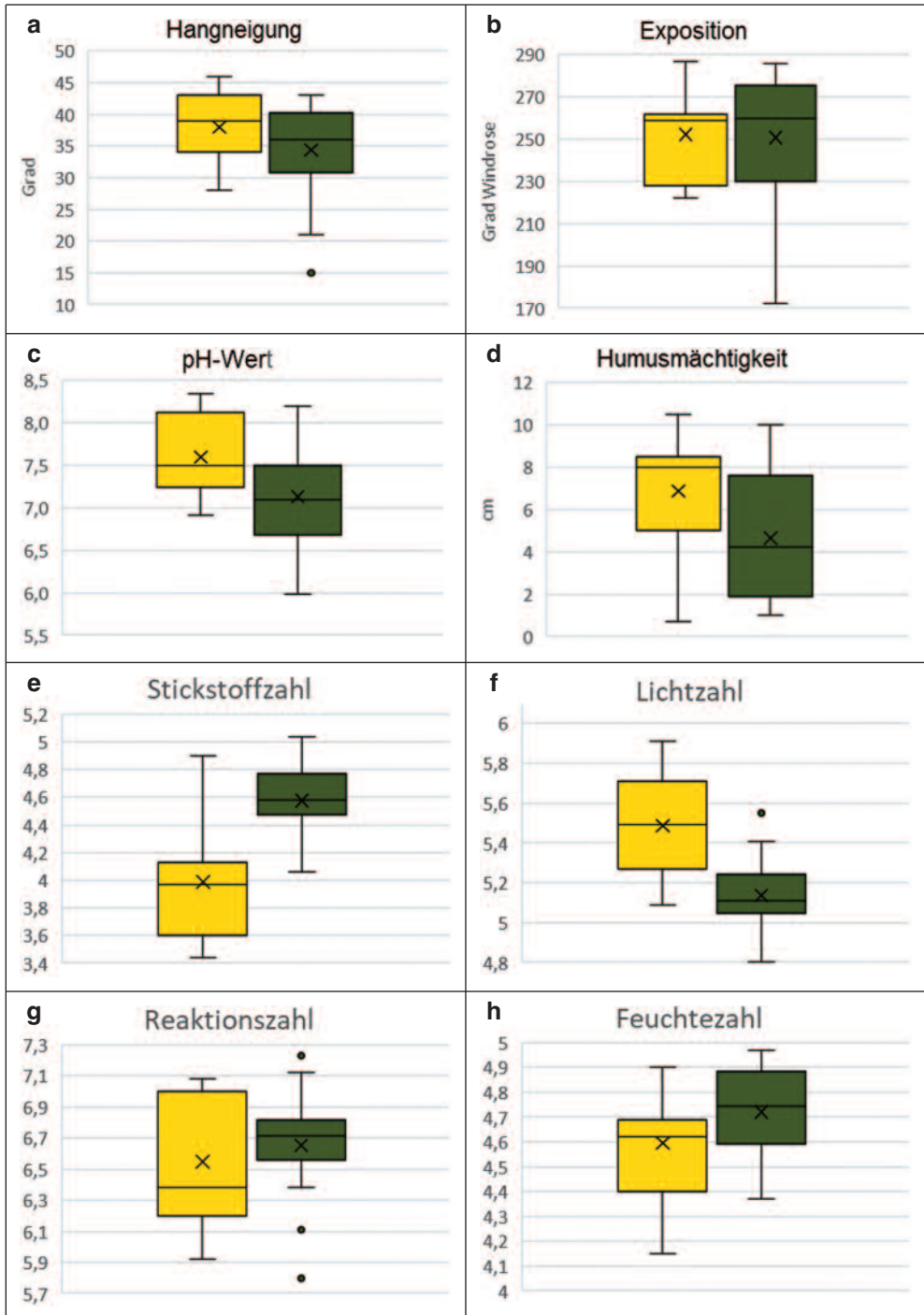


Abb. 2: Verteilung der Standortvariablen und mittleren Ellenberg-Zeigerwerte in Wäldern der Lechleiten dargestellt als Boxplots; gelb: Kiefernwälder, grün: Buchenwälder.

