

Mycodiversity: results and statistics

MARKUS SCHOLLER, FLAVIUS POPA

Abstract: From 2013 to 2019 the current Funga was recorded in the Wilder See vicinity in the Black Forest National Park (Baden-Württemberg, Germany). This area (148.7 ha) is still a very young forest area with few old-growth forest remainders, in which the influence of forestry is still recognizable by the dominance of spruce (*Picea abies*), while the original European beech (*Fagus sylvatica*) and silver fir (*Abies alba*) forest is only preserved in a few smaller areas. The goals of the project were:

1) inventory (number of fungus species), 2) study of the binding of the fungi to certain substrates, hosts and symbiotic partners, frequency, endangerment and anthropogenic influence, 3) deposition of voucher specimens for each record in a public herbarium and 4) study of the influence of *A. alba* on mycodiversity.

Considering 125 historical specimens (collected by H. Neubert from 1969 to 2002), 2333 specimens of 696 species were collected. The species list includes also fungus groups such as aquatic fungi, mycophilic fungi and plant-parasitic microfungi which were not assessed in biodiversity studies in Baden-Württemberg before. The potential number of species was calculated to be around 1261. In addition to classical light microscopic methods, molecular methods (rDNA barcodes) were also used for identification and for identifying life cycles of host-alternating rust fungi (Pucciniales). The results are presented graphically and discussed with a focus on anthropogenic influences (granite gravel paths, climate change, forestry) and the importance of the silver fir for mycodiversity.

SCHOLLER M & POPA F (2021) Mycodiversity: results and statistics. In: SCHOLLER M & POPA F (eds.) Fungi of the former protected forest Wilder See in the Black Forest National Park with special consideration of species associated with *Abies alba* (silver fir). Forschung im Nationalpark Schwarzwald 1:29-59.

Keywords: Germany ● Northern Black Forest ● old-growth silver fir forest ● change of funga ● climate change ● monitoring

Ergebnisse und Statistiken zur Mykodiversität

MARKUS SCHOLLER, FLAVIUS POPA¹

Zusammenfassung: Im 148,7 ha großen ehemaligen Bannwald Wilder See im heutigen Nationalpark Schwarzwald (Baden-Württemberg, Deutschland) wurde von 2013 bis 2019 die aktuelle Funga erfasst. Bei dem Gebiet handelt es sich um ein noch sehr junges Urwaldgebiet mit einigen wenigen Altwaldbeständen, in dem der forstwirtschaftliche Einfluss mit der Dominanz der Rot-Fichte (*Picea abies*) noch immer erkennbar und der ursprüngliche Rotbuchen-Weiß-Tannen-Wald nur in einigen kleineren Flächenanteilen erhalten ist. Ziele des Projekts waren:

1) Inventarisierung der Pilzarten, 2) Ermittlung der Bindung der Pilze an bestimmte Substrate, Wirte und Symbiosepartner, Bestimmung der Häufigkeit, Gefährdung und Bewertung des anthropogenen Einflusses, 3) Hinterlegung von Belegen sämtlicher Funde in einem öffentlichen Herbarium und 4) Bewertung der Bindung von Pilzen an die Weiß-Tanne (*Abies alba*). Unter Einbeziehung von 125 historischen Belegen (gesammelt von H. Neubert von 1969 bis 2002) konnten 696 Arten verteilt auf 2333 Belege ermittelt werden, darunter auch wenig untersuchte Gruppen wie aquatische Pilze, mykophile Pilze und pflanzenparasitische Kleinpilze. Die potentielle Zahl der Arten wurde mit ca. 1261 errechnet. Für die Bestimmung wurden neben klassischen lichtmikroskopischen auch molekularbiologische Methoden (rDNA-Barcodes) für die Bestimmung und Klärung der Lebenszyklen bei wirtswechselnden Rostpilzen eingesetzt. Die Ergebnisse werden in zahlreichen Graphiken dargestellt und mit Schwerpunkt auf den anthropogenen Einfluss (Granitschotterwege, Klimaverschiebung, Forstwirtschaft) und die Bedeutung der Weiß-Tanne für die Mykodiversität diskutiert.

SCHOLLER M & POPA F (2021) Ergebnisse und Statistiken zur Mykodiversität. In: SCHOLLER M & POPA F (Hrsg.) Die Pilze des ehemaligen Bannwalds Wilder See im Nationalpark Schwarzwald unter besonderer Berücksichtigung der mit *Abies alba* (Weiß-Tanne) vergesellschafteten Arten. Forschung im Nationalpark Schwarzwald 1:29-59.

Schlüsselwörter: Deutschland ● Nordschwarzwald ● Weiß-Tannen-Altbaumbestand ● Veränderung der Funga ● Klimawandel ● Monitoring

Einführung

Die Vegetation, die Vegetations- und Forstgeschichte sowie die geologischen Merkmale des 148,7 ha großen ehemaligen Bannwaldgebiets Wilder See im Nationalpark Schwarzwald (Baden-Württemberg) werden von C. Ebel ausführlich in Kap. 1 dargestellt. Bedeutend für das Pilzvorkommen sind die hohen Niederschläge und ein Mosaik an verschiedenen Vegetationstypen, so wie die von der Rot-Fichte (*Picea abies*) dominierten Forstflächen, die auch heute noch offen gehaltenen

¹ Dr. Markus Scholler, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe, Erbprinzenstr. 13, 76133 Karlsruhe, markus.scholler@smnk.de; Dr. Flavius Popa, Nationalpark Schwarzwald, Kniebisstr. 67, 77740 Bad Peterstal-Griesbach, flavius.popa@nlp.bwl.de.

Grinden, in denen die Berg-Kiefer (*Pinus mugo*) dominiert, und die eiszeitlich geformte Karwand, an der westlich oberhalb des Karsees noch Bereiche existieren, in denen über 200 Jahre alte Weiß-Tannen wachsen, die den Brand von 1800 überlebt haben. Dieser Bereich weist einen hohen Grad an Natürlichkeit auf. Alle anderen Bereiche sind mehr oder weniger stark durch den Menschen geformt und beeinflusst worden. Die Rot-Fichte (*Picea abies*) dominiert mit einem Anteil von 70 % bei den Gehölzen. Es handelt sich also bei dem ehemaligen Bannwald, der viele Besucher erfreut, weil er ein malerisches Motiv und wildnisartige Eindrücke bietet, mitnichten um ein weitgehend naturbelassenes Gebiet, wie wir das von diversen Bannwäldern und anderen Naturschutzgebieten in Mitteleuropa auch kennen. Nichtsdestotrotz ist das Gebiet mit über 100 Jahren das zweitälteste, forstlich unbewirtschaftete Waldgebiet Deutschlands. Ein hoher und diverser Totholzvorrat, alte Rot-Fichten- und Weiß-Tannenbestände und ein Mosaik an verschiedenen Lebensräumen konnten entstehen.

Belegte Pilzfunde vor 2013 stammen von Hermann Neubert (*23.1.1935, †11.8.2003), der am Wilden See erstmalig am 6.11.1969 sammelte. Von diesem Tag sind vier Belege von Nichtblätterpilzen, darunter der Duftende Schichtpilz (*Cystostereum murrayi*), bekannt. Dieser Beleg wird bereits von KRIEGLSTEINER (2000a) erwähnt. Im Rahmen dieses Projektes wurde die seltene Art wiedergefunden und eine Kultur angelegt, aus der BRESCIA et al. (2021) Aromastoffe isolierten, die für den kokosartigen Geruch verantwortlich sind. In späteren Exkursionen bis 2002 sammelte Neubert vor allem Schleimpilze, mit denen er sich auch wissenschaftlich beschäftigte (NEUBERT 1980, NEUBERT et al. 1993, 1995, 2000). Eine Art, *Lamproderma laxum* H. Neubert, wurde vom Wilden See von ihm neu beschrieben (NEUBERT 1980). Seine Großpilzbelege sind im Pilzherbarium des Karlsruher Museums für Naturkunde (KR), seine Schleimpilze im Pilzherbarium der Botanischen Staatssammlung München (M) hinterlegt.

Ansonsten sind uns keine belegten Funde aus dem ehemaligen Bannwald bekannt. Auch zeigen die Verbreitungskarten in der Flechtenflora von Baden-Württemberg (WIRTH 1995) und der Großpilze von Baden-Württemberg (KRIEGLSTEINER 2000a und Folgebände) sowie der Nachtrag von GMINDER & SAAR (2012), dass der Messtischblattquadrant 7415/1, in dem das Gebiet liegt, nur sehr selten einen Punkt aufweist. Insofern gehörte das Gebiet vor Ausweisung des Nationalparks Schwarzwald wohl zu den mykologisch am schlechtesten untersuchten Gebieten in Baden-Württemberg.

Das mykologische Biodiversitäts-Forschungsvorhaben am Wilden See, dessen Ergebnisse wir im Folgenden zusammenfassen, folgt nicht dem üblichen Schema kurz kommentierter, mit Fotos illustrierter Artenlisten einerseits bzw. langjähriger Untersuchungen mit speziellen Probeflächen andererseits (letzteres wird am Nationalpark an anderer Stelle realisiert; GÄRTNER et al., in Vorbereitung).

Die Ziele wurden bei Vorstellung des Forschungsvorhabens formuliert (SCHOLLER et al. 2013):

1. Erfasst werden möglichst viele Pilzarten, die ohne Kultur auf künstlichen Medien bestimmbar sind. Saprobiontische Bodenpilze, die nur mit künstlichen Medien isolierbar und dann bestimmbar sind, wurden in der Regel nicht berücksichtigt. Andererseits werden weniger gut untersuchte Gruppen von Pilzen, wie obligat-parasitische Kleinpilze, lichenicole oder aquatische Pilze, die in anderen größeren Untersuchungen in Baden-Württemberg, so auch im Schwarzwald (LABER 2009, STRITTMATTER et al. 2015), keine Berücksichtigung fanden, ebenfalls gesammelt und bestimmt.
2. Neben der Ermittlung der Artenzahlen werden Bindung an bestimmte Substrate, Wirte und Symbiosepartner, Häufigkeit, Gefährdung, anthropogener Einfluss usw. dokumentiert und statistisch ausgewertet. Zusätzlich wird jede Art in einer kommentierten Artenliste aufgeführt. Kurze taxonomische Erläuterungen, Fotos und sonstige Besonderheiten werden angeführt. Umfangreiche taxonomische Fragen, deren Beantwortung detaillierte Untersuchungen erfordern, wurden (BEMMANN 2013, BUBNER et al. 2019, BANDINI et al. 2020, LOTZ-WINTER et al. 2021) bzw. werden (Gattung *Inocybe* durch D. Bandini und Mitarbeiter) separat in Fachzeitschriften publiziert.
3. Alle Funde werden - unabhängig von der Häufigkeit der Art - belegt und die Belege in einem öffentlichen Herbarium hinterlegt. Dieses wohl einzigartige Vorgehen soll zukünftigen Wissenschaftlergenerationen zur Dokumentation von Veränderungen im Untersuchungsgebiet dienen. In welcher vielfältiger Weise heute dank moderner Methoden Informationen aus den Belegen und damit aus der Vergangenheit für die unterschiedlichsten Wissenschaftsbereiche ermittelt werden können, wurde vielfach gezeigt (z. B. SCHOLLER 2012).
4. Besonderes Augenmerk gilt der Weiß-Tanne (*Abies alba*) und den mit ihr assoziierten Pilzen. Der Schwerpunkt des Weiß-Tannenvorkommens in Deutschland liegt in Baden-Württemberg und hier wiederum im Schwarzwald mit einem mittleren Weiß-Tannenanteil von 18 %, dennoch wurde die Weiß-Tanne auch im Schwarzwald durch die Forstwirtschaft stark zurückgedrängt und durch die Rot-Fichte (*Picea abies*) ersetzt (KOHLE et al. 2011, RÖSCH 2015). Diese Verdrängung erfolgte noch sehr viel früher als die ersten detaillierten mykologischen Untersuchungen im Schwarzwald. Es ist deshalb wenig über die Funga speziell bodensaurer Weiß-Tannenwälder bekannt.

Ein statistischer Überblick zu den Funden wird im Folgenden gegeben und die Ergebnisse diskutiert, zu Details zu den einzelnen Pilzarten sei auf den Speziellen Teil (Kap. 3) verwiesen.

Methoden

Untersuchungsgebiet

Beim Untersuchungsgebiet handelt es sich um den 148,7 ha großen ehemaligen Bannwald Wilder See bei Seebach im Nordschwarzwald (Baden-Württemberg). Das Gebiet gehört seit 2014 zur Kernzone des Nationalparks Schwarzwald (zu Vegetation, Vegetationsgeschichte, edaphischen und abiotischen Faktoren siehe Kap. 1).

Untersuchungszeitraum und Untersuchungsschwerpunkte

142 Sammelexkursionen wurden im Zeitraum von 2013 bis 2019 durchgeführt. Des Weiteren wurden Belege von Hermann Neubert berücksichtigt, der im Gebiet von 1969 bis 2002 125 Belege und 16 Arten von Schleimpilzen und Nichtblätterspilzen sammelte. Es wurden vor allem leichter zugängliche Gebiete und naturnahe Vegetation im Bereich der Karwand mit hohem Weiß-Tannen- und Altholzbestand aufgesucht. Welche Bereiche genau untersucht wurden, lag im Ermessen der Sammler mit jeweiligem Spezialgebiet. Funde, die nach 2019 gesammelt wurden, werden in Kap. 5.2 als Fundnachträge aufgeführt.

