

Veränderungen der Biotop- und Strukturtypenausstattung des Fürstenwaldes bei Freiberg (Sachsen) zwischen 2005 und 2020

Changes in the habitat and structural type composition of the Fürstenwald near Freiberg (Saxony) between 2005 and 2020

Elke Richert, Leonie Gabler, Linda-Sophie Kunz,
Sophie Döring, Juliane Schaefer, Roland Achtziger

Zusammenfassung: Die extreme Trockenheit der Jahre 2018 und 2019 sowie Stürme und Schädlingsbefall haben zu erheblichen Bestandsveränderungen insbesondere bei Nadelforsten, aber auch bei Laubwäldern geführt. Im Rahmen der Lehrveranstaltung „Biotop- und Landschaftsmanagement“ im Masterstudiengang Geoökologie der TU Bergakademie Freiberg wurden anhand einer 2020 durchgeführten Biototypenkartierung die von Bäumen geprägten Wald- bzw. Forstbiototypen hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung und -vielfalt, ihrer Schichtung und dem Vorkommen von Totholz in einem Teilgebiet des Fürstenwaldes nördlich der Stadt Freiberg charakterisiert. Die zeitliche Entwicklung der Forstbestände im Gebiet wurde mit Hilfe von Luftbildern der letzten 15 Jahre und den Ergebnissen der BTLNK 2005 analysiert. Zur Beurteilung der Altersstruktur der Bestände wurden fünf Strukturtypen unterschieden: Altbestand, Dickung, mehrjährige und junge Anpflanzung sowie Pionierbewuchs. Bei der Biototypenkartierung 2020 wurden sieben Biototypen identifiziert: Laubwald, Laub-Mischwald, Laub-Nadelmischwald, Nadel-Laubmischwald, Nadelmischwald, Nadelwald/-forst und Ruderalflächen mit Pionierarten. Die häufigsten Biototypen waren Laub-Mischwald, Nadelwald und Nadel-Laubmischwald, der häufigste Strukturtyp war der Altbestand. Mischwälder wiesen am häufigsten Naturverjüngung und Totholz auf und waren arten- und struktureich. Reine Nadel- und Laubwaldbestände hingegen waren artenarm, häufig nur einschichtig und wiesen selten Naturverjüngung und Totholz auf. Allgemein wiesen Bestände mit Vorkommen von Rotbuche häufig auch Pionierbaumarten und weitere Laubbaumarten auf. Bei der Biotop- und Landnutzungskartierung 2005 prägten überwiegend Nadelwälder mit Fichten das Untersuchungsgebiet. Dieser Biototyp ging im Laufe der Jahre um 60 % zurück, wohingegen der Anteil an Wäldern mit Beteiligung von Laubbäumen um 80 % zunahm. Für die Anpassung der Wälder und Forste Sachsens an die Folgen des Klimawandels werden struktur- und artenreiche Mischwälder mit einem hohen Anteil an Laubbaumarten angestrebt. Entsprechende Arten konnten im Untersuchungsgebiet im Unterwuchs unterschiedlicher Bestände, insbesondere aber in den Mischwaldbeständen nachgewiesen werden.

Schlüsselwörter/Keywords: Waldbiotopkartierung, Strukturvielfalt, Klimawandel-folgen; forest habitat mapping, climate change impact, structural diversity.

1. Einleitung

Die Jahre 2018, 2019 und 2020 waren in Sachsen durch überdurchschnittlich hohe Temperaturen, geringe Niederschläge und ein zunehmendes Bodenwasserdefizit geprägt (Mitteldeutsches Klimabüro am UFZ 2022), wodurch es zu überdurchschnittlich starken Dürreschäden bei vielen Baumarten kam (Schuldt et al. 2020 Matschulla & Otto 2021). Darüber hinaus traten in diesen Jahren mehrere Stürme auf, deren Wurf- und Bruchholz nicht immer rechtzeitig aufgearbeitet werden konnte, so dass es 2018 zu einer Massenvermehrung von holz- und rindenbrütenden Insekten (z. B. Borkenkäfern) und damit zu einer weiteren Schädigung der bereits vorgeschädigten Bäume kam (Matschulla & Otto 2021). Dadurch wurden in Sachsen von Herbst 2017 bis Herbst 2020 insgesamt rund 82.000 Hektar Wald geschädigt (Staatsbetrieb Sachsenforst 2021a).

Auch im Fürstenwald nördlich der Stadt Freiberg (Osterzgebirge, Sachsen) kam es zu erheblichen Schäden insbesondere bei der Gemeinen Fichte (*Picea abies*) und als Folge davon zu größeren Kahlschlägen. Die im Rahmen der Lehrveranstaltung „Biotop- und Landschaftsmanagement“ (Studiengang Master Geoökologie) an der TU Bergakademie Freiberg im Sommer 2020 durchgeführten Erfassungen hatten zum Ziel, für ein ausgewähltes Teilgebiet des Fürstenwaldes die aktuelle Biototypenausstattung zu erfassen. Um Analysen zur Struktur- und Artenvielfalt zu ermöglichen, wurden für jede Kartiereinheit der Strukturtyp und für die Baum-, Strauch- und Krautschicht die Gehölzarten erfasst. Die Kartierergebnisse wurden mit den Ergebnissen der Biotop- und

Landnutzungskartierung von 2005 (LfULG 2020a) und älteren Luftbildern verglichen, um die Entwicklung der Waldbestände über die letzten 15 Jahre nachvollziehen zu können.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Lage, Geologie, Relief und Böden

Das Untersuchungsgebiet lag im Fürstenwald nördlich von Freiberg im Naturraum Osterzgebirge (Mansfeld & Bastian 2012) im Freistaat Sachsen (Abb. 1a). Es befindet sich im Einzugsgebiet des Kleinwaltersdorfer Baches, ist etwa 118 ha groß und wird hauptsächlich forstlich genutzt (s. auch Knechtel 2014). Das Gebiet wird vom Kleinwaltersdorfer Bach, dessen Aue von Offenlandbiotopen geprägt ist, in ein westliches und ein östliches Teilgebiet geteilt (Abb. 1b). Im östlichen Teil befindet sich der Schwarze Teich, welcher einen Abflussgraben zum Kleinwaltersdorfer Bach hat. Im westlichen Teilgebiet befinden sich die beiden Zechenteiche als Relikte des Bergbaus. Sie werden vom Fischbach gespeist und haben einen Abfluss in den Kleinwaltersdorfer Bach. An der südwestlichen Grenze erstreckt sich das Untersuchungsgebiet bis an die B101. Mehrere geschotterte Forstwege durchziehen das Gebiet.

Das Osterzgebirge ist Teil eines Bruchschollengebietes, welches durch mehrere Faltungsschritte gebildet wurde. Unter anderem entstanden metamorphe Gesteine durch starke endogene Kräfte. Diese wurden durch Brechung und Erosion des darüberliegenden Materials an die Erdoberfläche transportiert. Der im Fürstenwald vorliegende Metamorphit ist hauptsächlich Unterer Graugneis (Wagenbreth & Steiner 1990). Gneis ist ein saures, mäßig nährstoffreiches Gestein mit den Hauptmineralen Biotit, Feldspat (Plagioklas und Orthoklas) und Quarz (Markl & Marks 2008). Der grobkörnige Gneis verwittert gut und tiefgründig und bildet häufig grusige bis lehmig-sandige Böden aus (Kuntze et al. 1994). Die Fließgewässer gruben sich im Laufe der Jahrtausende zum Teil tief in den verwitternden Gneis ein, wodurch ein abwechslungsreiches Relief mit tiefen Bachtälern und ausgeprägten Kuppen entstand (Abb. 2).