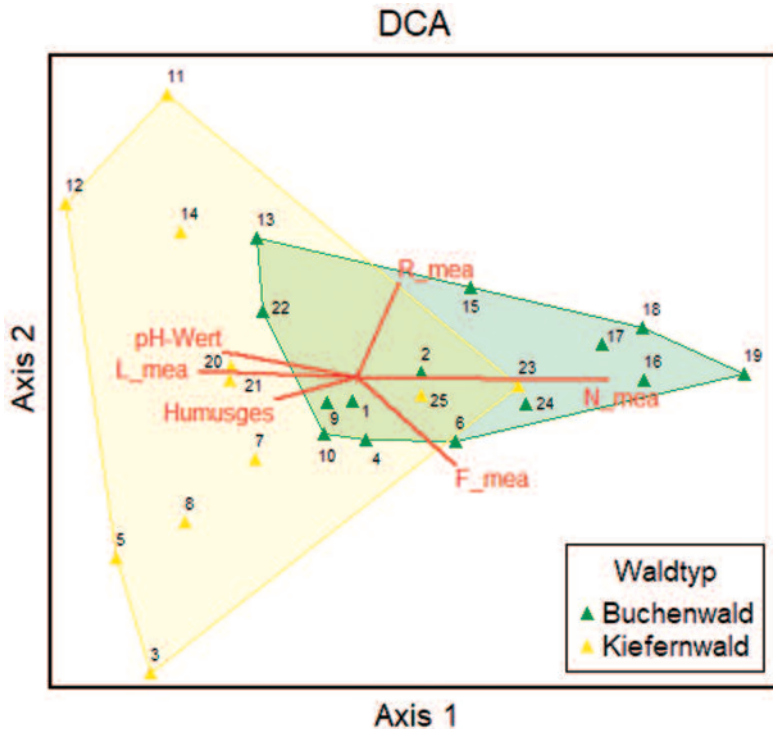


Abb. 3: Ordination der Aufnahmen (DCA): ordiniert wurde mit wurzel-transformierten Vegetationsdaten der Strauch-, Kraut- und Mooschicht; Achse 1: Eigenwert 0,325, erklärte Varianz 0,495, Gradientenlänge 2,552; Achse 2: Eigenwert 0,216; erklärte Varianz 0,144; die roten Vektoren zeigen Korrelation mit Umweltvariablen und mittleren Zeigerwerten.

Die Aufnahmen der beiden Waldgesellschaften verteilen sich jeweils entlang einer Achse. Entlang der ersten Achse streuen die Buchenwälder. Je ähnlicher sie den Kiefernwäldern jedoch werden, desto mehr verteilen sie sich auch entlang der 2. Achse. Die Kiefernwälder streuen entlang der zweiten Achse, allerdings viel weiter als die Buchenwälder.

Offenbar gibt es mindestens zwei Standortfaktoren, welche die beiden Waldgesellschaften beeinflussen. In der Mitte des Diagramms, dort wo sich die Waldgesellschaften überschneiden, spielen offenbar mehrere Standortfaktoren eine ähnliche Rolle. Dagegen unterscheiden sich Teile der Buchenwälder von Teilen der Kiefernwälder deutlich.

Bei der Analyse der Arten an den Enden der Achsen liegt der Schluss nahe, dass auf der ersten Achse die Stickstoffverfügbarkeit eine Rolle spielt und in Richtung der Kiefernwälder abnimmt. Dort wachsen u. a. *Molinia caerulea* und *Carex montana*, Pflanzen, die auf stickstoffärmeren Standorten häufiger sind. In den Buchenwäldern am anderen Ende der Achse eins kommen dagegen Stickstoffzeiger wie *Aegopodium podagraria* und *Geum urbanum* vor. Bei Betrachtung der Pflanzen, die sich an den Enden der zweiten Achse befinden, entlang der v. a. die Kiefernwälder streuen, ist mit Feuchte- bis Nässezeigern wie *Frangula alnus* und *Equisetum telmateja* auf der einen und Trockeniszeigern wie *Cephalanthera rubra* und *An-*

thericum ramosum auf der anderen Seite für die Pflanzen anscheinend die Wasserverfügbarkeit wichtig.

Bezieht man die gemessenen Umweltvariablen (rote Vektoren) in die Interpretation mit ein, ergibt sich eine starke Korrelation des pH-Werts im Ah-Horizont mit der ersten Achse ($r = -0,629$).

Damit steigt der pH-Wert von den Buchenwäldern zu den Kiefernwäldern hin an. Interessanterweise ist für die Pflanzen der Strauch-, Kraut- und Moossschicht der pH-Wert im Oberboden aber wohl weniger entscheidend als die Stickstoffverfügbarkeit, da sie sich, wie oben beschrieben, im Auftreten von Stickstoffzeigern äußert. Basenzeiger kommen über alle Aufnahmen mehr oder weniger gleichmäßig vor und bilden keine Schwerpunktorkommen.

Mit der ersten Achse korreliert ebenfalls die Mächtigkeit der Humusaufgabe ($r = -0,259$), die wie der pH-Wert von den Buchenwäldern zu den Kiefernwäldern ansteigt. Allerdings ist diese Korrelation nicht signifikant.

4 Diskussion

4.1 Methodenkritik

Bei der Auswertung muss bedacht werden, dass die pH-Wert-Messung im Ah-Horizont erfolgte, für die meisten krautigen Pflanzen allerdings der pH-Wert in der z. T. beträchtlichen Humusaufgabe entscheidend ist. Auch sind die Aufnahmen 19, 6, 10 und 23 in sehr kleinen Vorkommen gemacht worden, weshalb Randeinflüsse eine Rolle spielen können. Mit 25 Aufnahmen ist der Stichprobenumfang außerdem eher niedrig.

4.2 Zuordnung der Waldgesellschaften

Die lichten Kiefernwälder auf trockenwarmen, carbonatreichen Standorten gehören dem Verband des *Erico-Pinion sylvestris* (Schneeheide-Kiefernwälder) an. Eine genaue Beschreibung findet sich bei HÖLZEL (1996a).

Floristisch sind *Erico-Pineten* sehr gut charakterisiert. Als charakteristisch gilt die Mischung von Waldarten einerseits und lichtliebenden Arten des trockenen Graslandes und der Säume andererseits (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Nach WALENTOWSKI et al. (2013) ist für diese Waldgesellschaft die Dominanz der Kiefer ausschlaggebend. Als Verbandskenn- und Trennarten werden u. a. *Polygala chamaebuxus*, *Daphne cneorum*, *Sesleria albicans* und *Amelanchier ovalis* aufgeführt.