Untersuchte Pilzgruppen, Belegmaterial, Digitalisierung

Ausgewertet wurden nur belegte Funde, die in einem öffentlichen Herbarium hinterlegt wurden. Berücksichtigt wurden alle Großpilzgruppen (meist Ständerpilze, Agaricomycotina, und Schlauchpilze, Ascomycota) einschließlich lichenisierter Pilze (Flechten). Des Weiteren wurden pflanzenparasitische (z. B. Rostpilze, Pucciniales) und mycophile Kleinpilze sowie aquatische Pilze einbezogen. Neben diesen zu den Echten Pilzen (Fungi) zählenden Taxa wurden auch Pilze aus anderen Verwandtschaftskreisen, vor allem Schleimpilze (Myxomycota) und Falsche Mehltaupilze (Peronosporales), berücksichtigt. Nicht untersucht wurden Pilzgruppen wie Hefen oder Schimmelpilze, für deren Bestimmung die Anzucht von Reinkulturen auf künstlichen Medien erforderlich wäre (zur Kultivierung von Schleimpilzen in „Feuchten Kammern“ siehe Methodenteil in Kapitel 3.1).

Belege wurden als Exsikkate im Pilzherbarium des Staatlichen Museums für Naturkunde (Akronym KR) hinterlegt. Bei sehr kleinen Pilzen, vor allem aquatischen Pilzen, wurden keine physischen Belege angefertigt, stattdessen wurden ersatzweise Bilder, Dauerpräparate, Zeichnungen oder Fotos hinterlegt und mit einer KR-Nummer versehen (siehe Kap. 3.4). Sämtliche Belege sind auch über die Online-Portale „Digitaler Katalog der Pilze des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe“ www.smnk.de/sammlungen/botanik/pilze/digitaler-katalog/ und „Global Biodiversity Information Facility“ (GBIF) www.gbif.org einsehbar.

Die Berechnung der Artenabundanz-Kurve erfolgte mit Hilfe des Programms iNEXT - Online (CHAO et al. 2016). Die berechneten Werte sind die auf Grundlage der Artnachweise geschätzten unentdeckten Artenzahlen im Gebiet. Die Extrapolation der Kurve wird hier nach CHAO et al. (2016) berechnet.

Bodenproben

Zahlreiche Mykorrhiza-Pilze oder streuzersetzende Pilze konnten nur auf Wegen oder an Wegrändern gefunden werden. Einige dieser Arten sind als basiphil bekannt. Um den Einfluss des Granitschotters auf das Vorkommen dieser Arten belegen zu können, wurden Bodenproben von fünf verschiedenen Standorten genommen (siehe Tabelle 1, Abbildung 1). Ermittelt wurden Wassergehalt, Bodenart und pH-Wert mit Hilfe eines Visicolor®-Analysesets (Macherey-Nagel, Düren), wobei als methodische Grundlage das entsprechende Handbuch (MACHEREY-NAGEL 2019)

diente. Der pH-Wert wurde in 0,0125 mol/l Calciumchloridlösung mit pH-Indikatorstäbchen gemessen. Ein Karbonatstest wurde mit 2%iger Salzsäure durchgeführt.



Abbildung 1: Standort 1. Wegrand mit Granitschotter nahe Eutinggrab (links). Feuchte gesiebte Bodenproben von den Standorten 1 bis 5 von links oben nach rechts unten (rechts). Erklärungen siehe Text und Tabelle 1. Fotos: M. SCHOLLER

Fotografie, Mikroskopie und Grafiken

Makroskopische Fotos wurden mit unterschiedlichen Kameramodellen mit guter Eignung für Nahaufnahmen durchgeführt. Lichtmikroskopische Untersuchungen zur Bestimmung und Dokumentation der Pilze wurden mit verschiedenen Mikroskoptypen bei 400-facher oder 1000-facher Vergrößerung durchgeführt und mikroskopische Fotos mit unterschiedlichen Kameras und Bildbearbeitungsprogrammen realisiert (siehe hierzu die jeweiligen Methodenteile in Kap. 3). Die Methodik bei der Rasterelektronenmikroskopie (Kap. 4.1) richtet sich nach BUBNER et al. (2019). Die Grafiken wurden mit Hilfe der Software R Version 4.1.2 erstellt – dazu wurden die Pakete ggplot2, lattice sowie VennDiagram (SARKAR 2008, CHEN & BOUTROS 2011, WICKHAM 2016, R CORE TEAM 2018) verwendet. Verbreitungskarten wurden mit QGIS 2.16.1 erstellt (QGIS.org 2021), als Grundlage dienten die Daten des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg (1972). Weitere Bearbeitungen, z. B. das Einfügen von Maßstäben in Abbildungen und die Vektorisierung von Zeichnungen, wurden mit den Programmen Inkscape 1.0.1 und Gimp 2 durchgeführt.

Sequenzanalysen

Sequenzdaten wurden vor allem zur Artbestimmung von Rostpilzen, Flechten und Risspilzen (Inocybaceae) herangezogen. Sequenziert wurde der variable Marker

ITS (Internal Transcribed Spacer) der rDNA. DNA-Extraktion, Amplifikation, Sequenzierung und Editierung werden von BUBNER et al. (2019) (Pucciniales) und BANDINI et al. (2019) (Inocybaceae) beschrieben. Die Sequenzen wurden bei der Sequenzdatenbank GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) hinterlegt und sind unter den entsprechenden Kapiteln unter den angegebenen Nummern abrufbar.

Nomenklatur, Bestimmungsliteratur

Für die Bestimmung der Arten wurden die jeweils aktuelle Literatur [z. B. für Fälblinge (*Hebeloma*) BEKER et al. (2016), für corticioide Pilze BERNICCHIA & GORJÓN (2010), für Rostpilze KLENKE & SCHOLLER (2015) usw.] sowie umfangreiche Spezialliteratur verwendet, die entsprechend zitiert wird. Wissenschaftliche Namen wurden, wenn nicht anders angegeben, der Online-Datenbank Mycobank www.mycobank.org entnommen (Stand 1.1.2020). Für Rost-, Brand- und Echte Mehltaupilze diente meist KLENKE & SCHOLLER (2015) als nomenklatorische Grundlage.

Ergebnisse

Sammelschwerpunkte

Es wurde in allen Monaten des Jahres außer Februar und Dezember gesammelt, in den Monaten September (670 Belege) und Oktober (529 Belege) am häufigsten und in den Monaten Januar (16 Belege) und März (7 Belege) am wenigsten (Abbildung 2). Das Monitoring wurde in allen vier Vegetationstypen (Abbildung 3, siehe auch Kapitel 1) mit Schwerpunkt im Bereich Eutinggrab / Weggabelung (Grinde an der Grenze zur Karwand), am Abstieg von der Karwand zum See, um den See herum und im Bereich der Wege und südlich der Schönmünz in den

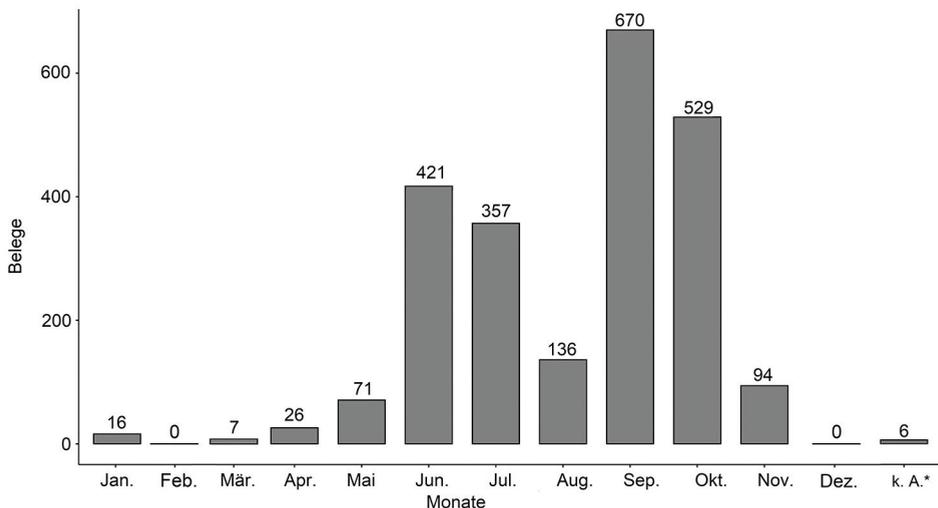


Abbildung 2: Anzahl der gesammelten Belege in den 12 Monaten des Jahres (* sechs historische Funde von H. Neubert undatiert).

Rot-Fichtenbeständen östlich der Karwand durchgeführt. Keine Untersuchungen fanden im nordwestlichen (mit Grinden, Karwand und Rot-Fichtenbeständen) sowie im südlichen und südöstlichen Bereich mit Karwand und Grinden statt. Somit wurden etwa 30 ha überhaupt nicht begangen, das entspricht ca. 20 % des Untersuchungsgebiets. Relativ wenige Nachweise gibt es aus dem nördlichen und östlichen Bereich (Abbildung 3).

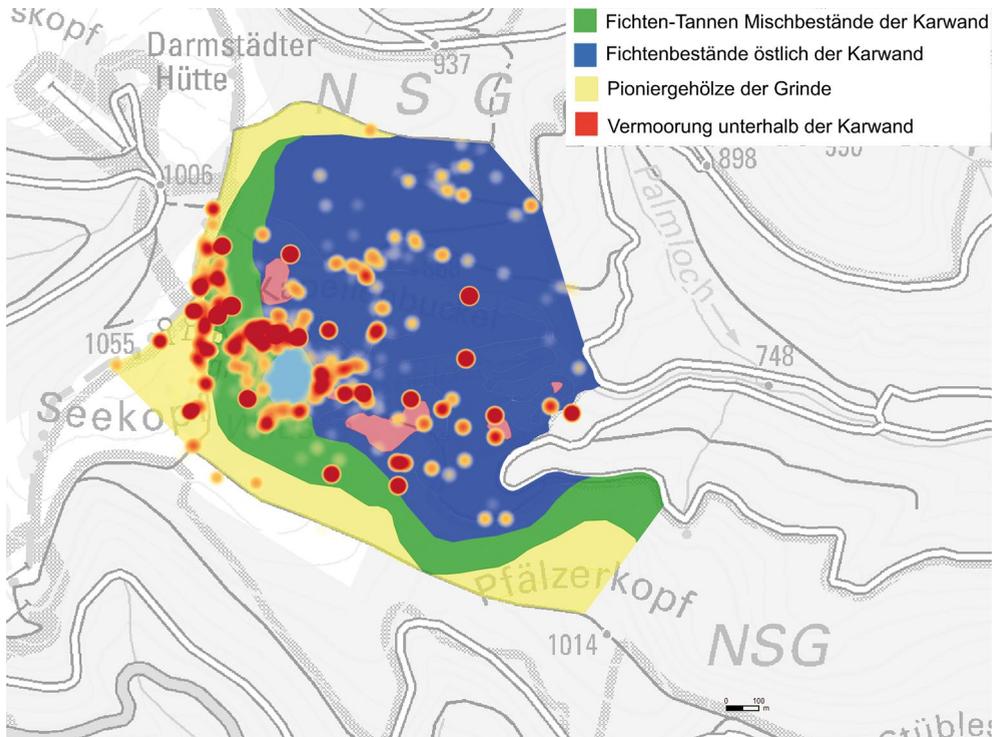


Abbildung 3: Gebiete höchster Sammelstätigkeit („Heatmap“). Die Anzahl der Funde pro Flächeneinheit wird mit gelb (wenige Funde) bis dunkelrot (viele Funde) dargestellt.

Arten- und Belegzahlen, taxonomische Gruppen

Insgesamt wurden 2333 Belege von 696 Arten gesammelt. Somit wurden im Durchschnitt 3,4 Belege pro Art gesammelt. 34 Arten konnten erstmalig für Baden-Württemberg nachgewiesen werden, 9 Arten sind neu für ganz Deutschland (Abbildung 4). Zwei Arten der Gattung Risspilze, *Inocybe astraiana* und *I. laurina*, wurden neu beschrieben (BANDINI et al. 2020). Neun Arten der Ascomyceten konnten keiner bekannten Art (*Articulospora* sp., *Aivenia*, *Helminthosphaeria* sp. A, B, C, D, *Hyaloscypha* sp., *Trinacrium* sp., *Varicosporium* sp.), zwei Arten keiner Gattung (Annulatasceae sp. A, C), eine Art keiner Familie (Capnodiales sp.) und schließlich zwei Arten nur einer Klasse (Dothideomycetes sp. A, B) zugeordnet werden.

Am stärksten sind Arten der Abteilung Ascomycota (inkl. 181 Flechtenarten) mit 338 Arten vertreten. Es folgen die Basidiomycota mit 275 Arten (inkl. einer

Flechtenart) verteilt auf die Unterabteilungen Agaricomycotina (257), Pucciniomycotina (16) und Ustilaginomycotina (2). Schleimpilze (Myxomycota) sind mit 83 Arten vertreten (Abbildung 5). Arten der Abteilungen Chytridiomycota, Glomeromycota, Zygomycota (Fungi) und Oomycota (Heterokonta) konnten nicht nachgewiesen werden.