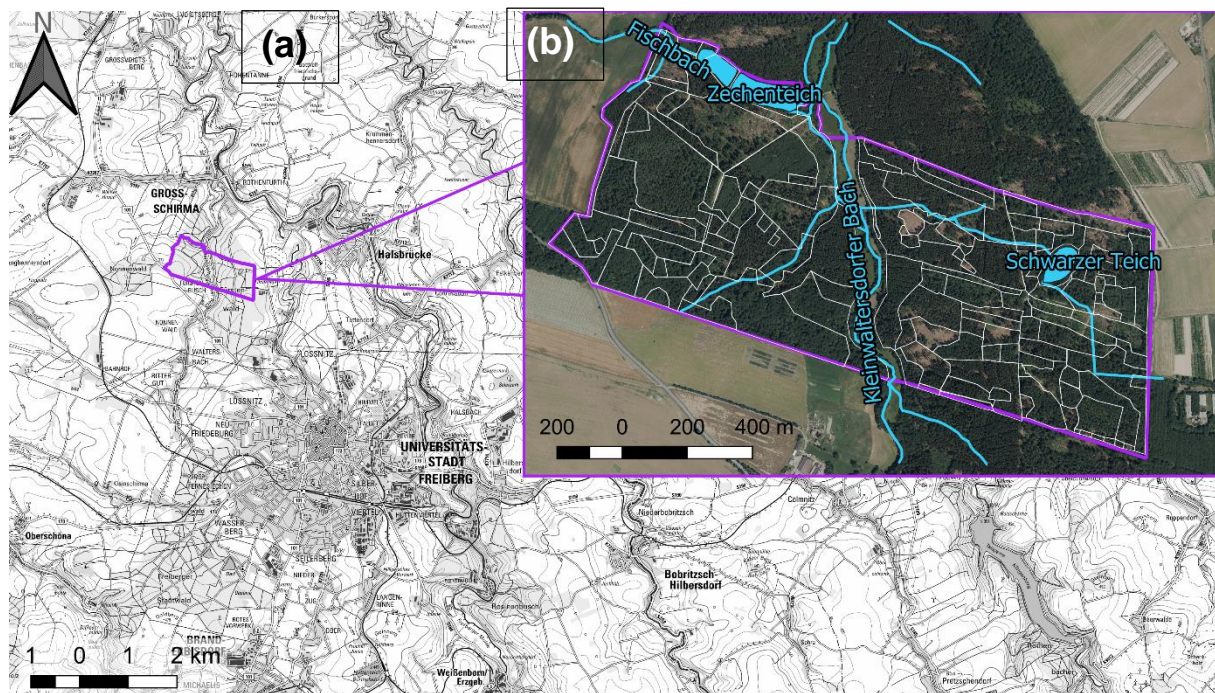


Abb. 1: Übersichtskarte (a) zur Lage des Untersuchungsgebietes (lila umrandet) südwestlich von Freiberg (große Karte) und (b) eine Detaildarstellung mit der Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (lila) und den Kartiereinheiten (weiß umrandet). (Quelle Karte und Luftbild: GeoSN (2018, 2020)).

Fig. 1: (a) The study area (framed in violet) southwest of Freiberg (large map) and (b) a detailed map showing the study area (framed in purple) and the mapping units (framed in white). (Source map and aerial photo: GeoSN (2018, 2020)).

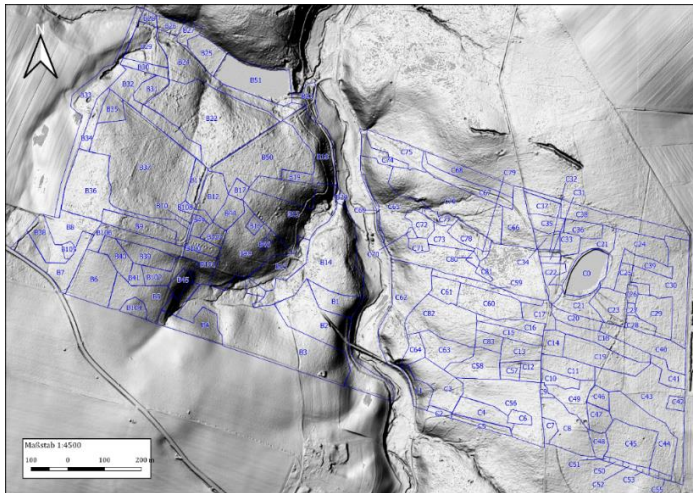


Abb. 2: Relief des Untersuchungsgebietes mit den Umrissen und Nummern der Kartiereinheiten 2020 (Reliefkarte: GeoSN, 2016).

Fig. 2: Relief of the study area with the habitat patches and numbers in 2020 (Map: GeoSN, 2016).

Auf einem Großteil der Fläche des Untersuchungsgebietes kommt podsolige Braunerde vor (LfULG 2020b). Im Tal des Kleinwaltersdorfer Baches kommt Gley-Vega vor, wohingegen die beiden Zuflüsse des Kleinwaltersdorfer Baches im vom Grundwasser beeinflussten Normgley liegen. Kleinflächig kommen im Gebiet darüber hinaus Normpseudogley, Normbraunerde, Auengley, Normkolluvisol, Pseudogley-Braunerde sowie Normpara-brauerde vor.

2.2 Klima und potentielle natürliche Vegetation

Durch seine Lage am Rande des Osterzgebirges befindet sich das Untersuchungsgebiet unter kontinentalem Einfluss (Mansfeld & Bastian 2012). Der mittlere jährliche Niederschlag beträgt etwa 700 - 800 mm (BfG 2003), die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 7°C. Im Durchschnitt beträgt die mittlere jährliche potentielle Verdunstung 525 – 575 mm, weshalb auch eine leicht positive langjährige klimatische Wasserbilanz von etwa 200 bis 300 mm/Jahr vorliegt (BfG 2003). Die Jahre 2018 bis 2020 wiesen in Folge zu wenig Niederschlag, zu hohe Temperaturen und überdurchschnittlich viele Sonnenstunden auf und die Grundwasserstände erreichten ein Rekordtief (DWD & LfULG 2021, Mitteldeutsches Klimabüro am UFZ 2022). Die Bodenfeuchte (% nutzbare Feldkapazität (nFK)) lag 2019 im Osterzgebirge in fast allen Monaten unter 50 % nFK, was der Stufe „Trockenheit“ entspricht. Häufig wurde sogar nur eine Bodenfeuchte von < 20 % erreicht, was der Stufe „Dürre“ entspricht (Staatsbetrieb Sachsenforst 2020).

Die potentielle natürliche Vegetation (pnV) im Untersuchungsgebiet wird nach Schmidt et al. (2002) hauptsächlich von (hoch-)kollinen Eichen-Buchenwäldern bestimmt (Abb. 3). Im Auengebiet des Kleinwaltersdorfer Baches würde sich ein typischer Hainmieren-Schwarzerlen-Bachwald ausbilden sowie in den beiden Zufluss-Rinnen ein Flattergras-Eichen-Buchenwald. Der nördlichste Bereich westlich des Kleinwaltersdorfer Baches wäre natürlicherweise von einem Traubenkirschen-Erlen-Eschenwald bedeckt, wohingegen kleinere Teile am äußersten Rand im Osten und Westen des Gebietes von Zittergrasseggen-Eichen-Buchenwald bedeckt wären (Abb. 3). Alle genannten Vegetationstypen gehören zur Gruppe der bodensauren Buchen(misch)wälder bzw. zu den Erlen-Eschen- und Weichholzaunenwäldern, wobei insgesamt die Hauptbaumart Buche in Begleitung von Eiche, Tanne und Fichte überwiegen würde.

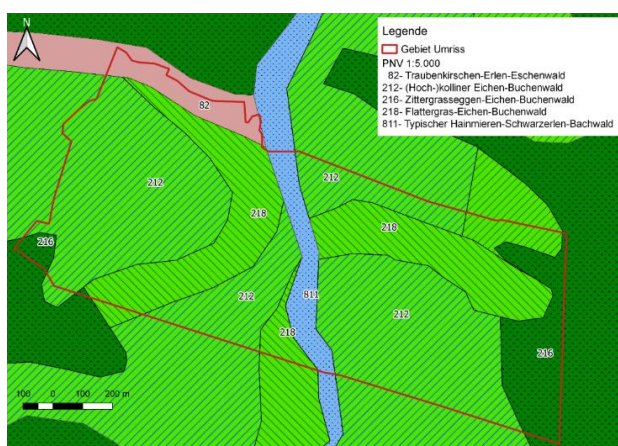


Abb. 3: Karte der potenziell natürlichen Vegetation des Untersuchungsgebietes (aus LfULG 2020c).

Fig. 3: Potentially natural vegetation of the study area (from LfULG 2020c).