Als bestandsbildende Arten kommen in den Kiefernwäldern der Lechleiten *Brachypodium pinnatum* agg., *Carex alba*, *Molinia caerulea*, *Polygala chamaebuxus* und *Erica carnea* vor. Nach HÖLZEL (1996a) ist die Schneeheide eine Art mit vergleichsweise großer ökologischer Amplitude. Sie meidet die allertrockensten und wärmsten Ausbildungen des Schneeheide-Kiefernwaldes, greift aber auf trockene Buchenwaldgesellschaften über. In den Lechleiten kommt sie nur auf den Flächen vor, an denen Buche am Aufbau der Baumschicht beteiligt ist. Unter den bestandsbildenden Hochgräsern *Brachypodium pinnatum* und *Molinia caerulea* spielt in den Lechleiten vor allem ersteres eine größere Rolle. Durch ihre dichten Streufilzdecken verändern die Hochgräser die Standorte dahingehend, dass kleinflächige, offene und konkurrenzarme Rohbodenstandorte verloren gehen. Diese Entwicklung führt in geschlossenen Hochgrasbeständen zu einem fast vollständigen Ausfall konkurrenzschwacher, klein-

wüchsiger Lückenbesiedler (HÖLZEL 1996a). In den Lechleiten fehlen deshalb wahrscheinlich viele dieser Arten. *Daphne cneorum* ist zu finden, allerdings mit höherer Stetigkeit in den von Buche dominierten Wäldern. *Thymus praecox* wächst einzig in den Kiefernwaldstandorten, an denen die Buche nicht beteiligt ist.

Weitere Arten der Schneeheide-Kiefernwälder, die HÖLZEL (1996a) als Grundartengarnitur bezeichnet und die auch in den Lechleiten als solche herangezogen werden können, sind *Carex flacca*, *Carex montana*, *Sesleria albicans*, *Polygala chamaebuxus* und die Moose *Scleropodium purum* und *Tortella tortuosa*.

Eine weitere Artengruppe sind nach HÖLZEL (1996a) anspruchsvolle, meist hochschäftige Mesophyten und Laubwaldarten, die aus den klimaxnahen Schlusswaldgesellschaften übergreifen. Sie zeichnen sich durch eine größere Schattentoleranz aus und haben höhere Ansprüche an Wasserhaushalt und Nährstoffversorgung. Dazu gehören *Knautia dipsacifolia*, *Laserpitium latifolium*, *Cephalanthera rubra*, *Convallaria majalis*, *Prenanthes purpurea*, *Mercurialis perennis* und *Carex alba*. Diese Arten kommen in den Lechleiten sowohl in den Kiefern- als auch in den wärmeliebenden Buchenwaldgesellschaften vor.

Auch aus den Sauerhumus-Nadelwäldern greifen Arten auf die Schneeheide-Kiefernwälder über. In besonders trockenen und lichten Ausbildungen fehlen sie oft ganz oder gedeihen nur spärlich. Auch bei stärkerer Beschattung überstehen zunächst nur wenige Sauerhumusbesiedler wie *Melampyrum pratense* und die Moose *Dicranum polysetum*, *Rhytidiadelphus triquetrus* und *Hylocomium splendens* die trockenen Standortbedingungen. Weitere Säurezeiger wie die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) treten unter feuchteren Bedingungen hinzu (HÖLZEL 1996a). In den Lechleiten wurden alle oben genannten Säurezeiger in den Kiefernwäldern kartiert, wobei die Heidelbeere erst in den Waldgesellschaften mit Buchenbeteiligung auftrat, alle anderen Pflanzen auch in den reinen Kiefernwäldern.

Nach der Kartieranleitung zur Biotopkartierung in Bayern (Teil 2) (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2010) können die Kiefernwälder der Lechleiten den basenreichen Kiefernwäldern zugeordnet werden. Sie stocken demnach u. a. auf flachgründigen, sehr trockenen bis trockenen Humuscarbonatböden. Die Kiefer beherrscht die Baumschicht, wobei Mehlbeere, Buche, Fichte oder Berg-Ahorn beigemischt sein können. Eine Strauchschicht mit den kennzeichnenden Arten *Amelanchier ovalis* und *Cotoneaster tomentosus* ist nur spärlich vorhanden, wohingegen die Krautschicht sehr artenreich ist und aus thermo- und basiphilen Arten besteht. Leitarten sind u. a. *Erica carnea* und *Carex humilis*, wobei im Alpenvorland kontinentale Arten wie *Polygala chamaebuxus* und *Sesleria albicans* stärker in Erscheinung treten.

Die in der Literatur beschriebene charakteristische Artzusammensetzung weist somit auf eine Einreihung der untersuchten Kiefernwälder als *Erico-Pinion* hin. Beim Cluster 1b ist die Buche allerdings in der Baumschicht beteiligt und verjüngt sich im Gegensatz zur Wald-Kiefer auch besser. Ebenfalls fehlen dem Cluster 1b einige lichtliebendere Arten, wie *Cotoneaster tomentosus*, *Hippocrepis comosa* und *Thymus praecox*, die im Cluster 1a vertreten sind, was an der stärkeren Beschattung der Buche liegen könnte. Außerdem sind alle Trennarten des Clusters 1a Basen- und Kalkzeiger. Es könnte sein, dass dies jüngere Standorte sind, die noch stärker von der Hangdynamik beeinflusst werden oder wurden. Die Anwesenheit der Buche im Cluster 1b könnte auf eine schon länger andauernde Bodenentwicklung hindeuten, da diese Baumart mit Bewegungen im Hang nicht so gut zurechtkommt (FUCHS 2019). Deshalb liegt es nahe, den Cluster 1b am weniger extremen Ende der Standortamplitude der Schneeheide-

Kiefernwälder einzuordnen. Dafür spricht auch, dass mehr Mesophyten, Laubwaldarten und feuchtebedürftigere Sauerhumusbesiedler (*Vaccinium myrtillus*) im Cluster 1b vorkommen.