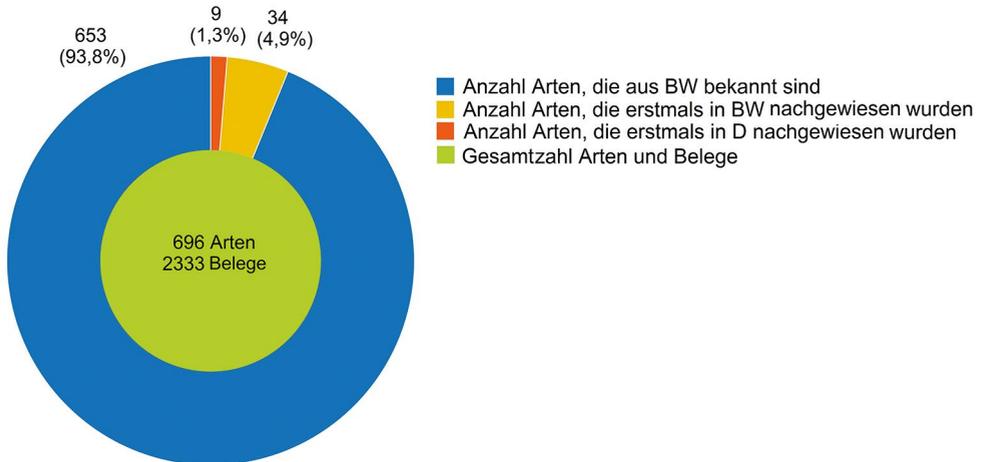


Abbildung 4: Gesamtfunde und Neufunde für Baden-Württemberg (BW) und Deutschland (D).

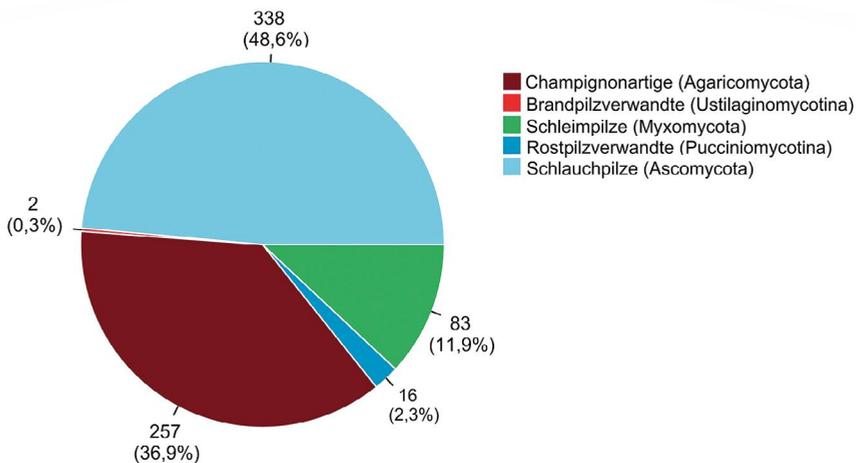


Abbildung 5: Taxonomische Gruppen (Abteilungen und Unterabteilungen) und ihr absoluter und relativer Anteil an der Gesamtartenzahl (696). Die Ascomycota enthalten hier auch die lichenisierten Arten (Flechten).

Potentielle Artenzahl

Die Zahl der gefundenen Arten beträgt 696. Die potentiellen Artenzahlen (unter Berücksichtigung der vorgegebenen Sammelkriterien) für die drei Abteilungen Ascomycota, Basidiomycota und Myxomycota sind in Abbildung 6 angegeben. Die berechneten Werte sind die auf Grundlage der Funde pro Exkursion geschätzten

unentdeckten Artenzahlen im Gebiet. Durch Extrapolation der Kurve nach CHAO et al. (2016) wurde eine potentielle Artenzahl von 1251 Arten errechnet (95 % Konfidenzintervall 1132-1370 Arten), was bedeutet, dass erst ca. 55 % der zu erwartenden Arten erfasst sind.

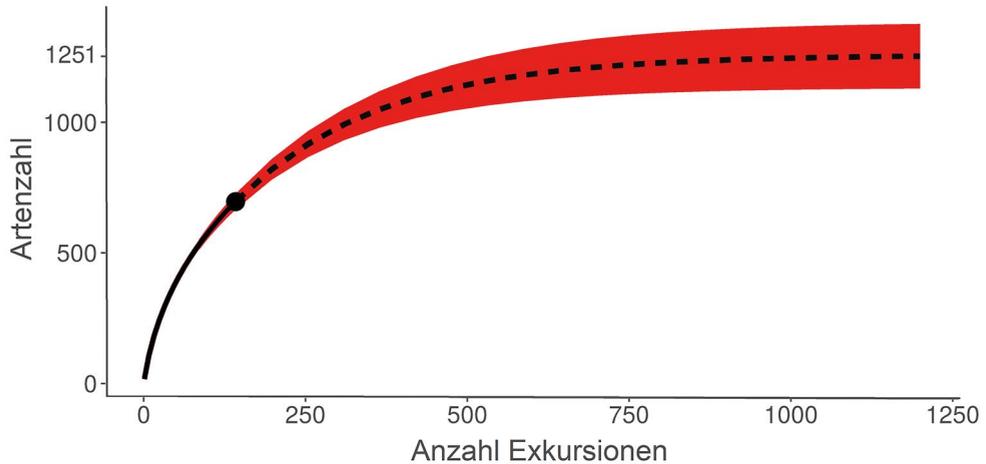


Abbildung 6: Arten-Akkumulationskurve basierend auf 696 nachgewiesenen Arten in 141 Exkursionen (roter Bereich: Standardabweichung mit 95 % Konfidenzintervall).

Ernährungstypen

Die 696 Arten können 4 Ernährungstypen zugeordnet werden: dies sind Symbionten (Ektomykorrhiza-Symbionten, Flechtensymbionten), Parasiten (obligate Pflanzenparasiten, Pilzparasiten, Tierparasiten), Phagozytose-Ernährer und Saprobionten (Abbildung 7). *Antrodiella citrinella*, bei der ein Mykoparasitismus vermutet wird (WIENERS et al. 2016), wurde den Saprobionten zugeordnet. Arten

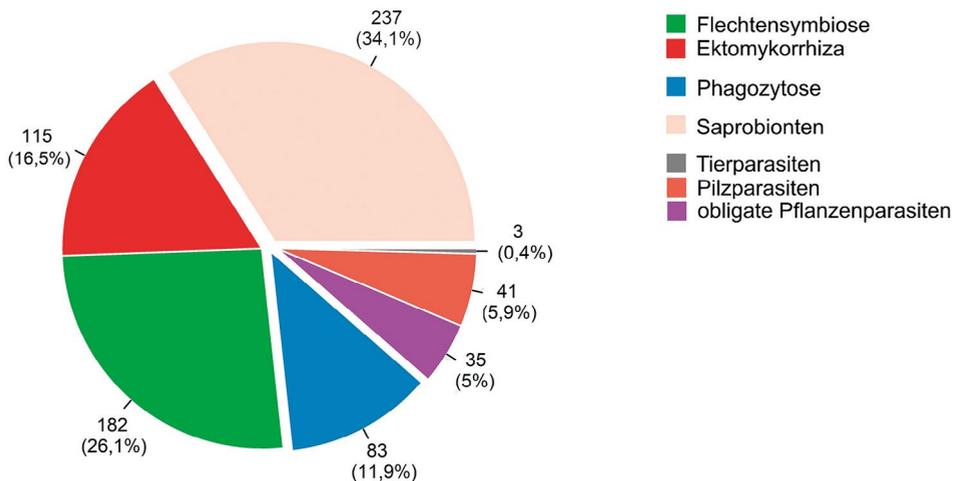


Abbildung 7: Anteil der Arten innerhalb der ökologischen Gruppen (Ernährungstypen).

der Gattung *Tremella*, nachweislich Pilzparasiten, sind auch saprobiontisch aktiv (WEISS et al. 2014), wurden jedoch den Pilzparasiten zugeordnet. Der Übergang von der parasitischen zur saprobiontischen Lebensweise ist mitunter fließend. Lignicole Arten, die auch auf lebenden Bäumen vorkommen („Schwächeparasiten“), wie *Fomitopsis pinicola*, *Fomes fomentarius* oder *Piptoporus betulinus*, wurden den Saprobionten zugeordnet. Ascomyceten der Gattung *Orbilina* weisen häufig eine räuberische Ernährungsweise auf (BARAL et al. 2018). Die beiden von uns gefundenen *Orbilina*-Arten sind jedoch nur als Saprobionten bekannt, sodass die räuberische Ernährungsweise unter den 696 Arten nicht belegt wurde. Am häufigsten sind Symbionten mit 297 Arten (42,6 %), es folgen die Saprobionten (237 / 34,1 %), die Phagocytose-Ernährer (83 / 11,9 %) und schließlich die Parasiten (79 / 11,3 %) (siehe Abbildung 7).

Bereiche mit hoher Artenvielfalt

Die meisten Arten (395) wurden im Vegetationstyp Fichten-Tannen-Mischbestände der Karwand gefunden. Es folgen die Fichtenbestände östlich der Karwand (343), die Pioniergehölze der Grinde (241) und schließlich die Vermoorungen unterhalb der Karwand (30). Von den 696 Arten gelten 116 (16,6 %) als gefährdet (Rote-Liste-Kategorien RL 1, 2, 3, R, G und V). Die RL-Kategorien richten sich nach den Roten Listen für Deutschland, d. h. Rost- und Brandpilze nach FOITZIK (1992), für Schleimpilze nach SCHNITTLER et al. (2011) und Ascomycota und Agaricomycotina nach DÄMMRICH et al. (2016). 10 Arten (1,4 %) weisen den höchsten Gefährdungsgrad (RL 1) auf, sind also vom Aussterben bedroht (Abbildung 8). Bereiche mit hoher Frequenz seltener Arten („Hotspots“) zeigt Abbildung 9.

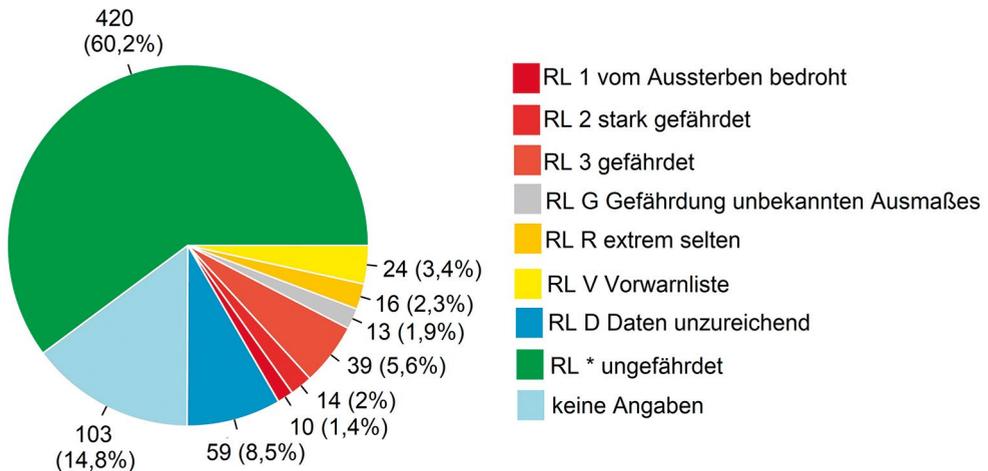


Abbildung 8: Nachgewiesene Arten und Rote-Liste-Kategorien. RL 1-3, R, V und G sind Kategorien für gefährdete Arten, bei RL * und RL D ist eine Gefährdung nicht bekannt.

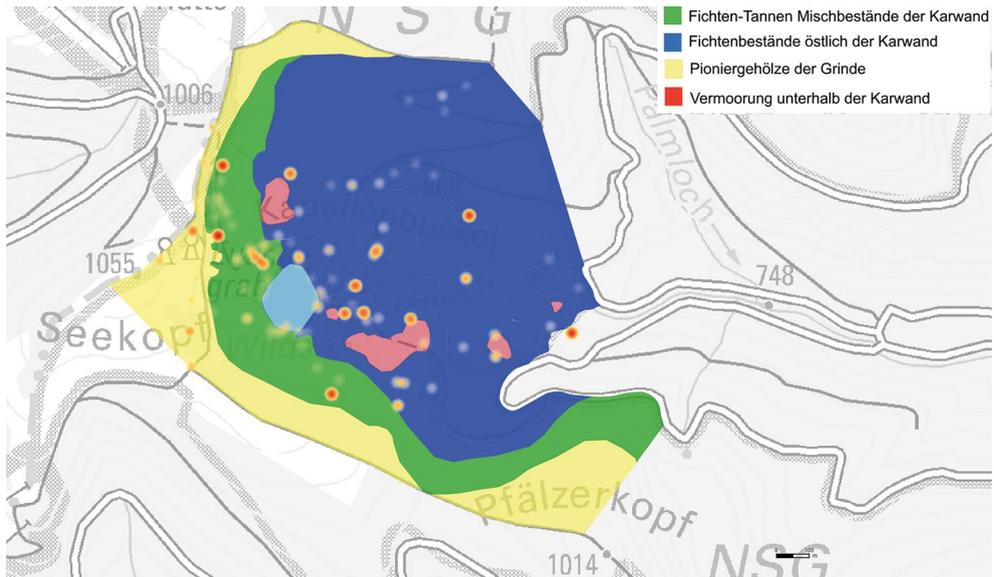


Abbildung 9: Schwerpunkte der Verbreitung der Rote-Liste-Arten („Heatmap“). Die Anzahl der Funde pro Flächeneinheit wird mit hellgelb (wenige Funde) bis dunkelrot (viele Funde) dargestellt.

Die Bedeutung der Weiß-Tanne als Substrat und Wirt

An Weiß-Tanne (*Abies alba*) wurden insgesamt 200 Arten von Parasiten und Saprobionten gefunden (Myxomycota nicht berücksichtigt), davon 61 Arten, die nur an Weiß-Tanne vorkommen, und 139 Arten, die im Gebiet zusätzlich an Rot-Fichte (und selten auch zusätzlich an Wald- und Berg-Kiefer sowie Stieleiche) beobachtet wurden. Nur an Rot-Fichte wurden 76 Arten nachgewiesen. Was die Anzahl der Rote-Liste-Arten betrifft, sind 16 Arten an die Weiß-Tanne und 22 an Rot-Fichte gebunden (Abbildung 10).