2.3 Historische Landnutzung

Um 1000 n. Chr. war die Umgebung um Freiberg dicht bewaldet mit Buchen und Weiß-Tannen (Weber 2007). Insbesondere mit dem Beginn des Bergbaus nahm der Holzbedarf zu und es erfolgten umfangreiche Rodungen, so auch im Fürstenwald. Der Zechenteich und der Schwarze Teich sind Relikte des Bergbaus (Weber 2007). Im 18. und 19. Jahrhundert prägten vor allem Fichtenmonokulturen die Landschaft. Erst im Messtischblatt der Topografischen Karte Sachsens von 1924 sind erste Laubbäume entlang von Wegen eingezeichnet. 1942 wurden im Messtischblatt vor allem im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes Laubgehölze ausgewiesen. Nach Ende des Zweiten Weltkrieges wurden Großgrundbesitze aufgeteilt und kleinflächige Strukturen zu zusammenhängenden Schlägen zusammengefasst. Zur Zeit der Untersuchung wurde das Gebiet überwiegend forstlich genutzt (s. auch Knechtel 2014).

3. Methoden

Die Kartierung der Biotoptypen erfolgte auf Basis der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (BTLNK) aus dem Jahr 2005 (GeoSN, o.J.; SMEKUL 2010, Ueberfuhr & Glaser 2010, LfULG 2020a). Der Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Erfassung der von Baumarten geprägten Bestände (Waldbestände), Gewässer und Wege blieben in den späteren Analysen unberücksichtigt. Die einzelnen Kartiereinheiten wurden während der Geländearbeiten zwischen dem 13.05.2020 und dem 28.08.2020 aufgesucht, die Grenzen der BTLNK überprüft und ggf. neue GPS-Koordinaten aufgenommen. Die Bestände wurden mithilfe der Informationen zu den Biotoptypen der BTLNK (Ueberfuhr & Glaser 2010) benannt, wobei ein Biotop einer Kartiereinheit entspricht. Für jede Kartiereinheit wurde vor Ort der Strukturtyp erfasst (s. Tabelle 1) sowie Parameter zur Vegetationsstruktur, Artenvielfalt und zum Vorkommen von Totholz aufgenommen (Tabelle 2).

Die Nomenklatur der Arten richtet sich nach Schulz (2013). Die Darstellung der Biotoptypen in einer Karte und die Berechnung von Flächengrößen erfolgten mit QGIS (QGIS Development Team 2020).

Tabelle 1: Einteilung der Strukturtypen der Baumbestände (nach: Amt für Wald des Kantons Bern 2015).

Table 1: Classification of the structure types of the forest stands (following: Amt für Wald des Kantons Bern 2015).

Strukturtyp	Brusthöhenumfang Stämme
Altbestand	> ca. 60 cm
Dickung	> ca. 25 cm
Anpflanzung mehrjährig	> ca. 10 cm
Anpflanzung jung	bis ca. 10 cm
Ruderalfläche mit Pionierbewuchs	kleiner 130 cm Wuchshöhe, natürliche Verjüngung

Tabelle 2: Übersicht der je Kartiereinheit aufgenommenen Parameter zur Vegetationsstruktur und die jeweiligen Kategorien.

Table 2: Overview of the vegetation structure parameters recorded per mapping unit and their categories.

Parameter	Kategorien	Parameter	Kategorien
Naturverjüngung	keine regelmäßig zahlreich nur Naturverjüngung	Anzahl der Schichten	einschichtig zweischichtig mehrschichtig
Artenreichtum	ja ¹⁾ nein	Totholzmenge	kein Totholz gering, vereinzelt mäßig, zerstreut hoher Anteil
Vegetationsdeckung	0 – 10 %	Totholzart ²⁾	stehend
Krautschicht	> 10 – 25 % > 25 %		liegend Baumstümpfe

¹⁾ neben zwei Hauptbaumarten kamen weitere Baumarten in der Baum-, Strauch- oder Krautschicht vor

²⁾ Mehrfachnennungen möglich

4. Ergebnisse

4.1 Analyse der Biotop- und Strukturtypenausstattung 2020

4.1.1 Biotoptypen

Abb. 4 zeigt eine Karte des Untersuchungsgebiets mit den nachgewiesenen Biotop- und Strukturtypen. Für die weiteren Analysen werden ausschließlich die von Baumbeständen geprägten Wald-Biotoptypen berücksichtigt. Diese nahmen in dem insgesamt 117 ha großen Gebiet 114,2 ha (97,6 %) ein (Abb. 5, Tabelle 3). Die 138 Kartiereinheiten wurden sieben Biotoptypen zugeordnet: Laubmischwälder waren mit 36,4 ha (LM, 31,9 %) der am häufigsten kartierte Biototyp (Abb. 5). Danach folgten die reinen Nadelwälder/-forsten mit 24,3 ha (N, 21,3 %), die Nadel-Laubmischwälder mit 19,9 ha (NL, 17,4 %) und die reinen Laubwälder mit 15,1 ha (L, 13,2 %). Die Nadel-Mischwälder mit 8,4 ha (NM, 7,4 %) sowie die Laub-Nadel-Mischwälder (LN, 6,1 %) mit lediglich 7 ha kamen im Vergleich dazu seltener vor. Ruderale Flächen mit Pionierarten nahmen mit 3,1 ha (R, 2,7 %) den geringsten Flächenanteil ein. Vergleicht man die Verteilung der Biotoptypen in den beiden Teilgebieten so zeigt sich, dass Typen mit Beteiligung von Laubbäumen im westlichen Teilgebiet insbesondere am südlichen Bereich vorkamen und im östlichen Teilgebiet insbesondere auf den östlich gelegenen Plateauflächen (Abb. 4); die steileren, an die Aue angrenzende Bereiche waren überwiegend von Fichte bestockt.

In Tabelle A1 im Anhang sind die Biotoptypen mit den nachgewiesenen Arten von reinen Laubbeständen über Mischbestände bis hin zu reinen Nadelholzbeständen und Ruderalflächen mit Pioniergehölzen angeordnet. Insgesamt zeigt sich, dass Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Stiel-Eiche (*Quercus robur*) und Gemeine Fichte (*Picea abies*) die häufigsten Arten in der Baumschicht waren.

Für die reinen **Laubwälder** (L, Tabelle A1, Spalte 1-22) konnten je nach Hauptbaumart mehrere Subtypen unterschieden werden: Neben den von Rotbuche dominierten Laubbaumbeständen kamen Bestände mit Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) oder Stiel-Eiche (*Quercus robur*) oder Hainbuche (*Carpinus betulus*) als Hauptbaumarten vor. Diese Bestände wiesen nur vereinzelt Vorkommen von Pionierbaumarten auf.

Auch für die **Laubmischwälder** (LM) konnten entsprechend den Hauptbaumarten mehrere Subtypen unterschieden werden (Tabelle A1/23-58): Neben Rotbuche kamen als Hauptbaumarten Berg-Ahorn (*A. pseudoplatanus*) oder Stiel-Eiche (*Q. robur*) vor. Bestände ohne Beteiligung der Rotbuche als Hauptbaumarten wurden von Stiel-Eiche und Hainbuche (*C. betulus*) oder von Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*) dominiert. Insgesamt wiesen die Laubmischwälder zahlreiche Vorkommen in den unterschiedlichen Vegetationsschichten auf, wobei neben den Hauptbaumarten auch häufig Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) und vereinzelt weitere lichtliebende Baumarten auftraten.

Die Kombinationen der Hauptbaumarten der **Laub-Nadelmischwälder** (LN) waren sehr unterschiedlich (Tabelle A1/59-72): Neben Rotbuche als Hauptbaumart waren von den Laubbaumarten Berg-Ahorn, Stiel-Eiche und Hainbuche häufig. Sie traten in unterschiedlichen Kombinationen mit Gemeiner Fichte (*P. abies*), Europäischer Lärche (*Larix decidua*) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) auf. Auffällig waren die zahlreichen Nachweise sowohl der Laub- als auch der Nadelhölzer in den unterschiedenen Vegetationsschichten. Auch die Pionierbaumarten Hänge-Birke (*Betula pendula*) und Vogelbeere (*S. aucuparia*) waren regelmäßig vertreten.