Eine besondere Nähe der ersten Gesellschaft (Cluster 1) zu den Buchenwäldern signalisiert das stete Vorkommen von *Carex alba*. Durch die stärkere Beschattung von Mischbaumarten und Sträuchern werden Hochgräser deutlich geschwächt, wodurch die Weiße Segge sich etablieren kann (HÖLZEL 1996b).

Die Buchenwälder der Lechleiten sind azonale Gesellschaften und gehören dem Verband des Orchideen-Kalkbuchenwalds an. Dieser ist an eine hohe Basensättigung im gesamten Wurzelraum und warm-trockene oder sehr flachgründige Standorte gebunden. Das Cephalanthero-Fagenion beinhaltet zwei Assoziationen, den Seggen-Buchenwald (Carici-Fagetum) und den Blaugras-Buchenwald (Seslerio-Fagetum), die sich vornehmlich in ihrer Verbreitung unterscheiden. Der Seggen-Buchenwald ist auf kalkgeprägte Hügelland- bis Mittelgebirgslagen begrenzt, in denen das warm-trockene Kleinklima entscheidend ist, und dort deshalb vorwiegend an sonnexponierten Hängen zu finden. In den bayrischen Alpen wird der Seggen-Buchenwald durch den Blaugras-Buchenwald ersetzt. In den niederschlagsreicheren Alpen spielt vor allem die Flachgründigkeit der Böden eine Rolle (WALENTOWSKI et al. 2013).

Typisch für beide Assoziationen ist eine Grundartausstattung aus Buchenwaldarten, dazu kommen Orchideen, Seggen, Arten wärmeliebender Säume und Gebüsche. Im Seggen-Buchenwald herrschen Arten der Bergseggen- und Wucherblumen-Gruppe vor, die Licht und Wärme lieben, trockenheitstolerant sind und basenreiches Substrat bevorzugen. Dazu gehören *Carex alba*, *Carex flacca*, *Carex montana*, *Carex digitata*, *Brachypodium pinnatum*, *Melica nutans*, *Polygonatum odoratum*, *Campanula persicifolia* und *Convallaria majalis*. Im Blaugras-Buchenwald fehlen Arten der Wucherblumen-Gruppe weitgehend und werden durch Arten der Carbonat-Trockenwälder (z. B. *Erica carnea*, *Polygala chamaebuxus*) ersetzt. Den Grundstock stellen kalkliebende Waldpflanzen wie *Carex alba*, *Sesleria albicans*, *Melica nutans* und *Mercurialis perennis*, zu denen sich noch Arten der alpinen Magerrasen gesellen (WALENTOWSKI et al. 2013). Laut ELLENBERG & LEUSCHNER (2010) haben das Carici- und Seslerio-Fagetum keine nur auf diese Waldgesellschaften beschränkten Arten, jedoch zeichnen sie sich durch einen hohen Reichtum an Sträuchern aus. Da die Buche außerdem in ihrer Wuchsleistung erheblich eingeschränkt ist und keine Hallenwälder bildet, stehen solche Bestände den wärmeliebenden Eichenmischwäldern nahe.

Die Kartieranleitung zur Biotopkartierung in Bayern (Teil 2) (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2010) kennt den Biotoptyp der wärmeliebenden Buchenwälder, worunter das Cephalanthero-Fagion fällt. Dominiert wird die Baumschicht demnach von der Buche, es können aber u. a. Eiche, Kiefer und Mehlsbeere beigemischt, in Gebirgsnähe auch Fichte beteiligt sein. Je nach Standort kann die Strauchschicht unterschiedlich ausgeprägt sein. Kennzeichnend sind *Lonicera alpigena*, *Ligustrum vulgare* und *Viburnum lantana*. Die Bodenvegetation ist reich an Grasartigen, Wärmezeigern wie *Campanula persicifolia* oder *Polygonatum odoratum* und Alpenpflanzen.

Die Buchenwälder der Lechleiten stocken alle in steilen Hanglagen. Bestandsbildende Arten der Bodenvegetation sind *Brachypodium pinnatum* agg., *Carex alba*, *Carex flacca* und *Convallaria majalis*. Ebenfalls häufig sind die Sträucher *Lonicera xylosteum*, *Viburnum lantana*, und *Ligustrum vulgare*. Die Buche dominiert die Baumschicht, tritt allerdings teilweise zugunsten der Mehlsbeere, der Fichte, der Eiche und der Esche zurück.

Überhaupt tun sich die Buchenwälder mit einer relativ hohen Deckung der Krautschicht und mit Artenreichtum hervor, wofür wahrscheinlich die für Buchen lichtdurchlässigeren Kronen und die beigemischten Baumarten verantwortlich sind.