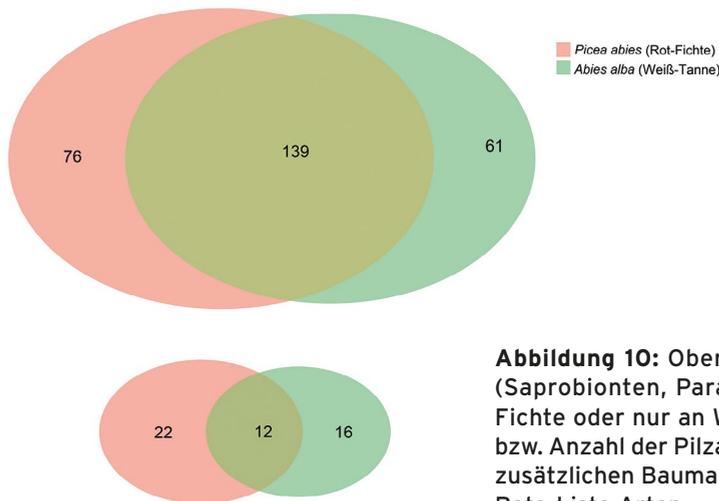


Abbildung 10: Oben: Anzahl der Pilzarten (Saprobionten, Parasiten), die nur an Rot-Fichte oder nur an Weiß-Tanne vorkommen, bzw. Anzahl der Pilzarten, die auf beiden und zusätzlichen Baumarten vorkommen. Unten: Rote-Liste-Arten.

Bodenuntersuchungen

Der Karbonatattest ist negativ (keine Bläschenbildung). Dennoch hat der (basenreiche) Granitschotter auf den Wegen Einfluss auf den pH-Wert. Er liegt auf den geschotterten Wegen bei pH 6 (Standort 1) bzw. 7,5 (Standort 5), wohingegen die Proben aus naturbelassenen Böden bei pH 3-4 liegen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Herkunft der Bodenproben und Bodentypen, pH-Werte.

| Probe | Standort | Bodentyp-Charakterisierung (10 cm Tiefe) | WGS 84 | pH-Wert |
|-------|---|--|------------------|-------------------------|
| 1 | Grinde: Wegkreuzung Eutinggrab, grasiger Wegrand, Schotter, Fichte, Sal-Weide (siehe Abbildung 1) | Braunerde, evtl. nicht autochthon, anthropogen durch Einbringung von grobem Granitschotter | 48.5752 / 8.2358 | 6 (schwach sauer) |
| 2 | Fichten-Tannen-Mischbestände der Karwand: oberhalb Großvatertanne, Tannen und Fichten | Übergang vom Syrosem zum Ranker | 48.5719 / 8.2377 | 3 (sehr stark sauer) |
| 3 | Vermoorungen unterhalb Karwand: offener Moorboden an entwurzelt Baum (Rot-Fichte) | Anmoorgley, grundwasserbeeinflusst, <i>Sphagnum</i> nicht konserviert (kein Regenmoor) | 48.571 / 8.2385 | 4 (stark sauer) |
| 4 | Fichtenbestände östlich Karwand: Rand eines Trampelpfades (Hohlweg), östlich Wilder See, etwas nördlich Schön Münz | Sand grobkörniger als von Probe 1, aber feinkörniger als von „Sandsteinsand“ | 48.5697 / 8.2409 | 4,5 (stark sauer) |
| 5 | Fichtenbestände östlich Karwand: Rand eines von Erde und Moosen bereits überdeckten Schotterweges, Tannen und Fichten | Regosol, anthropogen durch Einbringung von Granitschotter | 48.5729 / 8.2466 | 7,5 (schwach alkalisch) |

Diskussion

Mykodiversität

Die Mykodiversitätsuntersuchung im ehemaligen Bannwald Wilder See im Nationalpark Schwarzwald ist aus mehrfacher Sicht einzigartig in Deutschland. Dies betrifft zum einen die Hinterlegung von Referenzbelegen für jeden Fund in einer öffentlichen Sammlung (Pilzherbarium). Im vorliegenden Fall sind dies die Botanische Staatssammlung in München (M; Belege H. Neubert) und das Pilzherbarium

des Naturkundemuseums in Karlsruhe (KR; alle sonstigen Belege). Jeder Nachweis kann somit auch in Zukunft ausgeliehen und untersucht werden. Des Weiteren waren eine Vielzahl von Experten, darunter zahlreiche Amateurforscher, für bestimmte Pilzgruppen beteiligt. Somit konnten Pilzgruppen betrachtet werden, die vorher noch nie (aquatische Pilze) oder noch nicht in dieser Ausführlichkeit (Schlauchpilze, Schleimpilze, Risspilze, Rostpilze) für ein relativ kleines Gebiet untersucht wurden. Und schließlich wurden in dieser Untersuchung, die weitestgehend klassisch floristisch konzipiert war, intensiv Methoden der rDNA-Sequenzanalyse zur Artbestimmung bzw. zum Nachweis des Wirtswechsels bei Rostpilzen genutzt – siehe hierzu die jeweiligen Kap. 3.2 (Rostpilze), 3.4 (Ascomycota), 3.6 (Risspilze), 3.8 (Täublinge) sowie externe Publikationen (BUBNER et al. 2019, BANDINI et al. 2020, LOTZ-WINTER et al. 2021) (siehe auch Abbildung 15).

Insgesamt wurden auf dem 148,7 ha großen Gebiet bis 2019 696 Pilzarten nachgewiesen. Dies ist zunächst einmal eine wichtige Information für ein montanes, von Rot-Fichten dominiertes Gebiet über Buntsandstein. Diese Daten lassen sich für Verbreitungs- und Häufigkeitsangaben und dies nicht nur innerhalb des Nationalparks und des Schwarzwalds nutzen. Bei Gefäßpflanzen, Moosen und bestimmten Tiergruppen lassen sich in vergleichbarer Untersuchungszeit durchaus Vollständigkeit bei der Ermittlung der Artenzahl erzielen. Dies ist bei Pilzen aufgrund des nicht vorhersagbaren Auftretens der zum Auffinden und Bestimmen notwendigen Fruchtkörper unmöglich. Auch gibt es große Unterschiede zwischen den Gruppen, z. B. in Bezug auf die Lebensdauer der Fruchtkörper. So sind Fruchtkörper mehrjähriger Porlinge ganzjährig und über mehrere Jahre auffindbar, einige Arten von Tintlingen (*Coprinus* s. l.) nur für einige Stunden (z. B. HALME & KOTIAHO 2012). Unsere Berechnungen (Abbildung 6) zeigen, dass die Anzahl der Arten der von uns untersuchten Pilzgruppen rund 1251 betragen könnte. Dies lässt sich anhand der noch recht steil verlaufenden Kurve erkennen. Insofern müssen unsere Untersuchungen als unvollständig gelten.

Die 696 Arten wurden im Zeitraum von 1969 bis 2019 gefunden. Werden die von H. Neubert von 1969 bis 2002 gesammelten und später nicht bestätigten 16 Arten (12 Schleimpilze und 4 Nichtblätterpilze) abgezogen, so beträgt die Artenzahl aktuell (2013 bis 2019) 681. Diese 681 Arten, die in einem Zeitfenster von 7 Jahren ermittelt wurden, können in Zukunft immer wieder für die Dokumentation der Veränderung der Funga dieses Gebiets, das zur Kernzone des Nationalparks gehört, herangezogen werden. Die Belege können aber auch zur Dokumentation der Veränderung weiterer Umweltfaktoren genutzt werden, z. B. des Schwermetallgehalts, der DNA-Mutationen und vieles mehr (SCHOLLER 2012).

Zahlreiche Artbestimmungen sind unsicher oder die Belege konnten nur bis zur Gattung, Familie, Ordnung oder Klasse bestimmt werden. Es gibt einfach zu viele Pilzarten, speziell bei den Ascomyceten, die mit der vorliegenden Literatur morphologisch nicht zugeordnet werden können oder die schlichtweg noch nicht beschrieben wurden. Mit zunehmendem Fortschritt in der taxonomischen Forschung und der Möglichkeit des genetischen Barcodings werden die Belege im Karlsruher

Herbarium für die taxonomisch-phylogenetische Forschung an Bedeutung gewinnen und die nicht oder unsicher bestimmten Belege nachträglich einer Art zugeordnet werden können.

Die Zahl von 696 Pilzarten im Untersuchungsgebiet klingt zunächst einmal für ein so kleines Waldgebiet recht hoch, vor allem, wenn berücksichtigt wird, dass die Zahl der Pilzarten die der Gefäßpflanzenarten um fast das Zehnfache und die der Moosarten um knapp das Sechsfache übertrifft (Abbildung 11, Artenzahlen für Moose und Gefäßpflanzen laut Archiv Nationalpark Schwarzwald). Dies relativiert sich jedoch, wenn weltweite Schätzungen zu Artenzahlen herangezogen werden, so die von CHAPMAN (2009), der 1.500.025 Pilzarten, 368.050 Gefäßpflanzen und 22.750 Moose errechnete und damit ein Verhältnis von ca. 66 : 16 : 1 ermittelte. Andere Autoren schätzen die Zahl der Pilzarten deutlich höher, so HAWKSWORTH & LÜCKING (2018), die 2,2 bis 3,8 Millionen Pilzarten errechneten. Dass die Zahl der Moosarten im Gebiet höher als die der Gefäßpflanzen ist, lässt sich unter anderem damit erklären, dass in Waldgebieten eine erheblich größere besiedelbare Oberfläche zur Verfügung steht (KRIEBITZSCH et al. 2013).

Rot-Fichtendominierte Nadelwälder mit sauren Böden über Buntsandstein weisen einige seltene Arten auf, zumal wenn sie reichlich Totholz enthalten. Sehr viel artenreicher für Großpilze sind jedoch Mischwälder mit Rotbuche und Stieleiche und basenreiche, neutrale bis kalkhaltige Böden (z. B. LEBERECHT et al. 2016). Dies betrifft vor allem Ektomykorrhizapilze. So ist die Artenvielfalt an epigäischen Ektomykorrhiza-Pilzen im Gebiet mit 112 Arten als eher gering zu bewerten. Besonders auffällig ist die Differenz bei hypogäischen Arten („Trüffeln“), wo nur wenige Arten in sauren Böden vorkommen, so *Chamonixia caespitosa* (Blaunuss) und Hirschtrüffel-Arten (*Elaphomyces* spp.). Im Gebiet wurden *Elaphomyces asperulus* und *E. granulatus* nachgewiesen. Auch bei Myxomyceten sind Mischwälder auf kalkhaltigen Böden tendenziell artenreicher, so wurden in den Ammergauer Alpen (Rot-Fichten-Weiß-Tannen-Wälder auf Wettersteinkalk) bei nur einer Begehung auf einem vergleichbar großem Gebiet 1994 bereits 65 Arten nachgewiesen (SCHNITTLER & NOVOZHILOV 1998); die entsprechende Zahl für den Wilden See beträgt 67 (hier ohne die nur in „Feuchten Kammern“ nachgewiesenen Arten).

Die vielleicht bedeutendsten Funde stellen Arten dar, die nur auf altem Weiß-Tannen- und Rot-Fichtentotholz bei gleichzeitig hoher Niederschlagsmenge zu wachsen vermögen. Dies sind die Basidiomyceten *Antrodia citrinella* (Kap. 3.5, Abbildung 3), *Cystostereum murrayi* (Kap. 3.5, Abbildung 15, 16), *Hericium alpestre* (Kap. 3.5, Abbildung 28), *Phellinus lundellii* und der Ascomycet *Camarops tubulina* (Kap. 3.4, Abbildung 23), alles Arten mit Rote-Liste-Status, die von BLASCHKE et al. 2009 zusätzlich als Naturnähezeiger kategorisiert werden. Als Naturnähezeiger wird auch der Heidelbeer-Kampfpilz (*Phlebia centrifuga*) eingeordnet; diese Art ist in jüngerer Zeit recht häufig, auch auf Laubholz, nachgewiesen worden (GÖRKE & MÜLLER 2021, dort weitere Literatur). Ob der Gefährdungs- und Naturnähestatus beibehalten werden kann, werden weitere Untersuchungen zeigen. Als Naturnähezeiger definieren die Autoren Arten, „die schwerpunktmäßig

in sehr naturnahen Waldbeständen vorkommen, als Totholzbesiedler eine enge Bindung an die Alters- und Zerfallsphase von Waldbeständen haben, einen hohen Anspruch an die Totholzqualität und -quantität besitzen und bei intensiver forstlicher Bewirtschaftung deutlich zurückgehen“. Schließlich werden *A. citrinella* und *H. alpestre* in Baden-Württemberg auch als sogenannte Waldzielarten Baden-Württembergs gelistet (BRAUNISCH et al. 2020). Weitere bedeutende Arten sind *Cyphella digitalis* (Kap. 3.5, Abbildung 12), *Sparassis brevipes* (Kap. 3.5, Abbildung 60) und *Chrysomphalina chrysophylla* (Kap. 3.5, Abbildung 9). Auch die letztgenannten Arten haben einen Rote-Liste-Status (DÄMMRICH et al. 2016). Die Pilze wurden meist auf alten Weiß-Tannen und Rot-Fichten gefunden, die den Brand von 1800 überlebt haben und heute meist als tote oder absterbende Bäume zahlreichen seltenen Pilzarten eine Existenz ermöglichen. Diese wenigen natürlichen Restbestände befinden sich südlich und westlich des Wilden Sees.