Vergleichbare Artenkombinationen konnten auch für **Nadel-Laubmischwälder** (NL) gefunden werden (Tabelle A1/73-90). Auffällig war, dass die Aufnahmen mit Rotbuche in der Baumschicht (Spalte 81-90) deutlich mehr Vorkommen in den unterschiedenen Vegetationsschichten sowohl von der Rotbuche als auch von Berg-Ahorn, Stiel-Eiche und den Pionierbaumarten Hänge-Birke und Vogelbeere sowie Fichte aufwiesen als die Bestände ohne Rotbuche als Hauptbaumart (Spalte 73-80).

Die **Nadelmischwaldbestände** (NM) im Untersuchungsgebiet wurden überwiegend von Fichte (*P. abies*) dominiert, begleitet von Lärche oder Kiefer als Hauptbaumarten (Tabelle A1/91-100). Auch für diesen Biototyp kann festgestellt werden, dass Bestände ohne Beteiligung von Rotbuche in der Baumschicht (Tabelle A1/97-100) auch nur sehr selten weitere Vorkommen von Laubbaumarten aufwiesen, Ausnahme waren die Pionierbaumarten Hänge-Birke und Vogelbeere.

Bei den reinen **Nadelwaldbeständen** (N, Tabelle A1/101-122) im Fürstenwald handelte es sich ausnahmslos um Anpflanzungen. Neben sehr artenarmen, von Fichte dominierten und kaum geschichteten Beständen (Spalte 101-110) konnten wiederum deutlich reicher strukturierte Bestände mit Rotbuche und Berg-Ahorn sowie Hänge-Birke und Vogelbeere in der Strauch- und Krautschicht unterschieden werden (Spalte 111-122). Reine Nadelwälder mit Kiefer und Lärche wurden nicht nachgewiesen.

Die als **Ruderalflächen mit Pionierarten** (R, Tabelle A1/122-138) kartierten Bestände im Fürstenwald entstanden nach Rodungen. Neben den von *Rubus*-Arten (Brombeere, Himbeere) oder krautiger Ruderalvegetation dominierten jungen Flächen (Spalte 122-124) kamen Flächen mit durch Naturverjüngung aufgekommenen lichtliebenden Pionierarten wie Hänge-Birke oder Vogelbeere in der Kraut- und Strauchschicht vor (Spalte 125-138). Des Weiteren traten auf einigen Flächen bereits Rotbuche und Berg-Ahorn in der Kraut- und Strauchschicht auf.

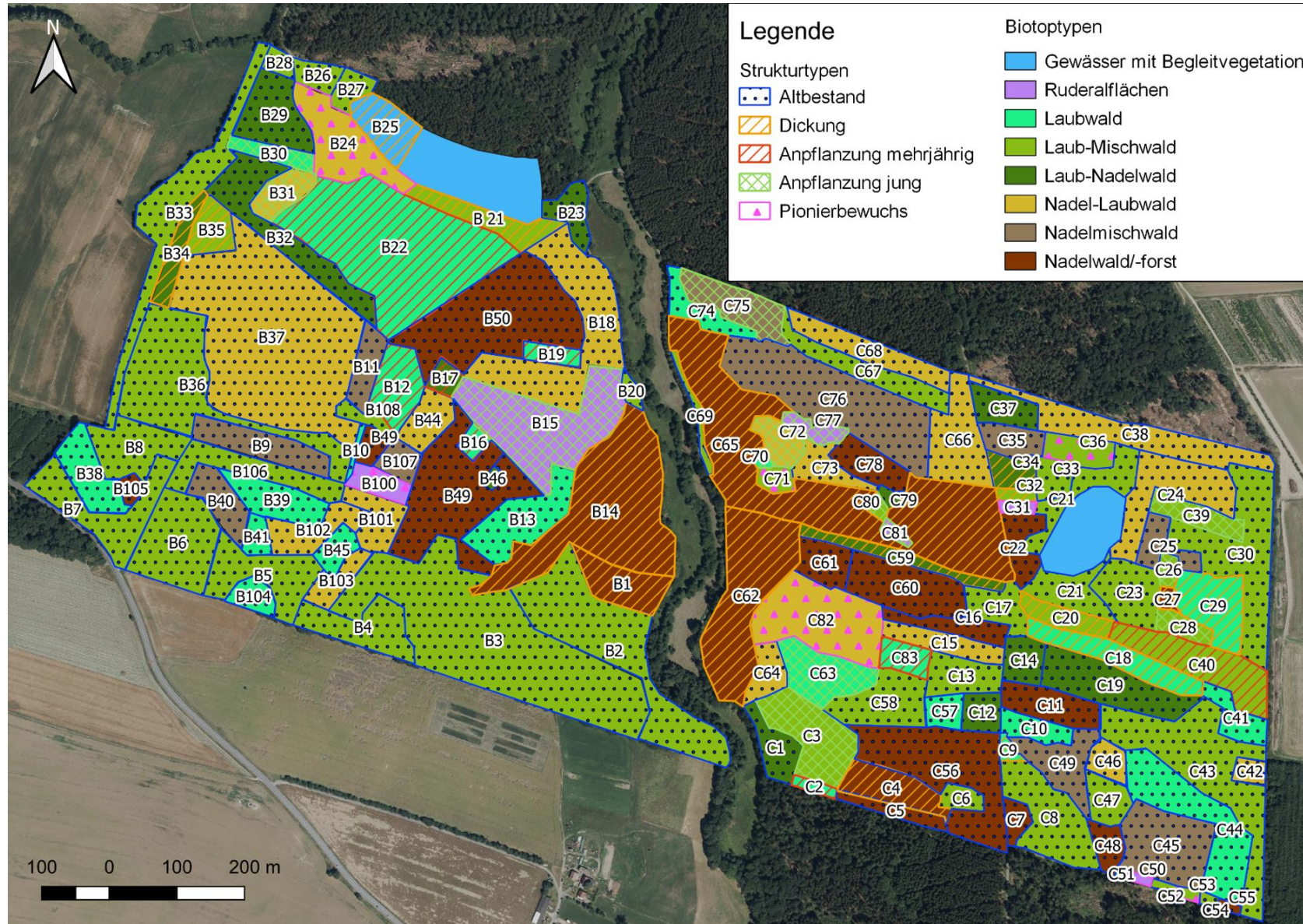


Abb. 4: Biotop- und Strukturtypen im Untersuchungsgebiet 2020 mit Angabe der Flächennummer (Luftbild: GeoSN 2020).

Fig. 4: Habitat and structure types of the study area in 2020 with plot number (aerial photo: GeoSN 2020).

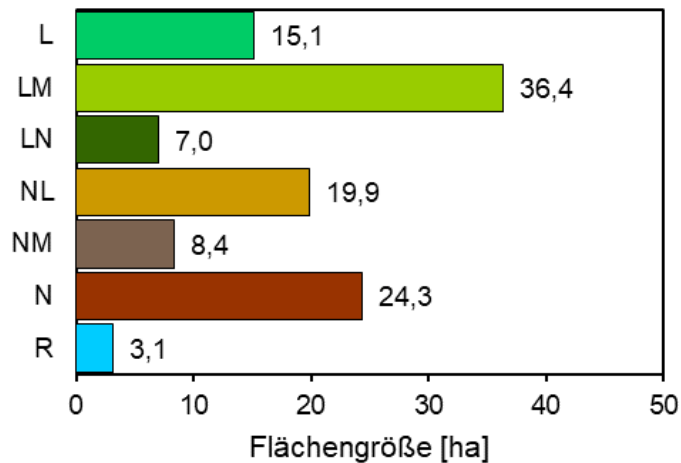


Abb. 5: Flächengrößen [ha] der kartierten Wald-Biotoptypen: L = Laubwald, LM = Laub-Mischwald, LN = Laub-Nadel-Mischwald, NL = Nadel-Laub-Mischwald, NM = Nadel-Mischwald, N = Nadelwald/-forst, R = Ruderalfläche mit Pionierarten.

Fig. 5: Area sizes [ha] of the mapped forest habitat types in 2020: L = deciduous forest, LM = mixed deciduous forest, LN = deciduous-coniferous mixed forest, NL = coniferous-deciduous mixed forest, NM = mixed coniferous forest, N = coniferous forest, Ruderal = ruderal areas with pioneer species.