Eine eindeutige Zuordnung der Buchenwälder zum Seslerio- oder Carici-Fagetum ist nicht möglich, da Arten beider Assoziationen in den Buchenwäldern vorkommen. Das Vorkommen von *Carex alba*, *Carex humilis*, *Primula veris* und *Melittis melissophyllum* (Arten der Wucherblumen-Gruppe) spricht eher für das Carici-Fagetum, allerdings treten gleichzeitig typische Pflanzen des Seslerio-Fagetum wie *Daphne cneorum* und *Sesleria albicans* auf. Auch mischen sich Artengruppen des Hügel- und Berglandes. So findet sich ein Nebeneinander aus Arten der *Anemone*-, Goldnessel-, Quirlweißwurz- und Zahnwurz-Gruppe, wobei die beiden letzten die ersten im Bergland ablösen. Waldvöglein-Arten treten allerdings nur sehr sporadisch auf und es sind insgesamt kaum Wärmezeiger mit hoher Stetigkeit vorhanden.

Betrachtet man den Baumartenanteil, zeigt sich, dass die Cluster 2a und 2b aufgrund der Beteiligung der Fichte eher zum Blaugras-Buchenwald, der Cluster 2c wegen der Beimischung von Esche und Eiche eher zum Seggen-Buchenwald tendieren.

Nichtsdestotrotz ist eine Zuordnung zu der einen oder anderen Assoziation kaum möglich, vielmehr stehen die kartierten Gesellschaften zwischen beiden und gehen fließend ineinander über.

Des Weiteren sind Übergänge zu den edellaubreichen Mischwäldern ersichtlich, die v. a. im Cluster 2c durch das Vorkommen von basen- und stickstoffzeigenden Arten wie *Lamium maculatum*, *Arum maculatum* und *Geum urbanum* und die Beteiligung der Esche an der Baumschicht angezeigt werden.

4.3 Vergleich der Kiefern- und Buchenwälder

Die Gesellschaften des Orchideen-Kalkbuchenwalds und des Schneeheide-Kiefernwalds verbindet ihr Anspruch an warme, trockene Standorte über Kalkgestein. Floristische, strukturelle und standörtliche Beziehungen bestehen daher zwischen den beiden Waldgesellschaften (HÄRDTLE et al. 2004). Hinsichtlich der gemessenen Umweltvariablen (vgl. Kapitel 3.2) sind sich die steilen, flachgründigen und trockenen südwest- bis nordwestexponierten Hänge der Lechleiten ähnlich.

Unterschiede zeigen sich im pH-Wert, der im Kiefernwald höher ist. Das könnte durch jüngere Böden und einen sehr geringen Verwitterungsgrad des Ausgangsmaterials bedingt sein, wodurch sich viel Carbonat im Oberboden findet. Unter den Buchenwäldern könnte die Bodenentwicklung schon etwas weiter fortgeschritten sein, sodass der Oberboden leicht entkalkt ist. Allerdings wird immer noch Carbonat nachgeliefert, da der pH-Wert auch in den Buchenwäldern noch immer recht hoch ist (AMELUNG et al. 2018).

Die Kiefernwälder sind etwas humusreicher als die Buchenwälder. Nach HÖLZEL (1996a) steigt der Humusgehalt von den noch humusarmen Syrosemien mit fortgeschrittener Bodenentwicklung deutlich an, erreicht bei der mullartigen Rendzina sein Maximum und geht dann mit zunehmendem Verlehmungsgrad über die Mull-Rendzina bis hin zur Lehmrundzina wieder zurück. Mit zunehmender Humusakkumulation, Entcarbonatisierung und Verlehmung verbessern sich die Nährstoff- und Wasserhaushaltseigenschaften der Rendzinen außerdem deutlich. Das könnte bedeuten, dass die Bodenentwicklung unter den Buchenwäldern der Lechleiten schon weiter vorangeschritten ist als unter den Kiefernwäldern. Das Hinzutreten

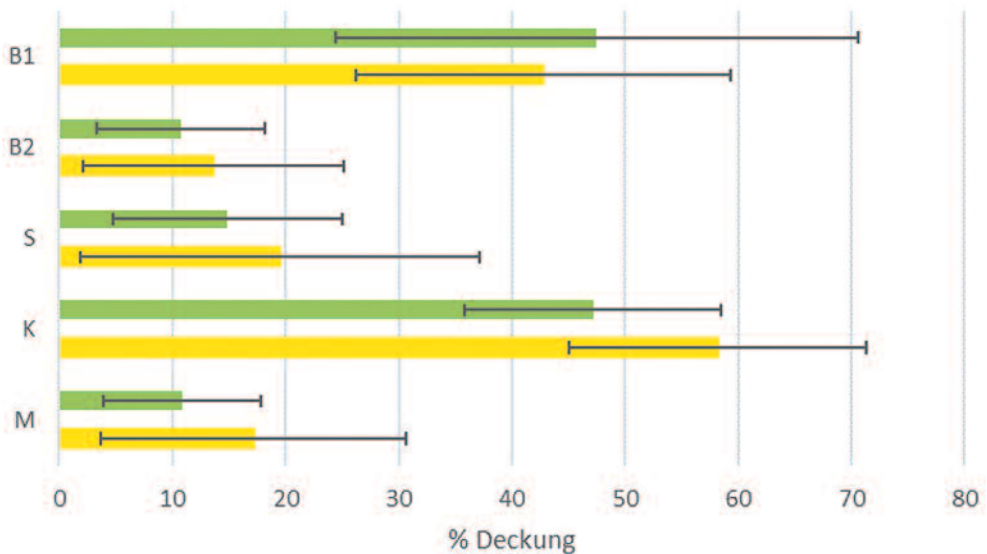


Abb. 4: Deckung der Vertikalschichten (B1, B2: erste und zweite Baumschicht, S: Strauchschicht, K: Krautschicht, M: Moosschicht); gelb: Kiefernwald, grün: Buchenwald; Fehlerbalken: Standardabweichung.

der Buche im Cluster 1b weist auf etwas reifere Böden hin als im Cluster 1a, in dem wahrscheinlich die Bodenentwicklung noch nicht so weit fortgeschritten ist, sodass die Standortbedingungen für die Buche dort noch nicht ausreichen.