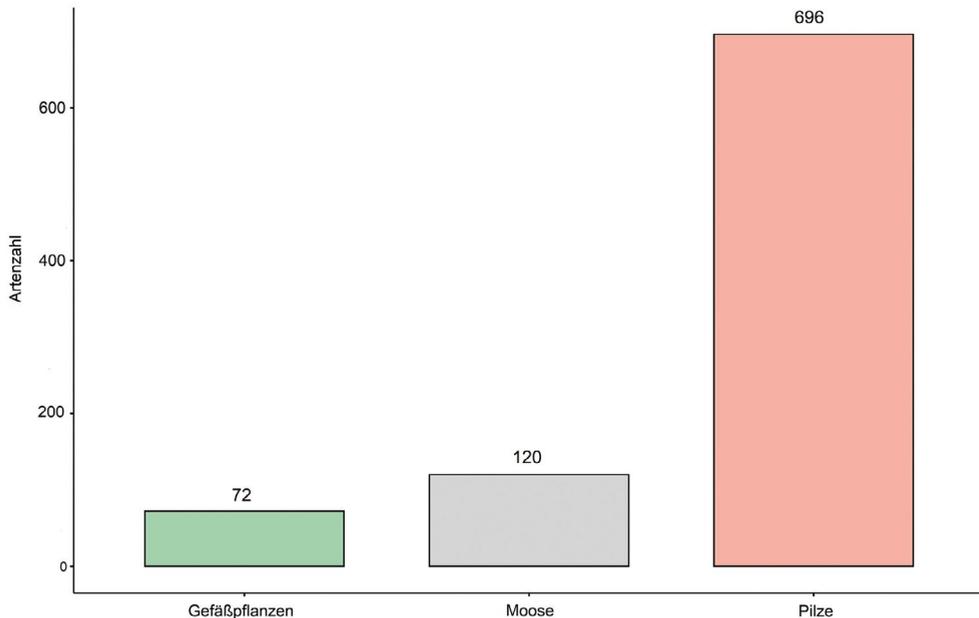


Abbildung 11: Artenzahl der Gefäßpflanzen, Moose und Pilze im ehemaligen Bannwald Wilder See im Vergleich (Artenzahlen Pflanzen aus Archiv Nationalpark Schwarzwald).

Vergleiche der Ergebnisse mit anderen Gebieten im Schwarzwald mit Weiß-Tannenbestand sind schwerlich möglich, da meist nur Großpilze untersucht wurden (z. B. HAAS 1958, LABER & LABER 1976, KOST & HAAS 1989, LABER 2009). Erwähnenswert, wenngleich nur sehr schwer vergleichbar, ist eine methodisch ähnliche Arbeit (Untersuchung über mehrere Jahre) über die Großpilze des Unteren Sulzbachtals im Südschwarzwald (STRITTMATTER et al. 2015). Das Gebiet umfasst mit ca. 40 ha (H. Obenauer, persönliche Mitteilung) weniger als ein Drittel des Wilder-See-Gebietes. Es liegt in 430 bis 450 m ü. NN., ist geologisch diverser, und heute dominieren in dem ursprünglichen Rotbuchen-Weiß-Tannen-Wald Rot-Fichten

(*Picea abies*), aber auch Weiß-Tannen (*Abies alba*) und Laubgehölze, so auch die Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Die Autoren fanden 589 Arten (versus 696 im Untersuchungsgebiet), davon 104 Ektomykorrhizapilzarten (Agaricomycotina) (versus 112). Die relativ zur Größe des Gebiets höhere Artenzahl der Großpilze mag mehrere Gründe haben. So wurde im August, dem Monat, in dem Ektomykorrhizapilze häufig fruktifizieren, am Wilden See vergleichsweise wenig gesammelt (Abbildung 2). Auch wurde in rund 30 % des Gebiets überhaupt nicht gesammelt. Ein weiterer Grund für die Artenvielfalt der Großpilze im Sulzbachtal (neben zahlreichen weiteren Gründen) könnte mit dem starken anthropogenen Einfluss (u. a. durch ein Hotel, Spiel- und Grillplatz, Schotterwege) erklärt werden. In der Artenliste finden sich sehr viele synanthrope streuzersetzende Arten [z. B. Arten der Gattungen Ackerlinge (*Agrocybe*), Schirmlinge (*Lepiota*), Zwergknäuelinge (*Panellus*) und Faserlinge (*Psathyrella*)], die am Wilden See komplett fehlen. Wird jedoch die Zahl der Rote-Liste-Arten¹ betrachtet, so verschiebt sich das Verhältnis (52 versus 116) deutlich hin zum Wilden See, d. h. die Arten mit hoher naturschutzfachlicher Bedeutung sind am Wilden See höher und auf den seit langer Zeit bestehenden Schutzstatus zurückzuführen. Auch die Zahl der Naturnähezeiger nach BLASCHKE et al. (2009) ist mit 6 (gegenüber 4 Arten im Sulzbachtal) höher.

Dennoch konnten wir zahlreiche seltene, aber im Gebiet zu erwartende Arten trotz gezielter Nachsuche nicht finden. Dazu gehören viele Ektomykorrhiza-Pilze, so alle Arten der Gattungen *Albatrellus* (Schafporlinge), *Ramaria* (Korallen, auch Saprobionten), *Hydnum* (Semmelstoppelpilze) und *Sarcodon* (Stachelinge), die aber an anderen Standorten im Nationalpark Schwarzwald vertreten und z. T. dort nicht selten sind. Aber auch einige im Nordschwarzwald nicht seltene lignicole Saprobionten konnten nicht nachgewiesen werden, so die auffälligen, meist auf Weiß-Tanne vorkommenden Arten *Hymenochaete cruenta*, *Fomitiporia hartigii*, *Ganoderma carnosum* und *Panellus violaceofulvus* (Kap. 3.5). Auffällig ist auch das weitgehende Fehlen von Bauchpilzen der Familie Lycoperdaceae, bei denen es sich überwiegend um Streuzersetzer handelt. Schließlich fehlen Arten zweier großer Ordnungen obligat-phytoparasitischer Pilze, die Falschen Mehlaupilze (Peronosporales) und Brandpilze s. str. (Ustilaginales). Vertreter dieser Ordnungen befallen ganz überwiegend krautige Pflanzen, die in Wäldern unterrepräsentiert sind. Ihr völliges Fehlen in den offenen Flächen der Grinde und an den Wegrändern ist jedoch außergewöhnlich. Aufgrund der keineswegs außergewöhnlichen Artenvielfalt und des Fehlens zahlreicher, wenngleich seltener, so doch leicht aufzufindender, für alte bodensaure Weiß-Tannen-Rot-Fichten-Wälder charakteristischer Arten kann das Untersuchungsgebiet sicherlich nicht als ein „Hotspot“ der Pilzartenvielfalt eingeordnet werden. Das Gebiet wurde nach dem Brand von 1800 über lange Zeit forstwirtschaftlich genutzt, seit 1911 geschützt und war 1919 nochmals von einem Brand betroffen. Heute ist es ein besonders geschützter Bestandteil

¹ STRITTMATTER et al. (2015) zitieren als Grundlage für ihre Gefährdungsstufen „PÄTZOLD et al., eingereicht“. Dieses Manuskript entspricht der später publizierten Roten Liste von DÄMMRICH et al. (2016) und damit der auch von uns zitierten Arbeit.

der Kernzone des Nationalparks. Der ehemalige erweiterte Bannwald Wilder See ist also gerade einmal gut 100 Jahre sich selbst überlassen, erkennbar unter anderem am hohen Rot-Fichtenanteil (ZIELEWSKA & ALDINGER 2013) und damit immer noch ein „Urwald-Baby“, das sich in weiteren Jahrhunderten vielleicht auch zu einem „Hotspot“ der Pilzartenvielfalt weiterentwickeln wird.

Die Veränderung der Funga

Eine anthropogene Veränderung des Artenbestandes der Pilze lässt sich für ein bestimmtes Gebiet direkt (durch Vergleich mit früheren Bestandsaufnahmen) oder indirekt dokumentieren (Nachweis des Vorkommens von bisher im Gebiet nicht heimischen Arten). Am Wilden See könnten hierzu Einträge von basenreichem Granitschotter bei der Anlage von Wegen, steigende Temperaturen als Folge des Klimawandels, der Eintrag von Schadstoffen und Stickstoff und die Einführung von exotischen Wirten beigetragen haben. Der exakte Nachweis ist nicht einfach, zumal viele Arten bodenvag sind, über die Temperaturpräferenzen noch wenig bekannt ist und Parasiten und vor allem Saprobionten ein breites Substrat- oder Wirtsspektrum haben können. Veränderungen im Artenbestand können sowohl Verluste als auch Zugewinne durch eingewanderte Arten sein.

Für die Ermittlung möglicher Verluste von Arten in den vergangenen 50 Jahren sind die Aufsammlungen von H. Neubert interessant. Von seinen insgesamt 125 Belegen und 43 Arten konnten 12 Schleimpilz- und 5 Nichtblätterspilz-Arten nicht bestätigt werden. Leider ist über die ökologischen Ansprüche der nicht wiedergefundenen Schleimpilze noch immer wenig bekannt. Viele Arten fruktifizieren vergleichsweise selten und nur über eine kurze Zeit des Jahres, und die kleinen Fruktifikationen verwittern schnell, insbesondere im sehr regenreichen Gebiet des Wilden Sees. Begehungen im Frühsommer sollten Arten wie *Cribraria argillacea* (von Neubert gefunden) oder die aus dem Komplex um *Tubifera ferruginosa* neu beschriebene *T. montana* (LEONTYEV et al. 2015) ergeben, nach Suche im Spätherbst beispielsweise das ebenfalls von Neubert gefundene *Lamproderma columbinum* (vgl. SCHNITTLER et al. 2010). Die oben erwähnten Arten sollten zur entsprechenden Zeit im Gebiet des Wilden Sees nicht selten sein. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei drei der fünf Nichtblätterspilze um seltene (*Hymenochaete fuliginosa*) oder taxonomisch problematische Sippen (*Antrodiella pallescens*, *Hypochnicium cremicolor*). Die beiden verbleibenden Arten *Calocera furcata* und *Hymenochaete cinnamomea* sind hingegen für Baden-Württemberg gut dokumentiert, jedoch gibt es von beiden Arten lediglich einen einzigen Nachweis und Aussagen über Häufigkeitsveränderungen wären somit spekulativ.

Einen Einfluss auf das Artenspektrum dürfte die Zunahme der Temperatur als Folge der globalen Klimaveränderung haben. Der Deutsche Wetterdienst zeichnet seit 1961 die Jahresdurchschnittstemperaturen an diversen Stationen im Schwarzwald auf, am Wilden See gibt es jedoch keine. Die Forstliche Versuchsanstalt Freiburg, Abt. Waldnaturschutz, hat nun vom Deutschen Wetterdienst gemessene Durchschnittstemperaturen in 60 Jahren (1961 bis 2020) genutzt, um

die Durchschnittstemperaturen und Trends am Wilden See zu ermitteln. Demnach sind die Jahresdurchschnittstemperaturen von 1961 von ca. 5,4 °C auf ca. 7,3 °C (2020) und somit um rund 1,9 °C angestiegen (Abbildung 12). Dies entspricht einer Höhenstufenverschiebung von ca. 300 m (H.-G. Michiels, persönliche Mitteilung).

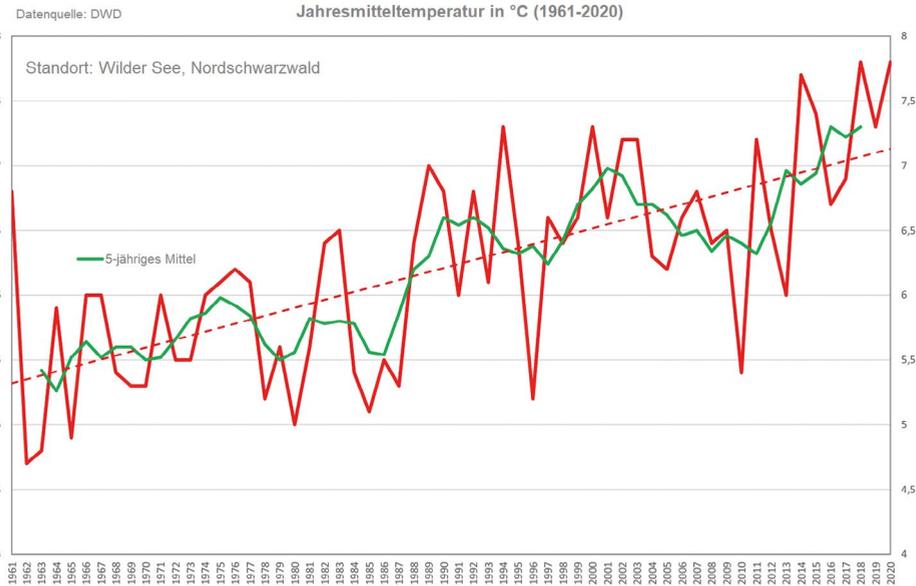


Abbildung 12: Jahresmitteltemperaturen (°C) am Wilden See von 1961 bis 2020 (Daten Deutscher Wetterdienst, Datenaufbereitung und Grafik: FVA, Abt. Waldnaturschutz, 2021).