Tabelle 3: 2020 nachgewiesene Wald-Biotoptypen im Fürstenwald, deren Flächengrößen (ha) und relativen Flächenanteile an der gesamten Waldfläche (%) sowie die Anzahl der Kartiereinheiten.

Table 3: Forest habitat types of the study area identified in 2020 with area sizes (ha) and relative proportion (%) of the total area of forest stands and the number of mapping units.

Biotoptyp	Flächengröße [ha]	Flächenanteil [%]	Anzahl Kartiereinheiten
Laubwald (L)	15,1	13,2	22
Laubmischwald (LM)	36,4	31,9	36
Laub-Nadelmischwald (LN)	7,0	6,1	14
Nadel-Laubmischwald (NL)	19,9	17,4	18
Nadelmischwald (NM)	8,4	7,4	10
Nadelwald/-forst (N)	24,3	21,3	21
Ruderalflur mit Pionierarten (R)	3,1	2,7	17
Summe	114,2	100	138

4.1.2 Strukturtypen

In der Karte in Abb. 6 werden die Strukturtypen der Kartiereinheiten der Wälder des Untersuchungsgebietes dargestellt; in Abb. 7a sind die Flächengrößen der Strukturtypen und in Abb. 7b die Flächenanteile der Strukturtypen pro Biotoptyp zusammengestellt. Bei dem überwiegenden Anteil der erfassten Wälder handelte es sich um Altbestände (78,4 %) und Dickungen (17,5 %). Anpflanzungen und Ruderalflächen mit Pionierbewuchs kamen auf 14,8 % bzw. 4,1 % bzw. der Fläche vor (Abb. 7a). Bei den Altbeständen des Untersuchungsgebietes handelte es sich überwiegend um Laubmischwälder, im Vergleich dazu nahmen die Altbestände der anderen Biotoptypen deutlich geringere Flächen in Anspruch (Abb. 7b). Während der Anteil an Dickungen bei reinen Nadelwäldern sehr hoch war, wurden keine Anpflanzungen für diesen Typ nachgewiesen. Dem gegenüber stehen die reinen Laubwälder, bei denen ein großer Anteil an Flächen Anpflanzungen aufwies. Auch für alle anderen Biotoptypen, mit Ausnahme der reinen Nadelwälder, wurden jüngere oder ältere Anpflanzungen nachgewiesen, aber jeweils mit deutlich kleineren Flächenanteilen (Abb. 7b).

4.1.3 Schichtung, Naturverjüngung und Totholz der Biotoptypen

In Abb. 8 werden für die Biotoptypen die Ergebnisse zu den Vegetationsparametern und zum Totholz dargestellt (Tabelle 2). Auf den Fotos in Abb. 9 und 10 sind zur Veranschaulichung beispielhaft ausgewählte, unterschiedlich strukturierte Bestände abgebildet. Die reinen Nadel- und Laubwälder wiesen über alle Parameter die höchsten Flächenanteile der jeweils aus naturschutzfachlicher Sicht schlechtesten Kategorien auf, d.h. der Flächenanteil an einschichtigen, an Baumarten und Totholz armen Beständen mit kaum vorhandener oder fehlender Krautschicht war besonders hoch (vgl. Abb. 8). Die Laubmischwälder hingegen wiesen die größten Flächenanteile der höchsten Kategorien auf (vgl. auch Abb. 9a-c), dicht gefolgt von den Laubnadel- und Nadel-laubmischwäldern. Im Vergleich zu den reinen Nadelwäldern war bei den Nadelmischwäldern der Flächenanteil mit höheren Kategorien deutlich höher, bezüglich der Naturverjüngung (Abb. 8a) und dem Vorkommen von

Totholz (Abb. 8e,f) wies aber keine Fläche die höchste Kategorie auf. Flächen ohne Totholz kamen lediglich bei den reinen Laubwäldern vor (Abb. 8e). Die Flächen mit Ruderalvegetation mit Pionierarten wiesen mehrheitlich regelmäßig Naturverjüngung auf (Abb. 8a) und waren reich an Totholz (8e) und an Baumarten (Abb. 8b), d.h. es kamen mehr als zwei Baumarten vor.

Bei der Interpretation der Daten zur Totholzart muss berücksichtigt werden, dass Mehrfachnennungen möglich waren. Insgesamt kam stehendes Totholz seltener vor als liegendes Totholz oder Baumstümpfe, dies war besonders deutlich bei den reinen Laubwäldern und Nadelmischwäldern (8d). Die Flächengrößen von Beständen mit liegendem Totholz und mit Baumstümpfen unterschieden sich bei allen Biototypen kaum und entsprachen in etwa den Gesamtflächen der jeweiligen Biototypen.

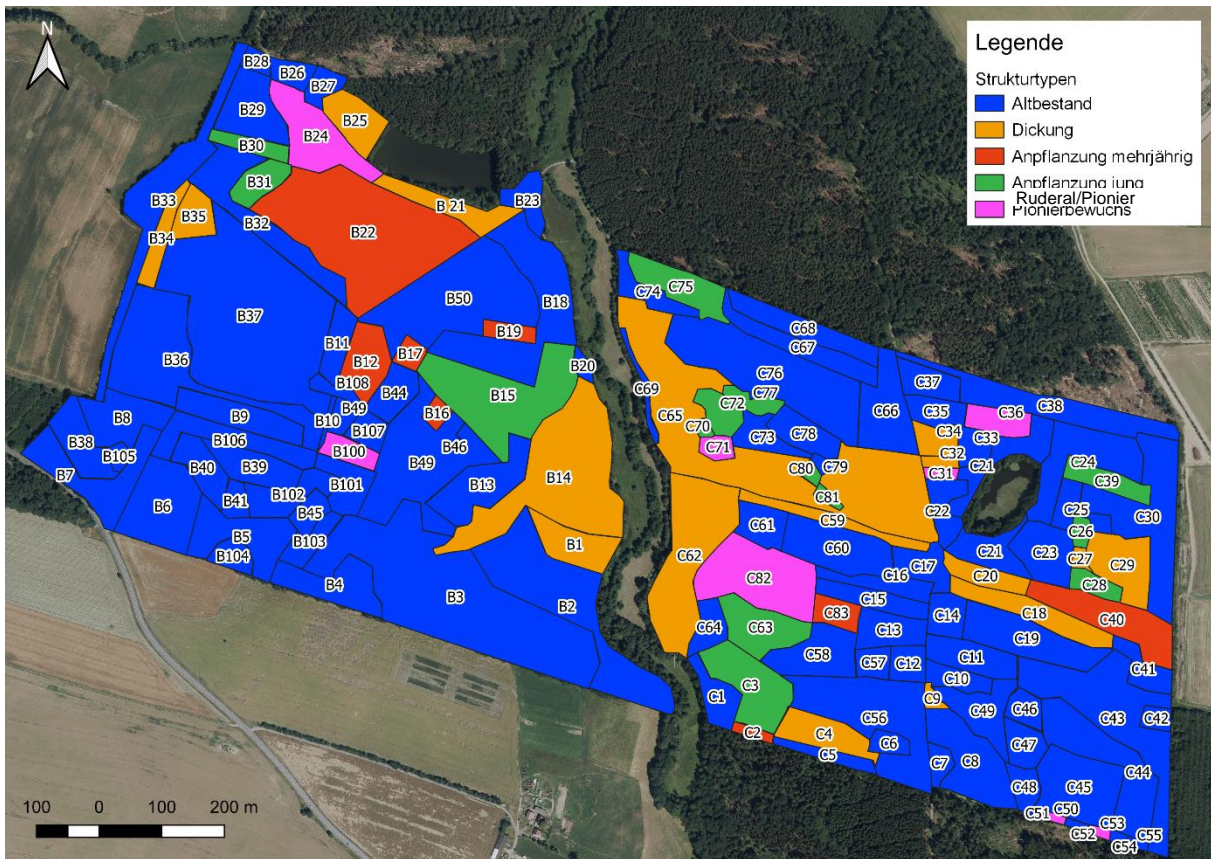


Abb. 6: Karte der Strukturtypen 2020 im Untersuchungsgebiet (Luftbild: GeoSN 2020).

Fig. 6: Map of the structure types 2020 in the study area (aerial photo: GeoSN 2020).