Die Kiefernwälder stocken also auf Standorten, auf denen die Sukzession und Bodenentwicklung weniger weit fortgeschritten ist als auf den Buchenwaldstandorten (HÄRDLE et al. 2004). Dadurch sind die Standorte trockener, der pH-Wert ist etwas höher und es ist weniger Stickstoff verfügbar. Das wird auch in der niedrigeren Stickstoffzahl der Kiefernwälder deutlich. Die Feuchtezahl liegt im Kiefernwald ebenfalls niedriger als im Buchenwald, was zusätzlich durch das unterschiedliche Kleinklima der beiden Waldgesellschaften beeinflusst sein könnte.

Die mittlere Reaktionszahl liegt im Buchenwald höher als im Kiefernwald, was dem pH-Wert widerspricht. Da dieser jedoch im Mineralboden gemessen wurde, könnte die niedrigere Reaktionszahl in den Kiefernwäldern auf deren durch die saurere Streu bedingte stärkere oberflächliche Versauerung der Humusauflagen zurückzuführen sein.

Die Lichtzahl ist in den Kiefernwäldern höher, was sich auch in einer höheren Deckung der Krautschicht äußert. Die Deckung der ersten Baumschicht im Kiefernwald ist auch etwas geringer als die im Buchenwald (Abb. 4). Dennoch bleibt in beiden Gesellschaften genug Licht, sodass die Artenzahlen mit im Mittel 45,3 im Kiefern- und 43 im Buchenwald recht hoch liegen. Insgesamt wurden in beiden Gesellschaften 178 Arten erfasst.

4.4 Schlussfolgerungen für den Schutz der wärmeliebenden Waldgesellschaften der Lechleiten

Den Lebensräumen entlang des Lechs kommt durch ihre Verbindungsfunktion der Großlandschaften Alpen und Alb wie an keinem anderen Fluss eine ganz besondere Bedeutung zu (PFEUFER 2010). Entscheidend für den Erhalt des „Lechwanderwegs“ ist ein Verbund wärmeliebender, oligotropher Pflanzengemeinschaften, vor allem Trocken- und Halbtrockenrasen, aber auch xerothermer Gehölzvegetation. Zu ihr zählen im Lechtal u. a. die Schneeheide-Kiefern- und Orchideen-Kalkbuchenwälder (MÜLLER 1990), die in dieser Arbeit untersucht wurden. Angesichts der durchgreifenden anthropogenen Veränderung der Lechauen fungieren die wärmeliebenden Wälder der Lechleiten als Trittsteine, die mehr Beachtung verdienen.

Laut § 30 II Nr. 3 BNatschG bzw. Art. 23 BayNatschG sind Wälder trockenwarmer Standorte geschützt. Ihre Zerstörung oder Handlungen, die zu erheblichen Beeinträchtigungen führen können, sind verboten. Die Wälder trockenwarmer Standorte sind in der Kartieranleitung zur Biotopkartierung Bayern (Teil 2) (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2010) beschrieben. Nicht alle kartierten Flächen fallen allerdings unter den Schutz des § 30 BNatschG, da sie nur teilweise die Bedingungen des Bestimmungsschlüssels für § 30-Flächen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2012) hinsichtlich der Pflanzenkombination erfüllen. Nur 7 von 11 Flächen der kartierten Kiefern- und 9 von 14 Flächen der Buchenwälder können an Hand der vorliegenden Vegetationsaufnahmen sicher als § 30-Biotop eingestuft werden, da sie die geforderten Kriterien wie die Artenkombination, Deckung oder Baumartendominanz erfüllen. Damit werden sie als „Wälder und Gebüsch trockenwarmer Standorte“ eingestuft.

Orchideen-Kalkbuchenwälder (LRT 9150) sind nach der FFH-Richtlinie schützenswerte Lebensräume von besonderem gemeinschaftlichem Interesse (LANG & WALENTOWSKI 2018). Schneeheide-Kiefernwälder allerdings wurden wieder aus dem Anhang I der FFH-Richtlinie gestrichen. Damit sind sie dem europarechtlichen Schutzregime entzogen und finden deshalb auch keine Berücksichtigung in den FFH-Managementplänen (RINGLER 2015). Alle untersuchten Flächen liegen gleichwohl in FFH-Gebieten (nördlich Landsberg: „Lech zwischen Landsberg und Königsbrunn mit Auen und Leite“, Gebietsnummer DE 7631-372; südlich Landsberg: „Lech zwischen Hirschau und Landsberg mit Auen und Leite“, DE 8131-371).

Alle Aufnahmen innerhalb des Landkreises Landsberg am Lech liegen in Landschaftsschutzgebieten. Der Schutzzweck dieser Gebiete ist es u. a., die einzigartige Biotopverbindung zwischen Alpen und Jura mit wertvollen Florenelementen als Artenreservoir und ungestörtes Verbreitungsgebiet für Tier- und Pflanzenarten zu erhalten. Im Schutzzweck des LSG Lechtal-Süd sind die zu bewahrenden Mischwälder an den Steilhängen des Lechs explizit aufgeführt (LANDKREIS LANDSBERG AM LECH 1987 und 1988).