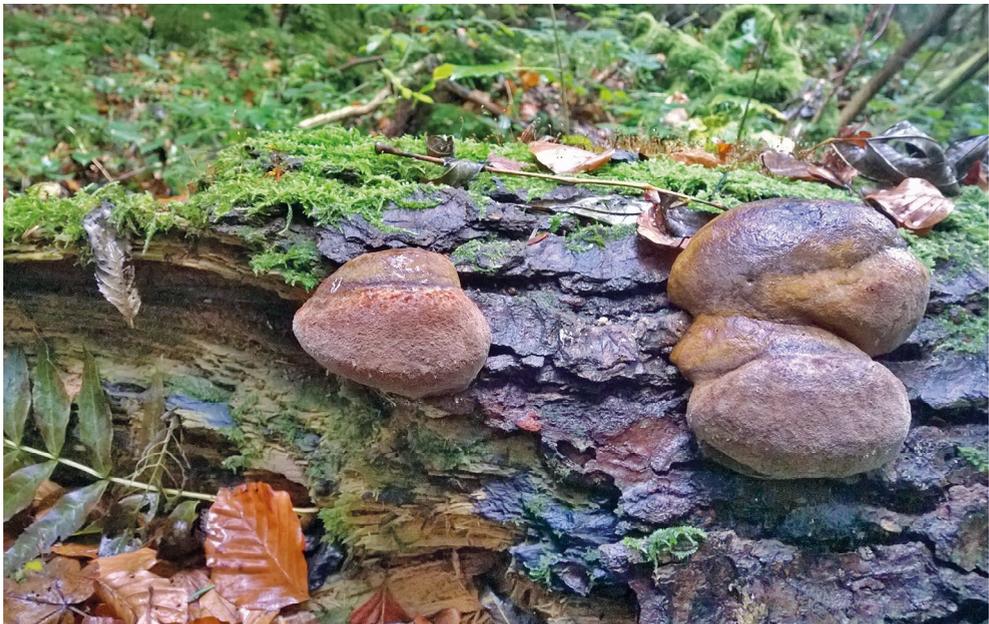


Abbildung 13: *Fomitiporia hartigii* (Tannen-Feuerschwamm).

Foto: M. SCHOLLER

Schon eine stichprobenartige Auswahl unter den lignicolen Nichtblätterpilzen aus dem Untersuchungsgebiet zeigt, dass ihre Fundpunkte häufig höher als die höchsten von KRIEGLSTEINER (2000a) für Baden-Württemberg angegebenen Fundpunkte liegen. Für letztgenanntes Werk wurden nur Daten bis zum August 1998 ausgewertet. So liegt der höchste Fundpunkt bei KRIEGLSTEINER (2000a) für *Aphanobasidium pseudotsugae* bei 720 m, am Wilden See bei knapp 1000 m, ähnliches gilt für *Phellinus punctatus* (970 m / 1035 m) und *Pseudomerulius aureus* (620 m / 900-1000 m). Bei diesen und zahlreichen weiteren Arten könnten die Temperaturanstiege zu einer vertikalen Ausbreitung oder sogar zum Verschwinden montaner Arten geführt haben.

Schließlich sei auch noch auf einen Fund von *Fomitiporia hartigii* (syn. *Phellinus hartigii*), dem Weiß-Tannen-Feuerschwamm, eingegangen. Neubert notierte diese Art 1969 vom Ufer des Wilden Sees. Da es keinen Beleg gibt, wurde er für die Auswertung nicht berücksichtigt (siehe hierzu der Kommentar zu *P. punctatus*, Kap. 3.5). Dieser Pilz kommt noch zerstreut im Nordschwarzwald vor (Abbildung 13 zeigt die Art im NSG „Lautenfelsen“ bei Lautenbach, Beleg KR-M-0043414), scheint aber im Rückgang begriffen. Die Art steht auf der Vorwarnliste der Roten Liste (RL V) und ist ähnlich *Cystostereum murrayi* und *Hericium alpestre* auf Weiß-Tannenthholz angewiesen. Die Bedingungen für den Weiß-Tannen-Feuerschwamm sind im Untersuchungsgebiet recht gut. Weshalb die Art nicht mehr vorkommt, ist für uns unerklärlich.

Im Gegensatz zu den Basidio- und einer Reihe von Ascomyceten mit ausdauernden Dikaryomycelien sind die aktiven Stadien der Myxomyceten (Amöben bzw. Plasmodien) kurzlebig und können bei Austrocknung oder extremen Temperaturen in Dauerstadien (Microzysten bzw. Sklerotien) übergehen (vgl. SCHNITTLER et al. 2011). Hier könnten schon plötzlich auftretende extreme Temperaturen eine Verschiebung des Artenspektrums bewirken. Gut belegt ist das für nivicole Myxomyceten: starker, schnell einsetzender Frost tötet die im Boden lebenden Myxamöben, bevor sie sich inkapseln können (SHCHEPIN et al. 2014). Wenn starker Bodenfrost vor dem ersten Schneefall einsetzt, gibt es trotz nachfolgender günstiger Bedingungen im nächsten Frühjahr keine Fruktifikationen, da der Boden unter dem Schnee gefroren bleibt (SCHNITTLER et al. 2015, BORG DAHL et al. 2019). Andererseits können die Myxamöben auch im Tiefland bei milden Temperaturen überleben (FIORE-DONNO et al. 2016, SHCHEPIN et al. 2019); es kommt dann jedoch in der weiteren Entwicklung nicht zur Fruktifikation. Für den Schwarzwald könnte das bedeuten, dass sich Jahre mit ausbleibender Fruktifikation und damit fehlender Sporenbildung häufen, wenn Wetterepisoden mit extremen Temperaturen im Winterhalbjahr zunehmen. Dies wiederum hätte einen negativen Einfluss auf die Rekombinationsrate und die Verbreitung.

Verluste dürfte es vor allem bei den Flechten geben. So sind Arten, die durch die SO₂-Einträge in den 1970er und 1980er Jahren vielerorts verschwunden sind (z. B. KIRSCHBAUM & WIRTH 2010), noch immer nicht zurückgekehrt, so zahlreiche Arten der Bartflechtengattungen *Alectoria*, *Bryoria* und *Usnea*. Möglicherweise

liegt dies auch an hohen Stickstoffeinträgen, die in den Kammlagen des Schwarzwaldes die höchsten in Baden-Württemberg sind (H.-G. Michiels, persönliche Mitteilung). Sie werden für weitere Artenverluste verantwortlich gemacht, auch für häufig anzutreffende verfärbte und geschädigte Thalli, so im Bereich der Grinden (siehe Kap. 3.3).

Etwas anders verhält es sich bei zwei weiteren lignicolen Arten, die sich anhand der roten Farben der Fruchtkörper leicht erkennen und auffinden lassen und deren Arealveränderung deshalb besser dokumentiert wurde: *Pycnoporellus fulgens* und *Rhodonía placenta* konnten ebenfalls in deutlich höheren Lagen als der höchste angegebene Fundpunkt bei KRIEGLSTEINER (2000a) gefunden werden. Die beiden Arten werden von KRIEGLSTEINER (l. c.) erst in den 1970er Jahren für Baden-Württemberg und den Schwarzwald dokumentiert, tatsächlich sind die beiden Arten heute im Schwarzwald wohl ziemlich häufig. Sie haben ihr Areal in Baden-Württemberg offensichtlich horizontal und, unterstützt durch höhere Temperaturen, auch vertikal erweitert und können im Untersuchungsgebiet als Neomyceten² eingestuft werden. *Pycnoporellus fulgens* wird auch in der Schweiz als Neomycet geführt (BEENKEN & SENN-IRLET 2016). Die beiden Arten haben somit zu einer Bereicherung der Funga beigetragen (vgl. auch Kap. 3.5).

Neben diesen drei lignicolen Arten gibt es zahlreiche weitere Neomyceten; die meisten sind basiphile Ektomykorrhiza-Pilze, die im Untersuchungsgebiet auf geschotterten Böden an Wegen vorkommen. Diese haben einen deutlich höheren pH-Wert als die natürlicherweise vorkommenden sauren Buntsandsteinböden (Abbildung 1, Tabelle 1) und sind oft sehr artenreich. Die meisten Risspilze (Inocybaceae spp.), wird einmal von den nachweislich azidophilen Arten *Inocybe lanuginosa*, *I. napipes*, *I. soluta*, *I. subcarpta*, *I. sphagnophila* und *I. mixtilis* (D. Bandini, persönliche Mitteilung) abgesehen, wurden hier gefunden, ebenso Milchlinge (so der basiphile *Lactarius semisanguifluus*), Täublinge (*Russula delica* s. l., *R. queletii*, *R. sanguinea*) und zwei *Clavulina*-Arten. Auch der Lachsreizker (*Lactarius salmonicolor*), ein obligater Mykorrhiza-Pilz der Weiß-Tanne, scheint basenreiche neutrale Böden zu bevorzugen (KRIEGLSTEINER 2000b), wenngleich die Art im Schwarzwald auch schon auf sauren Böden nachgewiesen wurde (B. Miggel, persönliche Mitteilung). Die Art wurde lediglich ein einziges Mal auf einem Schotterpfad (Standort Probe 5) bei einer alten Weiß-Tanne gefunden. Interessanterweise haben sich keine basiphilen Arten der Schleierlinge (*Cortinarius* spp.), Fälblinge (*Hebeloma* spp.) und weitere in Kap. 3.7 aufgelistete Ektomykorrhizapilze angesiedelt. Abbildung 14 zeigt die perlschnurartige Verbreitung vieler Risspilze (Inocybaceae spp.) entlang der geschotterten Wege der Grinden und in den Rot-Fichtenbeständen östlich der Karwand (Abbildung 14, oben) sowie die meist abseits dieser Wege gefundenen Schleierlinge (Abbildung 14, unten).

² Eingewanderte Pilze werden nach KREISEL & SCHOLLER (1994) als Sippen definiert, die nach 1492 mit Hilfe des Menschen in ein Gebiet eingewandert sind. Der Einfachheit wird für die statistische Auswertung nicht zwischen etablierten Sippen (Neomyceten) und nicht etablierten Sippen (Ephemeromyceten) differenziert.

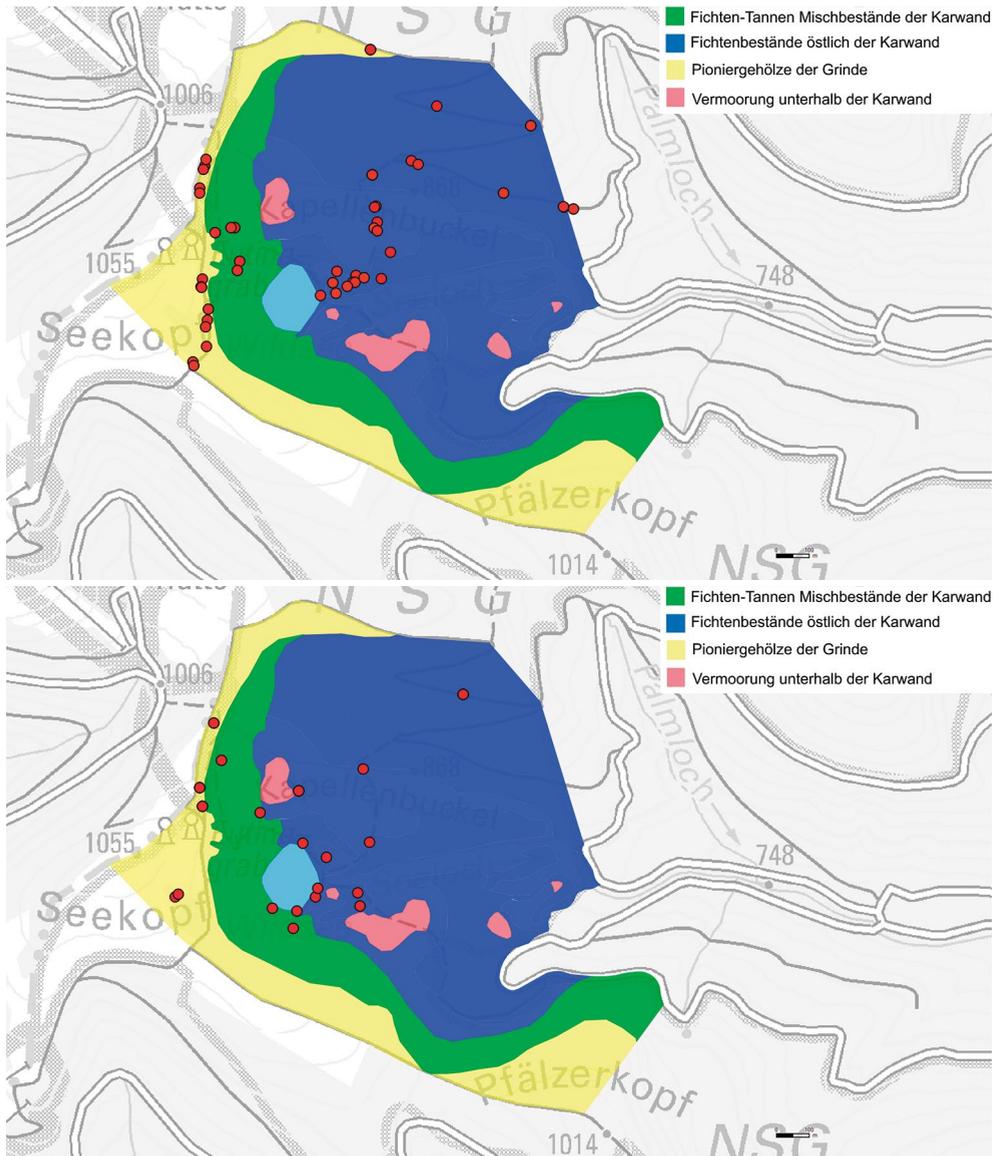


Abbildung 14: Verbreitung von Arten der Risspilze (*Inocybaceae* spp.) (oben) und der Schleierlinge (*Cortinariaceae* spp.) (unten).