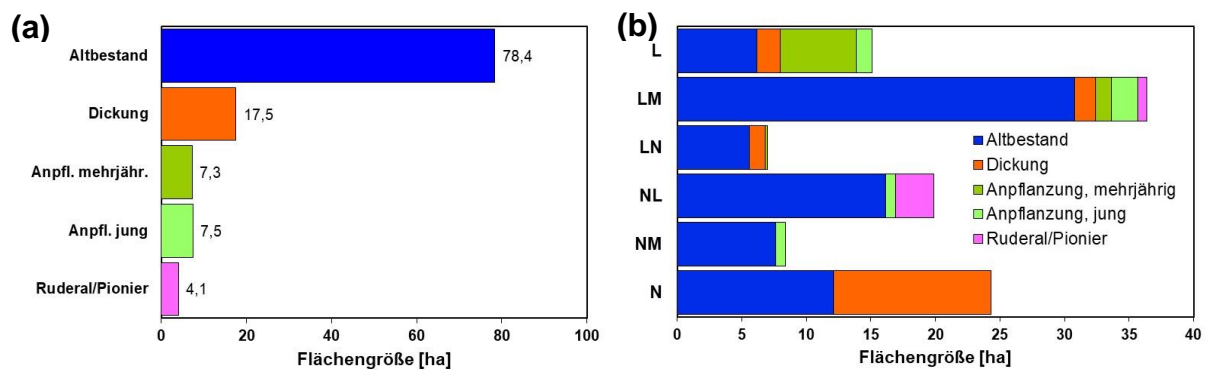


Abb. 7: Flächengrößen [ha] der Strukturtypen 2020 (a) im Untersuchungsgebiet und (b) für die Biototypen der Waldbestände: L = Laubwald, LM = Laub-Mischwald, LN = Laub-Nadel-Mischwald, NL = Nadel-Laub-Mischwald, NM = Nadel-Mischwald, N = Nadelwald/-forst.

Fig. 7: Area sizes [ha] of the structure types 2020 (a) in the study area and (b) for the forest habitat types: L = deciduous forest, LM = mixed deciduous forest, LN = deciduous-coniferous mixed forest, NL = coniferous-deciduous mixed forest, NM = mixed coniferous forest, N = coniferous forest.

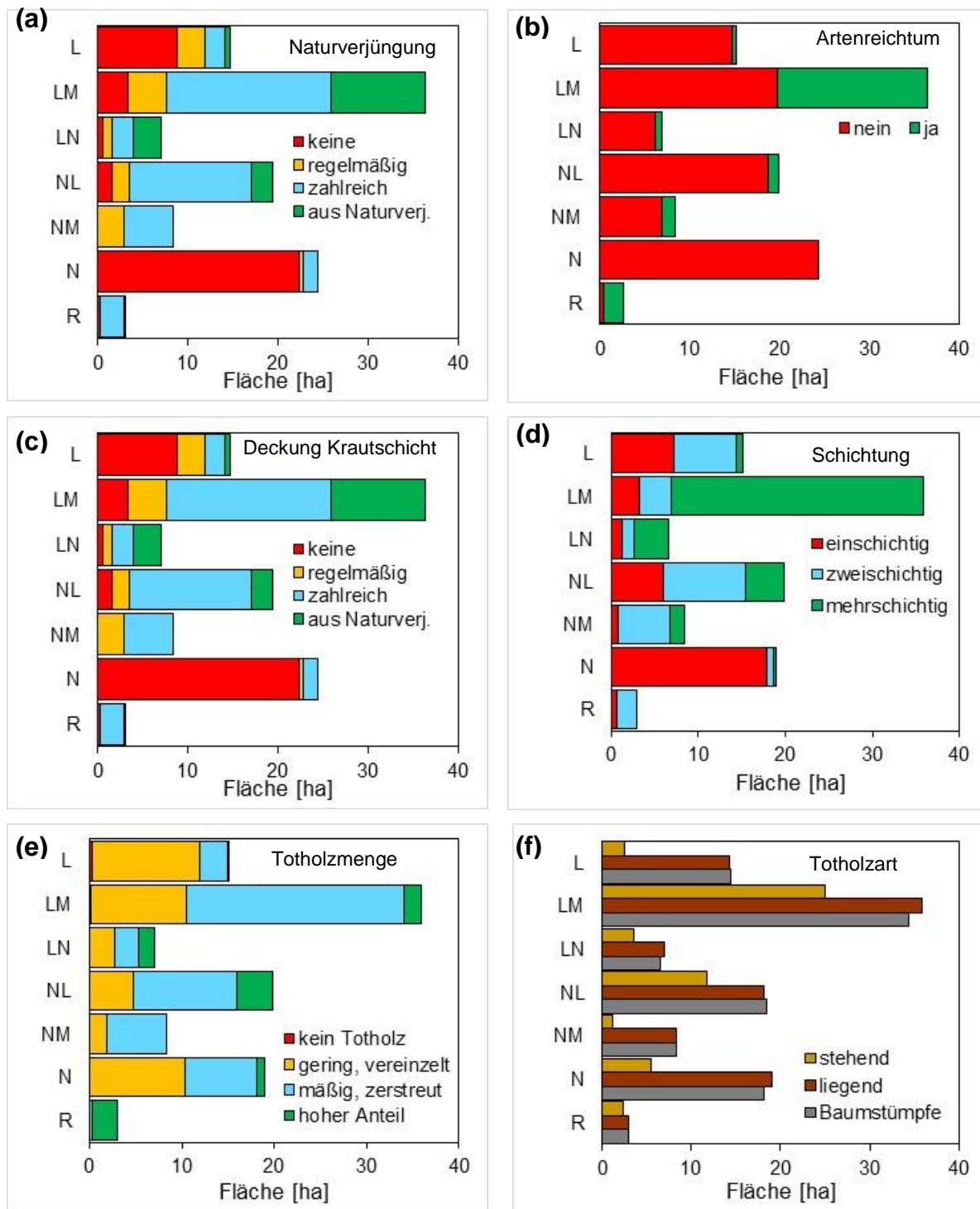


Abb. 8: Biotypen und die Flächengrößen [ha] der erhobenen Bestandsparameter: (a) Naturverjüngung, (b) Artenreichtum, (c) Deckung Krautschicht, (d) Schichtung, (e) Totholzmenge sowie (f) Totholzart. L = Laubwald, LM = Laub-Mischwald, LN = Laub-Nadel-Mischwald, NL = Nadel-Laub-Mischwald, NM = Nadel-Mischwald, N = Nadelwald/-forst, R = Ruderalfläche mit Pionierarten.

Fig. 8: Area sizes [ha] of the categories of the stand parameters per habitat type: (a) natural regeneration, (b) species richness, (c) coverage herb layer, (d) stratification, (e) deadwood quantity, and (f) deadwood type. L = deciduous forest, LM = mixed deciduous forest, LN = deciduous-coniferous mixed forest, NL = coniferous-deciduous mixed forest, NM = mixed coniferous forest, N = coniferous forest, R = ruderal areas with pioneer species.



Abb. 9: Beispiele für unterschiedlich strukturierte Laub- und Nadelwaldbestände: (a) Mehrschichtiger, lichter Altbestand eines Laubmischwaldes mit Totholz; (b) strukturreicher, stark aufgelichteter Altbestand eines Laubmischwaldes mit dichter, ausgeprägter Strauch- und Krautschicht; (c) mehrschichtiger Altbestand eines Laubmischwaldes in Bachnähe mit dichtem Bestand der Zittergras-Segge (*Carex brizoides*) in der Krautschicht; (d) dichte, mehrjährige, arten- und strukturarme Buchen-Anpflanzung; (e) dichter, einschichtiger, totholzarmer Fichten-Altbestand ohne Krautschicht und (f) einschichtiger, durchforsteter Fichten-Altbestand mit vereinzelt Unterwuchs, totholzreich (Fotos: Leonie Gabler).

Fig. 9: Examples of differently structured deciduous forests: (a) multi-layered, sparse old-growth forest with deadwood; (b) structurally rich old-growth forest with dense, strongly developed shrub and herb layer; (c) multi-layered old-growth forest near a stream with sedges in the herb layer; (d) dense, perennial beech plantation with only few species and structures; (e) dense, single-layered, deadwood-poor old-growth spruce stand without herb layer, and (f) single-layered, thinned old-growth spruce stand with scattered understorey, rich in deadwood (photos: Leonie Gabler).