Nur drei Aufnahmeflächen bei Kinsau liegen in einem Naturschutzgebiet. Als Schutzgegenstand sind die Steilhalden und Leitenwälder ausdrücklich genannt. Der Schutzzweck besteht u. a. darin, die unbeeinflusste Entwicklung natürlicher und naturnaher Lebensräume zu ermöglichen und zu sichern und insbesondere Rutschhänge in ihrer Bewegungsdynamik und Vegetationsentwicklung sich selbst zu überlassen (REGIERUNG VON OBERBAYERN 2004).

Des Weiteren fallen die steilen Leiten aufgrund ihrer Erosionsgefahr unter den Schutz des Bayerischen Waldgesetzes (Art. 10 I Nr. 2 und 3; Art. 14 II Satz 1, Art 14 III BayWaldG).

Ein Grund für die Gefährdung des Schneeheide-Kiefernwaldes ist im Bereich der Lechleiten wohl vor allem die eingeschränkte Morphodynamik der Hänge. Durch die weitgehende

Verbauung des Lechs im letzten Jahrhundert wandelte er sich von einem schnell fließenden Fluss zu einer eher trägen Stauseenkette (PFEUFFER 2014). Diese Veränderung betrifft vor allem die früher zahlreich vorkommenden autochthonen Bestände in den Flussauen, aber auch die Vorkommen an den Oberhängen und Hangkanten, die sich nun, da die Hangdynamik kaum mehr eine Rolle spielt und die Bodenentwicklung fortschreitet, zu Laubwaldgesellschaften weiterentwickeln. Langfristig sind Schneeheide-Kiefernwälder der Hangleiten auf Rutschungen und das anschließende Zulassen natürlicher Sukzession angewiesen. Anders als in den Auen (LIEBIG & PANTEL 2009) sind auf Grund der Steilheit Pflegemaßnahmen und Beweidung kaum umsetzbar.

Wesentliche Gefährdungsfaktoren für die Orchideen-Kalkbuchenwälder sind der Nähr- und Schadstoffeintrag aus der Luft, zu hohe Wildbestände, sowie der Flächenverlust durch Überbauung (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2019). In den Orchideen-Kalkbuchenwäldern treten außerdem vermehrt Stickstoffzeiger auf. Dies könnte auf Beeinträchtigungen durch Einträge von oberhalb gelegenen Siedlungen, landwirtschaftlichen Flächen und Wegen hinweisen.

Die forstliche Nutzbarkeit hält sich aufgrund der produktionsschwachen Standorte in Grenzen. Aufgrund der Kleinflächigkeit vieler Vorkommen wird lediglich eine Entnahme von Einzelbäumen empfohlen und eine Bewirtschaftung als Dauerwald.

Des Weiteren sollten künstlich verursachte Eingriffe in die Bodenbewegung vermieden werden, damit die bodenbildenden Prozesse ungestört ablaufen können und, wo möglich, die natürliche Erosionsdynamik der Hänge zugelassen wird.

Der Erhalt von Totholz und Biotopbäumen ist anzustreben, jedenfalls in den Bereichen, in denen sich die Förderung nicht durch Verkehrssicherungsmaßnahmen ausschließt.

In den Schneeheide-Kiefernwäldern ist das oberste Ziel die Erhaltung naturschutzrechtlich geschützter Vorkommen. Kleinflächige Verjüngung ist bei lockerem Kronenschluss und geringer Wüchsigkeit bei reichlich Seitenlicht möglich (WALENTOWSKI et al. 2013).

In den Orchideen-Kalkbuchenwäldern ist das Ziel die Erhaltung und Förderung der natürlichen Waldgesellschaft. Eine extensive Nutzungsmöglichkeit auf diesen forstlichen Grenzstandorten besteht in der Förderung begleitender Edellaubbaumarten über ihren natürlichen Anteil hinaus (WALENTOWSKI et al. 2013). In den Lechleiten handelt es sich vor allem um Mehlbeere, Eiche, Berg-Ahorn und Vogel-Kirsche.

Privaten und kommunalen Waldbesitzern bietet das Vertragsnaturschutzprogramm Wald (VNP-Wald) die Möglichkeit, sich Naturschutzmaßnahmen fördern zu lassen (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2015). Eine Förderung ist an allen Standorten möglich, da sie in FFH-Gebieten und damit in der nötigen Gebietskulisse liegen.

5 Dank

Vielen Dank an Herrn Pfau und Herrn Jüstl für die wertvollen Hinweise, bei Herrn Lubos, Herrn Schwarzer, Herrn Siller, Frau Scheurer, Herrn Schmid und Herrn Bauernfeind für die Kooperation und an alle Waldbesitzer, auf deren Flächen kartiert werden durfte. Norbert Müller sei für hilfreiche Hinweise zum Manuskript gedankt.