Zu den wenigen basiphilen Streuzersettern gehört der Orangebecherling (*Aleuria aurantiaca*). Die sonstigen Streuzersetzer, auch die aus der Unterabteilung Agaricomycotina, dürften wohl alle Besiedler saurer Böden sein. Die kalkliebende Flechte *Verrucaria muralis* auf den Mörtelfugen der Mauer an der Pumpanlage in der Karwand gilt als eingewanderte Art. Vermutlich sind auch einige der nur an behauenen Stein vorkommenden Arten im Gebiet nicht indigen, ebenso wie der auf Blättern der natürlich nicht im Gebiet vorkommenden Esskastanie (*Castanea sativa*) lebende parasitische Kleinpilz *Phyllosticta castaneae*. Wir nehmen auch

an, dass mit der forstwirtschaftlichen Einführung der Rot-Fichte (*Picea abies*) als Forstgehölz nach 1800 noch zahlreiche weitere an die Rot-Fichte gebundene Arten in das Gebiet eingewandert sind.³ Leider lässt sich das schwerlich beweisen. Interessant ist, dass für die nordamerikanische Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), die recht häufig im Gebiet gepflanzt wurde (und sich sogar im Gebiet vermehrt, Beobachtung Markus Scholler), kein einziger Begleitpilz nachgewiesen werden konnte, also im Gebiet möglicherweise weder Parasiten noch Saprobionten noch Mykorrhizapilzen dient.

Trockenwarme Bedingungen begünstigen viele Echte Mehltaupilze (Erysiphales). Sehr häufig sind sie synanthrop in Städten zu finden, wo viele als Störungszeiger gelten (SCHOLLER 1996, BRESINSKY 2016). Hierzu gehören die im Gebiet nachgewiesenen Arten *Golovinomyces sordidus*, *Podosphaera erigerontis-canadensis* und *P. senecionis*. Symptomatisch ist, dass die Arten sich nur im trockenheißen Sommer des Jahres 2018 und dies ganz überwiegend im Bereich des touristisch stark frequentierten Eutinggrabs zeigten. Ob diese Arten sich nur vorübergehend dort angesiedelt haben (Ephemeromyceten nach KREISEL & SCHOLLER 1994) oder ob sie sich etablieren konnten, bedarf der Überprüfung.

Wir vermuten, dass von den 696 Arten rund 25-30 Arten nicht natürlicher Bestandteil der Funga des Untersuchungsgebiets sind. Dies entspricht einem Anteil von rund 4 %. Darüber, ob die Zugewinne durch Neomyceten die Verluste ausgleichen oder sogar übertreffen konnten, lässt sich nur spekulieren. Für fundierte Aussagen fehlt es an historischem Datenmaterial.

Die Bedeutung der Weiß-Tanne (*Abies alba*) für die Mykodiversität

Die Weiß-Tanne ist die wichtigste natürlich vorkommende Nadelbaumart in Baden-Württemberg. Ursprünglich war sie im Schwarzwald zusammen mit der Rotbuche die dominierende Baumart (KOHNLE et al. 2011). Trotz der historischen forstwirtschaftlich bedingten Verdrängung durch die Rot-Fichte liegt der Tannenanteil in Baden-Württemberg mit Schwerpunkt Schwarzwald bei 7 % und ist damit der größte in Deutschland (KOHNLE et al. 2011, RÖSCH 2015). Im Untersuchungsgebiet ist die Rot-Fichte nach wie vor die mit Abstand häufigste Baumart, jedoch profitiert die Weiß-Tanne zunehmend von der Auflichtung als Folge des Rot-Fichtensterbens durch Borkenkäfer (ZIELEWSKA & ALDINGER 2013) und der besseren Anpassung an steigende Temperaturen als Folge der weltweiten Klimaverschiebung (KOHNLE et al. 2011, siehe auch Abbildung 12). Auch aktuell sind im Gebiet viele Rot-Fichten vom Borkenkäfer befallen und sterben ab (vgl. Kap. 1, Abbildungen 9, 10).

Die Bedeutung der Weiß-Tanne für die mitteleuropäische Pilzartenvielfalt ist mehrfach dokumentiert, so für Großpilze (JAHN 1968, STRITTMATTER et al. 2015), endophytische (SIEBER-CANAVESI & SIEBER 1987) und parasitische (BRANDENBURGER 1985, KLENKE & SCHOLLER 2015) Pilze. Untersuchungen von JAHN (1968) im Schwarzwald und Böhmerwald, von KRIEGLSTEINER (1977) im Welzheimer Wald und

³ Ob auch die Rot-Fichte vereinzelt im Gebiet vorkam, bleibt umstritten (siehe Kap. 1).

jüngste Untersuchungen von HOLEC & KUČERA (2020) im Boubínský-Urwald des Böhmerwalds (Tschechien) bestätigen dies.

Auch unsere Untersuchungen bestätigen dies, wenn die Anzahl der Saprobionten und Parasiten auf Rot-Fichte mit der auf der Weiß-Tanne verglichen wird, die mit deutlich geringerer Abundanz vertreten ist. Interessant ist auch, dass immerhin 61 Arten und 16 Rote-Liste-Arten nur an Weiß-Tanne gefunden wurden. Hinzu kommen auch Schleimpilze und Flechten, die in der Regel keine starke „Substrat-Bindung“ haben, interessanterweise aber nur auf Weiß-Tanne gefunden wurden. Dies sind acht Flechten-Arten, *Arthonia leucopellea*, *Bryoria capillaris*, *Fellhanera boutheillei*, *Haematomma ochroleucum*, *Lepraria vouauxii*, *Psilolechia clavulifera*, *Scliciosporum curvatum* und *Usnea dasypoga* sowie drei Schleimpilze, *Diderma microcarpum*, *Hemitrichia clavata* und *Licea biforis*. Bei den Ektomykorrhiza-Pilzen gibt es nur eine Art, *Lactarius salmonicolor*, die streng an Weiß-Tanne gebunden ist (KRIEGLSTEINER 2000b). Dagegen sind *Cortinarius obtusus* und *Caloboletus calopus* eher ausnahmsweise Weiß-Tannenbegleiter, obwohl sie im Gebiet nur bei Weiß-Tanne gefunden wurden. Alle anderen Arten sind auch als Symbiose-Partner der Rot-Fichte bekannt, und da Weiß-Tannen und Rot-Fichten im Gebiet meist dicht beieinander wachsen, ist eine sichere Zuordnung oft nicht möglich. Schließlich gibt es noch fünf Arten wirtswechselnder Rostpilze, für die *A. alba* der obligate Aecienwirt ist. Dies zeigt, dass die Zahl der Arten ohne Anwesenheit der Weiß-Tanne deutlich geringer wäre und keineswegs durch die anderen Nadelbäume im Gebiet (*Picea abies*, *Pinus mugo*, *P. sylvestris*, *Pseudotsuga menziesii*) kompensiert werden kann.

Die Bedeutung alter Weiß-Tannen für bestimmte lignicole Pilze wurde bereits diskutiert. Stellvertretend für zahlreiche weitere Arten seien hier *Cystostereum murrayi* (Kap. 3.5, Abbildung 15, 16) und *Hericium alpestre* (Kap. 3.5, Abbildung 28) genannt. Diese Arten kommen nur auf Totholz sehr alter Bäume vor. Diese alten Bäume, die aus der Zeit vor 1800 stammen, befinden sich noch in Restbeständen in der Karwand westlich, nordwestlich und südlich und vereinzelt östlich des Sees. Diese Gebiete mit alten Weiß-Tannen sind sicherlich die wertvollsten und gleichzeitig natürlichsten im ehemaligen Bannwald Wilder See. Eine Vielzahl seltener Arten aus anderen Organismengruppen (z. B. xylobionte Käfer) dürften dort ebenfalls zu finden sein.

Lebende Weiß-Tannen, häufig auch alte Individuen, haben schließlich eine enorme Bedeutung für den Wirtswechsel bestimmter Rostpilzarten, die als Parasiten lebende Weiß-Tannen befallen. Den Arten *Calyptospora columnaris*, *Melampsorella elatina*, *Milesina blechni*, *M. kriegeria* und *Pucciniastrum epilobi* dient die Weiß-Tanne im Untersuchungsgebiet als Aecienwirt, auf dem die Sporenstadien O und I gebildet werden. Rostpilze können grundsätzlich ohne Aecienwirt leben (SCHOLLER et al. 2019) und die o. g. Arten kommen deshalb auch in Gebieten vor, in denen die Weiß-Tanne komplett fehlt und die Pilze allein auf dem Telienwirt (mit den Sporenstadien II, III und IV) leben. Die Reproduktion erfolgt dann rein mitotisch, eine Neukombination des Erbguts findet also nicht statt. Somit trägt die Weiß-Tanne auch ganz wesentlich zur genetischen Vielfalt der meist seltenen Weiß-Tannen-Rostpilze bei.

Bleibt anzumerken, dass Sequenzanalysen in diesem Projekt einen wichtigen Stellenwert hatten und auch für zukünftige mykofloristische Untersuchungen zu empfehlen sind. Dies zeigt vielleicht am besten das Beispiel wirtswechselnder Rostpilze, wo zum ersten Mal Belege der Gattung *Milesina* auf dem Aecienwirt (*Abies alba*) mit Hilfe eines rDNA-Markergens einer Sektion (Abbildung 15) und mit Hilfe eines zweiten Markers (*nad6*) sogar einer Art zugeordnet werden konnten und der Wirtswechsel z. T. mit Material vom Wilden See abgesichert wurde (BUBNER et al. 2019) (siehe hierzu auch die Illustrationen der Entwicklungszyklen in Kap. 3.2). Eine Bestimmung der Sektion oder der Art auf dem Telienwirt (diverse Farnarten) ist anhand der Urediniosporen mit lichtmikroskopischen Methoden möglich (siehe auch Abbildung 15), nicht bzw. noch nicht hingegen auf dem Aecienwirt (*Abies*).

Dank

Dr. Hans-Gerhard Michiels und Kollegen der Forstlichen Versuchsanstalt Freiburg, Abteilung Waldschutz, berechneten mit Hilfe von Daten des Deutschen Wetterdienstes die Temperaturverschiebung am Wilden See und erstellten die Grafik in Abbildung 12. Wichtige Informationen lieferten Dr. Ditte Bandini, Dr. Ursula Eberhardt, Bernd Miggel, Harald Obenauer, Dr. Bernd Oertel, Günter Saar, Prof. Martin Schnittler, der auch wichtige Textbeiträge zu Myxomyceten lieferte, und Dr. Martin Weckesser. Den Kollegen Dr. Hans-Gerhard Michiels, Dr. Josef Simmel und Max Wieners danken wir für die Durchsicht des Manuskripts und viele gute Hinweise, u. a. zu weiterer Literatur. J. Simmel und M. Weckesser lieferten zusätzlich wichtige Informationen zu den Bodenproben.

Literatur

- BANDINI D, OERTEL B, PLOCH S, ALI T, VAURAS J, SCHNEIDER A, SCHOLLER M, EBERHARDT U, THINES M (2019) Revision of some central European species of *Inocybe* (Fr.: Fr.) Fr. subgenus *Inocybe*, with the description of five new species. *Mycological Progress* 18:247-294.
- BANDINI D, OERTEL B, SCHÜSSLER C, EBERHARDT E (2020) Noch mehr Risspilze: Fünfzehn neue und zwei wenig bekannte Arten der Gattung *Inocybe*. *Mycologia Bavarica* 20:13-101.
- BARAL H O, WEBER E, GAMS W, HAGEDORN G, LIU B, LIU X, MARSON G, MARVANOVÁ L, STADLER M, WEISS M (2018) Generic names in the Orbiliaceae (Orbiliomycetes) and recommendations on which names should be protected or suppressed. *Mycological Progress* 17:5-31.
- BEENKEN L, SENN-IRLET B (2016) Neomyceten in der Schweiz. Stand des Wissens und Abschätzung des Schadpotentials der mit Pflanzen assoziierten gebietsfremden Pilze. *WSL Berichte* 50:1-93.
- BEKER J, EBERHARDT U, VESTERHOLT J (2016) *Hebeloma* (Fr.) P. Kummer. *Fungi Europaei*. Edizioni Tecnografica. Lomazzo, Italy, 1232 S.
- BEMMANN M (2013) *Lachnellula fuckelii* (Bres. ex Rehm) Dharne, ein in Baden-Württemberg kaum beobachteter Ascomyzet. *Carolinaea* 71:161-164.
- BERNICCHIA A, GORJÓN S P (2010) Corticiaceae s. l. *Fungi Europaei*, Vol. 12. Edizioni Candusso, Alassio, 1008 S.