Abb. 10: Beispiele für unterschiedlich strukturierte Ruderalflächen bzw. Pionierbestände: (a) umgepflügt, gemulcht und eingepflanzt; (b) abgeholzt mit liegengebliebenem Reißig und Brombeeren in der Krautschicht; (c) ältere Rodungsfläche mit Gräsern und dichteren Brombeeren in der Krautschicht und (d) alte Rodungsfläche mit Baumstümpfen und dichtem Grasbewuchs sowie aufkommenden Pioniergehölzen in der Strauchschicht (Fotos: Leonie Gabler).

Fig. 10: Examples of differently structured ruderal areas: (a) plowed, mulched, and planted; (b) cleared with leftover brushwood and blackberries in the herb layer; (c) older cleared area with grasses and denser blackberries in the herb layer, and (d) old cleared area with tree stumps, dense grass cover and emerging pioneer shrubs in the shrub layer (photos: Leonie Gabler).

4.2 Vergleich der Biotop- und Strukturtypenausstattung 2005 und 2020

4.2.1 Biotop- und Strukturtypen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Kartierung im Jahr 2020 (Abb. 6) mit entsprechenden Daten der Biotop- und Landnutzungskartierung (BTLNK) aus dem Jahr 2005 (GeoSN) (Abb. 11) verglichen. Abb. 12 zeigt, dass innerhalb der betrachteten 15 Jahre ein deutlicher Wandel der Biotoptypenausstattung im Untersuchungsgebiet erfolgte. Insbesondere der Flächenanteil der reinen Nadelwälder, aber auch die der reinen Laubwälder, nahm deutlich ab, wohingegen alle Mischwaldtypen zunahmen. Dies betraf insbesondere die Laubmischwälder und Nadel-Laubmischwälder, aber auch der Anteil ruderaler Flächen nahm leicht zu. Insgesamt stieg der Flächenanteil der Laub- und Laubmischwälder in diesem Zeitraum um 16,1 ha und damit um 45 % an, der Flächenanteil aller Biotoptypen mit Laubbäumen nahm sogar um 80 % zu, wohingegen die reinen Nadelwaldbestände einen Rückgang um 37,9 ha und damit um gut 60 % des ursprünglichen Bestandes erfuhren (Abb. 12).

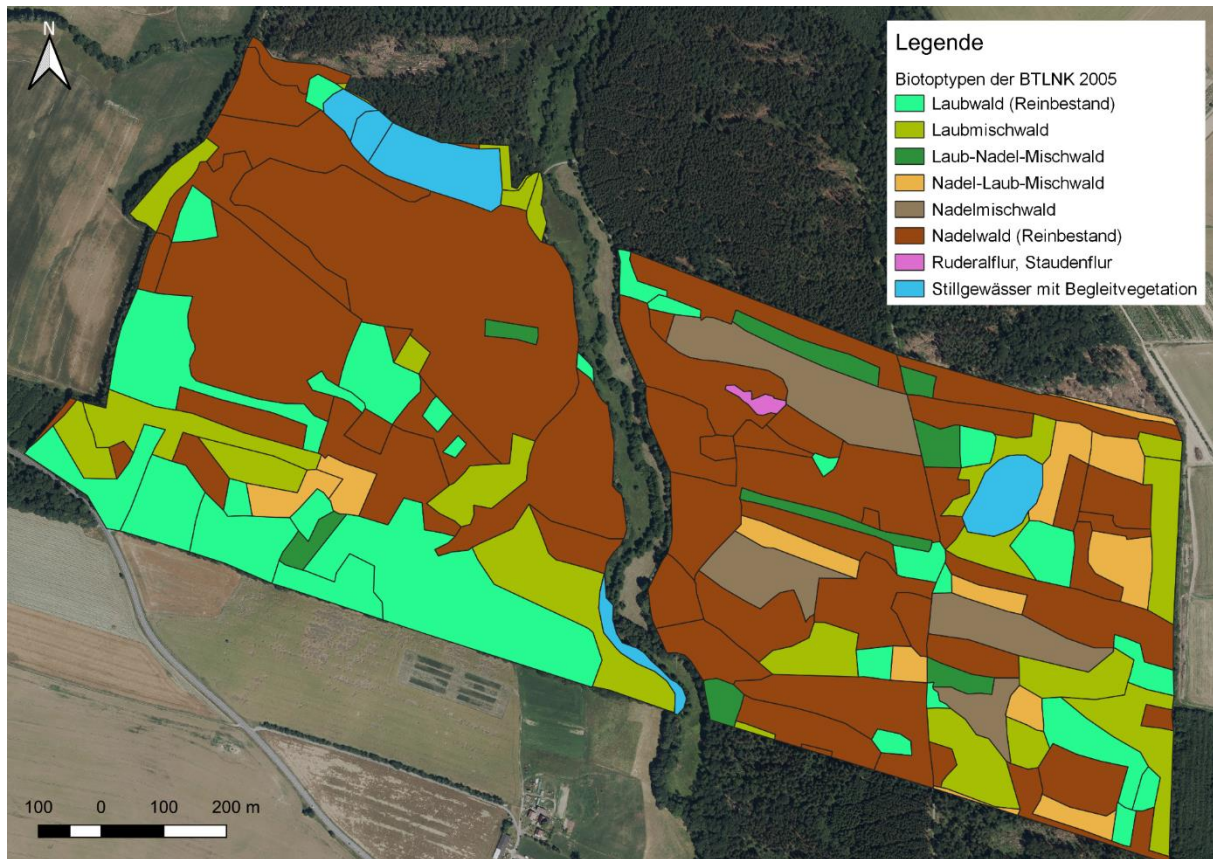


Abb. 11: Biotoptypen der BTLNK 2005 im Untersuchungsgebiet (Daten: GeoSN, BTLNK 2005).

Fig. 11: Habitat types of the BTLNK 2005 in the study area (GeoSN, BTLNK 2005).

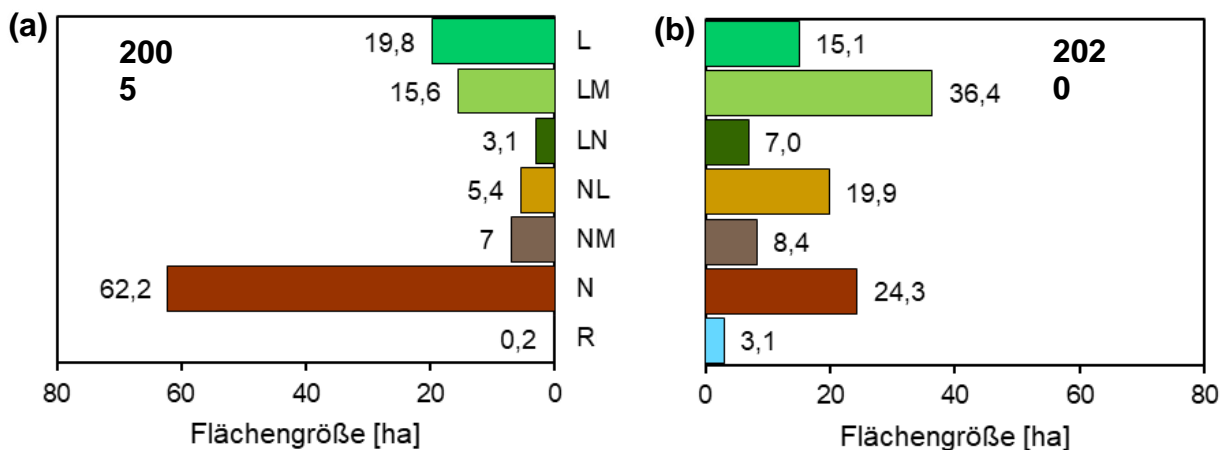


Abb. 12: Gegenüberstellung der Flächengrößen [ha] der Wald-Biotoptypen im Untersuchungsgebiet: (a) 2005 (BTLNK 2005, GeoSN) und (b) 2020. L = Laubwald, LM = Laub-Mischwald, LN = Laub-Nadel-Mischwald, NL = Nadel-Laub-Mischwald, NM = Nadel-Mischwald, N = Nadelwald/-forst, R = Ruderalfläche mit Pionierarten.