6 Literaturverzeichnis

- AMELUNG, W., BLUME, H.-P., FLEIGE, H., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. 2018: Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Auflage – Springer-Verlag, Heidelberg. 750 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt 2010: Kartieranleitung Biotopkartierung Bayern Teil 2: Biotoptypen inklusive der Offenland-Lebensraumtypen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Flachland/Städte). – LfU, Augsburg. 164 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012: Bestimmungsschlüssel für Flächen nach § 30 BNatSchG/Art. 23 BayNatSchG. – LfU, Augsburg. 65 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt 2019: Digitale geologische Karte 1:25.000 (dGK25). – https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_geologie_ftz/index.html?lang=de [abgerufen am 18.06.2019].
- Bayerisches Landesamt für Umwelt 2019: Übersichtsbodenkarte 1:25.000. – https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_boden_ftz/index.html?lang=de [abgerufen am 18.06.2019].
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2015: Richtlinie über Zuwendungen nach dem Bayerischen Vertragsnaturschutzprogramm Wald (VNPWaldR 2015). – München. 14 S.
- BOLLMANN, K. 2011: Naturnaher Waldbau und Förderung der biologischen Vielfalt im Wald. – Forum für Wissen **2011**: 27-36.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Dritte, neubearbeitete und wesentlich vermehrte Auflage. – Springer-Verlag, Wien. 865 S.
- Bundesamt für Naturschutz 2019: Mitteleuropäische Kalk-Buchenwälder. – <https://www.bfn.de/lrt/0316-typ9150.html?type=2> [abgerufen am 15.07.2019].
- DIETZ, T. 1968: Die wülm- und postwülmglazialen Terrassen des Lech und ihre Bodenbildungen. – *Eiszeitalter und Gegenwart* **19**: 102-128.
- ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DÜLL, R., WIRTH, V. & WERNER, W. 2001: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – *Scripta Geobotanica* **18**, Goltze-Verlag, Göttingen. 262 S.
- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C. 2010: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6., vollständig neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage. – Ulmer, Stuttgart. 1333 S.
- FUCHS, T. 2019: Vegetation und Schutz der Leitenwälder im Raum Freising. – Bachelorarbeit an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Wald und Forstwirtschaft, 38 S.
- HÄRDTLE, W., EWALD, J. & HÖLZEL, N. 2004: Wälder des Tieflandes und der Mittelgebirge. – Ulmer, Stuttgart. 252 S.
- HERA, U., KÖLLING, C., MAIER, H., RÖTZER, T., SCHULZ, C., WEBER, H. & ZIMMERMANN, L. 2012: Klima en détail. Neue, hochaufgelöste Klimakarten bilden wichtige Basis zur klimatischen Regionalisierung Bayerns. – *LWF aktuell* **86**: 34-37.
- HÖLZEL, N. 1996a: Schneeheide-Kiefernwälder in den mittleren nördlichen Kalkalpen. – *Laufener Forschungsberichte* **3**, Laufen/Salzach. 192 S.
- HÖLZEL, N. 1996b: Zur floristischen Struktur, Ökologie und Dynamik alpischer Karbonat-Trockenkiefernwälder der Klasse *Erico-Pinetea*. – *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* **8**: 79-98.
- HÖLZEL, N. 2019: Wälder. – In: KOLLMANN, J., KIRMER, A., TISCHEW, S., HÖLZEL, N. & KIEHL, K. (Hrsg.): *Renaturierungsökologie* **17**: 101-124. – Springer, Berlin Heidelberg:
- JERZ, H. & MANGELSDORF, J. 1989: Die interglazialen Kalksinterbildungen bei Hurlach nördlich Landsberg am Lech. – *Eiszeitalter und Gegenwart* **39**: 29-32.
- Landkreis Landsberg am Lech 1987: Verordnung des Landkreises Landsberg am Lech über die In-schutznahme von Landschaftsteilen beiderseits des Lechs von der Stadt Landsberg am Lech bis zur nördlichen Landkreisgrenze des Landkreises Landsberg am Lech als Landschaftsschutzgebiet „Lechtal-Nord“. – Landsberg, 19 S.

- Landkreis Landsberg am Lech 1988: Verordnung des Landkreises Landsberg am Lech über die In-schutznahme von Landschaftsteilen beiderseits des Lechs von der Stadt Landsberg am Lech bis zur südlichen Landkreisgrenze des Landkreises Landsberg am Lech bei Kinsau als Landschaftsschutzgebiet „Lechtal Süd“. – Landsberg, 10 S.
- LANG, A. & WALENTOWSKI, H. 2018: Handbuch der FFH-Lebensraumtypen nach Anhang 1 der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie in Bayern. – LfU, Augsburg, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising-Weißenstephan. 229 S.
- LIEBIG, N. & PANTEL, N. 2009: Beweidung präalpiner Kiefernwälder auf Flussschottern im NSG „Stadtwald Augsburg“ mit Przewalskipferden und Rothirschen. – Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schwaben **113**: 82-105.
- MCCUNE, B. & MEFFORD, M.J. 2016: PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 7.06. – MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- MÜLLER, N. 1990: Die übernationale Bedeutung des Lechtals für den botanischen Arten- und Biotopschutz und Empfehlungen zu deren Erhaltung. – Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz **99**: 17-39.
- PFEUFFER, E. 2010: Der Lech. – Wißner-Verlag, Augsburg. 184 S.
- PFEUFFER, E. 2014: Biodiversitätsverlust durch Flussverbauung am Beispiel des Lechs. – Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt **79**: 133-163.
- Regierung von Oberbayern 2004: Verordnung über das Naturschutzgebiet „Steilhalden und Flusssauen des Lechs zwischen Kinsau und Hohenfurch“ in den Landkreisen Landsberg am Lech und Weilheim-Schongau. – Augsburg, 17 S.
- RINGLER, A. 2015: Erico-Pinion braucht Natura 2000. Schneeheide-Kiefernwälder der Nordalpen, ihre Zukunft und aktuellen Probleme. – Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt **80**: 63-124.
- 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. überarb. Aufl. – Geobotanica, Freising. 441 S.