- BLASCHKE M, HELFER W, OSTROW H, HAHN C, LOY H, BUSSLER H, KRIEGLSTEINER L (2009) Naturnähezeiger - Holz bewohnende Pilze als Indikatoren für Strukturqualität im Wald. *Natur und Landschaft* 84(12):560-566.
- BORG DAHL M, BREJNROD A D, RUSSEL J, SØRENSEN S J, SCHNITTLER M (2019) Different degrees of niche differentiation for bacteria, fungi and myxomycetes within an elevational transect in the German Alps. *Microbial Ecology* 78(3):764-780.
- BRANDENBURGER W (1985) Parasitische Pilze an Gefäßpflanzen in Europa. G. Fischer, Stuttgart, New York, 1248 S.
- BRAUNISCH V, HAUCK F, DALÜGE N, HOSCHEK M, BALLENTHIEN E, WINTER M B, MICHIELS H-G (2020) Waldzielartenkonzept und Waldnaturschutz-Informationssystem - Instrumente zur Artenförderung im Staatswald von Baden-Württemberg. *standort.wald* 51:53-76.
- BRESCIA F, PITELAS W, POPA F, YALMAN S, HAUSMANN H, WENDE R, FRAATZ M, ZORN H (2021) Formation of Diastereomeric Dihydromenthofuroolactones by *Cystostereum murrayi* and Aroma Dilution Analysis (ADA) based on Dynamic Headspace Technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69(21):5997-6004.
- BRESINSKY A (2016) Echte Mehltaupilze in Bayern - eine vorläufige Übersicht. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 86:163-212.
- BUBNER B, BUCHHEIT R, FRIEDRICH F, KUMMER V, SCHOLLER M (2019) Species identification of European forest pathogens of the genus *Milesina* (Pucciniales) using urediniospore morphology and molecular barcoding including *M. woodwardiana* sp. nov. *MycKeys* 48:1-40.
- CHAO A, MA K H, HSIEH T C (2016) iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/.
- CHAPMAN A D (2009) Numbers of living species in Australia and the world (2nd Edition). Australian Biological Resources Study, Canberra, S. 1-80.
- CHEN H, BOUTROS P C (2011) VennDiagram: a package for the generation of highly-customizable Venn and Euler diagrams in R. *BMC Bioinformatics* 12:35.
- DÄMMRICH F, LOTZ-WINTER H, SCHMIDT M, PÄTZOLD W, OTTO P, SCHMITT J A, SCHOLLER M, SCHURIG B, WINTERHOFF W, GMINDER A, HARDTKE H J, HIRSCH G, KARASCH P, LÜDERITZ M, SCHMIDT-STOHN G, SIEPE K, TÄGLICH U, WÖLDECKE K (2016) Rote Liste der Großpilze und vorläufige Gesamtartenliste der Ständer- und Schlauchpilze (Basidiomycota und Ascomycota) Deutschlands mit Ausnahme der Flechten und der phytoparasitischen Kleinpilze. In: MATZKE-HAJEK G, LUDWIG G, HOFBAUER N (Red.) Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Bd. 8: Pilze (Teil 1) - Großpilze. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70(8):31-433.
- FIGLIORE-DONNO A M, WEINERT J, WUBET T, BONKOWSKI M (2016) Metacommunity analysis of amoeboid protists in grassland soils. *Scientific Reports* 11(6):19068.
- FOITZIK O (1992) Provisorische Rote Liste der phytoparasitischen Pilze (Erysiphales, Uredinales et Ustilaginales) Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 28:427-480.
- GÄRTNER S, BERNAUER T, BIRK S, BUSE J, DEL VAL E, DREISER C, KRATZER R, POPA F, FÖRSCHLER M (o. J.) Monitoring der natürlichen Waldentwicklung im Nationalpark Schwarzwald. - Veröffentlichung in Vorbereitung.
- GMINDER A, SAAR G (2012) Ergänzungen zur Großpilzflora von Baden-Württemberg. *Andrias* 19:185-224.
- GÖRKE C, MÜLLER E (2021) *Phlebia centrifuga* ist auch im Südwesten Deutschlands auf Laubholz umgestiegen. *Südwestdeutsche Pilzrundschau* 57(2):70-74.

- HAAS H (1958) Die Pilzflora der Tannenmischwälder an der Muschelkalk-Buntsandsteingrenze des Ost-Schwarzwaldes. Zeitschrift für Pilzkunde 24:61-67.
- HALME P, KOTIAHO J S (2012) The importance of timing and number of surveys in fungal biodiversity research. Biodiversity and Conservation 21(1):205-219.
- HAWKSWORTH D L, LÜCKING R (2018) Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. In: HEITMAN J, HOWLETT B J, CROUS P W, STUKENBROCK E H, JAMES T Y, GOW N A R (eds.) The Fungal Kingdom. ASM Press, Washington, DC, S. 79-95.
- HOLEC J, KUČERA T (2020) Richness and composition of macrofungi on large decaying trees in a Central European old-growth forest: a case study on silver fir (*Abies alba*). Mycological Progress 19:1429-1443. <https://doi.org/10.1007/s11557-020-01637-w>.
- JAHN H (1968) Pilze an Weiß-Tanne (*Abies alba*). Westfälische Pilzbriefe 7(2):17-40.
- KIRSCHBAUM U, WIRTH V (2010) Flechten erkennen - Umwelt bewerten. 3. Auflage. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden, 204 S.
- KLENKE F, SCHOLLER M (2015) Pflanzenparasitische Kleinpilze. Springer, Berlin, Heidelberg, 1172 S.
- KOHNLE U, CHAOFANG Y, CULLMANN D (2011) Wachstum der Weiß-Tanne in Südwestdeutschland. <http://www.waldwissen.net> (Stand 15.3.2011).
- KOST G, HAAS H (1989) Die Pilzflora von Bannwäldern in Baden-Württemberg. Ein Beitrag zur Kenntnis der Vergesellschaftung Höherer Pilze in einigen süddeutschen Waldgesellschaften. In: Mykologische und ökologische Untersuchungen in Waldschutzgebieten. Mitteilungen forstliche Versuchs- u. Forschungsanstalt Baden-Württemberg „Reihe Waldschutzgebiete“ 4:9-182.
- KREISEL H, SCHOLLER M (1994) Chronology of phytoparasitic fungi introduced to Germany and adjacent countries. Botanica Acta 107:387-392.
- KRIEBITZSCH W U, BÜLTMANN H, VON OHEIMB G, SCHMIDT M, THIEL H, EWALD J (2013) Waldspezifische Vielfalt der Gefäßpflanzen, Moose und Flechten. In: KRAUS D, KRUMM F (Hrsg.) Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern. European Forest Institute, S. 164-175.
- KRIEGLSTEINER G J (1977) Die Makromyzeten der Tannen-Mischwälder des Inneren Schwäbisch-Fränkischen Waldes (Ostwürttemberg) mit besonderer Berücksichtigung des Welzheimer Waldes. Floristische, chorologische, soziologische und ökologische Studien 1968 - 1977. Lempp Verlag, Schwäbisch-Gmünd, 195 S.
- KRIEGLSTEINER G J (2000a) Die Großpilze Baden-Württembergs. Band 1: Allgemeiner Teil. Ständerpilze: Gallert-, Rinden-, Stachel- und Porenpilze. Eugen Ulmer, Stuttgart, 629 S.
- KRIEGLSTEINER G J (2000b) Die Großpilze Baden-Württembergs. Band 2: Ständerpilze: Leisten-, Keulen-, Korallen- und Stoppelpilze, Bauchpilze, Röhrlings- und Täublingsartige. Eugen Ulmer, Stuttgart, 620 S.
- LABER D (2009) Die Funga der Moore des Schwarzwaldes. Beiheft zur Zeitschrift für Mykologie, Band 11. IHW-Verlag, Eching, 208 S.
- LABER P, LABER D (1976) Pilzflora im Bannwald Conventwald. Südwestdeutsche Pilzrundschau 12(2):2-7.
- LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1972) Geologische Karte 1:25.000, Blatt 7415 Seebach. 1. Auflage von 1907, unveränderter Neudruck. Stuttgart.
- LEBERECHT M, TU J, POLLE A (2016) Acid and calcareous soils affect nitrogen nutrition and organic nitrogen uptake by beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.) under drought, and their ectomycorrhizal community structure. Plant Soil 409:143-157.

- LEONTYEV D L, SCHNITTLER M, STEPHENSON S L (2015) A critical revision of the *Tubifera ferruginosa*-complex. *Mycologia* 107(5):959-985.
- LOTZ-WINTER H, POPA F, RESCHKE K, WOERLY B, HERTENSTEIN A, PIEPENBRING M (2021) *Resupinatus striatulus* (Pers.: Fr.) Murrill im Nationalpark Schwarzwald. Neue Funde einer seit 80 Jahren für Deutschland nicht mehr nachgewiesenen Art. *Zeitschrift für Mykologie* 87:3-15.
- MACHEREY-NAGEL (2019) VISOCOLOR® Bodenkoffer. Handbuch (<http://www.mn-net.com>).
- NEUBERT H (1980) Myxomyceten aus der Bundesrepublik Deutschland - I. Ein neuer Myxomycet aus dem nördlichen Schwarzwald. *Zeitschrift für Mykologie* 46:217-220.
- NEUBERT H, NOWOTNY W, BAUMANN K (1993) Die Myxomyceten Deutschlands und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderer Berücksichtigung Österreichs. Band 1. Ceratiomyxales, Echinosteliales, Liceales, Trichiales. Karlheinz Baumann Verlag, Gomaringen, 343 S.
- NEUBERT H, NOWOTNY W, BAUMANN K (1995) Die Myxomyceten Deutschlands und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderer Berücksichtigung Österreichs. Band 2. Physarales. Karlheinz Baumann Verlag, Gomaringen, 368 S.
- NEUBERT H, NOWOTNY W, BAUMANN K (2000) Die Myxomyceten Deutschlands und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderer Berücksichtigung Österreichs. Band 3. Stemonitales. Karlheinz Baumann Verlag, Gomaringen, 391 S.
- QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- R CORE TEAM (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- RÖSCH M (2015) *Abies alba* and *Homo sapiens* in the Schwarzwald - a difficult story. *IAN-SA* 5(1):47-62.
- SARKAR D (2008) *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. Springer, New York, 159 S. <http://lmdvr.r-forge.r-project.org>.
- SCHNITTLER M, ERASTOVA D A, SHCHEPIN O N, HEINRICH E, NOVOZHILOV Y K (2015) Four years in the Caucasus - observations on the ecology of nivicolous myxomycetes. *Fungal Ecology* 14:105-115.
- SCHNITTLER M, KUMMER V, KUHN A, KRIEGLSTEINER L, FLATAU L, MÜLLER M (2011) Rote Liste und Gesamtartenliste der Schleimpilze (Myxomycetes) Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 70:125-234.
- SCHNITTLER M, NOVOZHILOV Y K (1998) Late-autumn Myxomycetes of the Northern Ammergauer Alps. *Nova Hedwigia* 66:205-222.
- SCHNITTLER M, UNTERSEHER M, PFEIFFER T, NOVOZHILOV Y K, FIORE-DONNO A M (2010) Ecology of sandstone ravine myxomycetes from Saxonian Switzerland (Germany). *Nova Hedwigia* 90:227-302.
- SCHOLLER M (1996) Die Erysiphales, Pucciniales und Ustilaginales der Vorpommerschen Boddenlandschaft. Ökologisch-floristische, florensgeschichtliche und morphologisch-taxonomische Untersuchungen. *Regensburger Mykologische Schriften* 6:1-325.
- SCHOLLER M (2012) *Leben nach dem Tod: Die Sammlungen des Pilzherbariums am Staatlichen Museum für Naturkunde (KR)*. *Andrias* 19:139-144.
- SCHOLLER M, BERNAUER T, EBEL C, MIGGEL B, MURMANN-KRISTEN L, SCHNITTLER M (2013) Eine mykologische Bestandsaufnahme des Bannwalds „Wilder See - Hornisgrinde“ (Nordschwarzwald, Baden-Württemberg). *Carolinea* 71:153-195.

- SCHOLLER M, LUTZ M, AIME M C (2019) Repeated formation of correlated species in *Tranzschelia* (Pucciniales). *Mycological Progress* 18:295-303.
- SHCHEPIN O N, NOVOZHILOV Y K, SCHNITTLER M (2014) Nivicolous myxomycetes in agar culture: some results and open problems. *Protistology* 8(2):53-61.
- SHCHEPIN O N, SCHNITTLER M, ERASTOVA D A, PRIKHODKO I S, BORG DAHL M, AZAROV D V, CHERNYAEVA E N, NOVOZHILOV Y K (2019) Community of litter-inhabiting dark-spored myxomycetes in taiga forest (Nizhne-Svirskiy Reserve, Russia) revealed by DNA metabarcoding. *Fungal Ecology* 39:80-93.
- SIEBER-CANAVESI F, SIEBER T N (1987) Endophytische Pilze in Tanne (*Abies alba* Mill.). Vergleich zweier Standorte im Schweizer Mittelland (Naturwald-Aufforstung). *Sydowia* 40:250-273.
- STRITTMATTER E, BAIREUTHER S, OBENAUER H (2015) Großpilze des unteren Sulzbachtales - ein Beitrag zur Kenntnis der Funga des Südwestschwarzwaldes. *Zeitschrift für Mykologie* 81(1):81-184.
- WEISS M, BAUER R, SAMPAIO J P, OBERWINKLER F (2014) 12 Tremellomycetes and Related Groups. In: MCLAUGHLIN D, SPATAFORA J (eds.) *Systematics and Evolution. The Mycota (A Comprehensive Treatise on Fungi as Experimental Systems for Basic and Applied Research)*, Vol. 7A. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 331-355.
- WICKHAM H (2016) *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer, New York, 213 S. <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- WIENERS M, REINHARD A, FÖRSCHLER M, SCHOLLER M (2016) The rare polypore *Antrodiella citrinella* and its special phenology in the Black Forest National Park (Germany). *Journal of Biodiversity and Endangered Species* 4(2):1-5.
- WIRTH V (1995) *Die Flechten Baden-Württembergs*, 2 Bände, 2. Auflage. Ulmer-Verlag, Stuttgart, 528 S.
- ZIELEWSKA K, ALDINGER E (2013) Totholz- und Walddynamik im Bannwald Wilder See. *AFZ - Der Wald* 68(8):9-11.