Fig. 12: Area sizes [ha] of the forest habitat types of the study area: (a) 2005 (BTLNK 2005, GeoSN) and (b) 2020. L = deciduous forest, LM = mixed deciduous forest, LN = deciduous-coniferous mixed forest, NL = coniferous-deciduous mixed forest, NM = mixed coniferous forest, N = coniferous forest, R = ruderal areas with pioneer species.

Ein Vergleich der Daten zu den Strukturtypen ist nur eingeschränkt möglich, da die jeweils unterschiedenen Kategorien zwischen 2005 und 2020 teilweise voneinander abweichen. Der Anteil an Altbeständen hat sich von 2005 (Abb. 13a) bis 2020 (Abb. 7a) nur geringfügig geändert und lag bei knapp 80 ha. 2005 war bei allen Biotoptypen der überwiegende Flächenanteil Altholz, lediglich bei den Nadelwäldern waren größere Flächenanteile Stangenholz bzw. Dichtung (Abb. 13b).

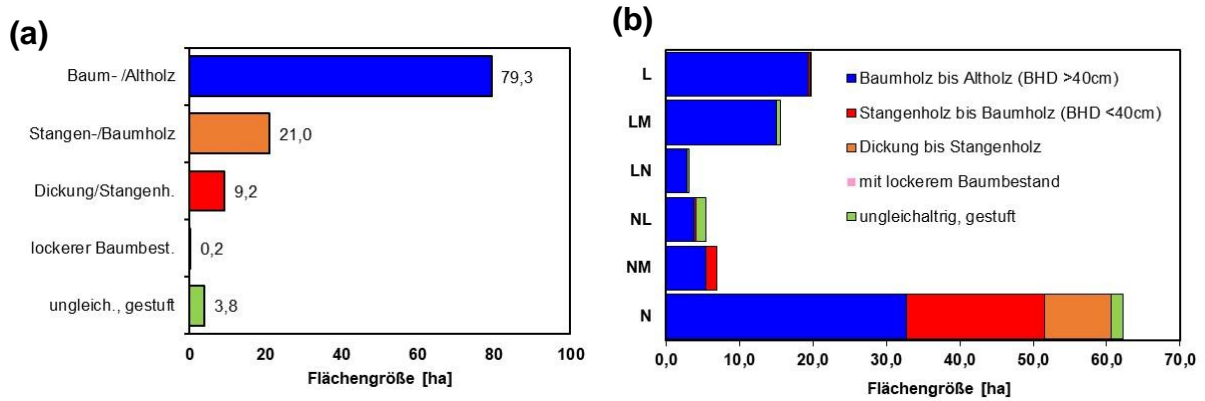


Abb. 11: (a) Flächengrößen [ha] der Strukturtypen der BTLNK 2005 und (b) Flächengrößen [ha] der Strukturtypen für die Biotoptypen der Waldbestände der BTLNK 2005: L = Laubwald, LM = Laub-Mischwald, LN = Laub-Nadel-Mischwald, NL = Nadel-Laub-Mischwald, NM = Nadel-Mischwald, N = Nadelwald/-forst (Daten aus: GeoSN, BTLNK 2005).

Fig. 13: (a) Area sizes [ha] of the structure types and (b) area sizes of the structure types for the forest habitat types of the BTLNK 2005: L = deciduous forest, LM = mixed deciduous forest, LN = deciduous-coniferous mixed forest, NL = coniferous-deciduous mixed forest, NM = mixed coniferous forest, N = coniferous forest (data: GeoSN, BTLNK 2005).

4.2.2 Entwicklung der Waldbestände von 2007 bis 2020 anhand von Luftbildvergleichen

Auch die Vergleiche von Luftbildern von 2007 bis 2020 zeigen, dass sich die Baumartenzusammensetzung und Struktur der Waldbestände in diesem Zeitraum im Untersuchungsgebiet stark veränderte (Abb. 14).

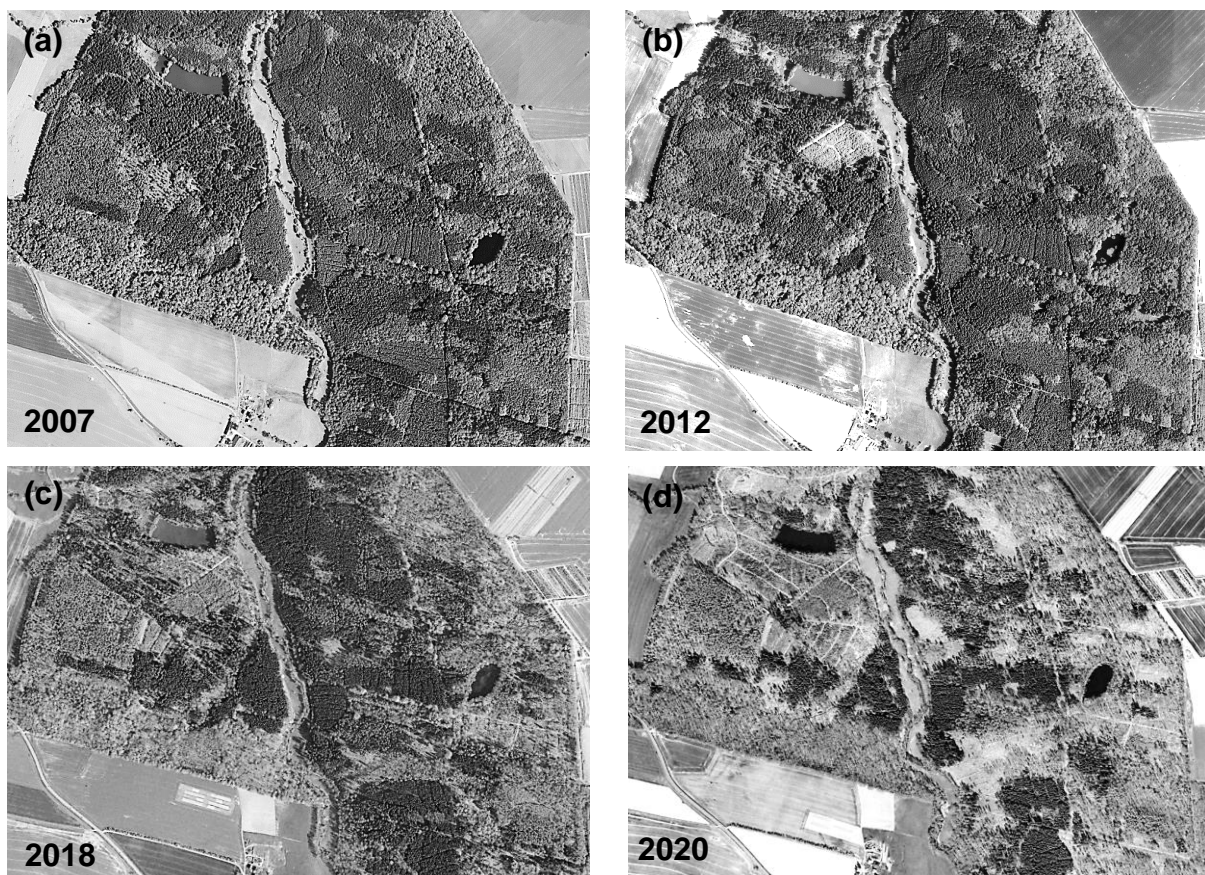


Abb. 12: Veränderung der Waldbestände im Untersuchungsgebiet von 2007 bis 2020: (a) Mai 2007, (b) Mai 2012, (c) April 2018 und (d) April 2020. Deutlich ist der erhebliche Rückgang von Fichtenbeständen (dunkel) zu erkennen (Quelle Luftbilder: GeoSN).

Fig. 14: Changes of the forest types in the study area: (a) May 2007, (b) May 2012, (c) April 2018, (d) April 2020. The area of spruce forest (dark) decreased significantly (source aerial photos: GeoSN).

Auf dem Luftbild von 2007 (Abb. 14a) ist deutlich zu erkennen, dass Fichtenforste (dunkel) den größten Flächenanteil einnahmen, größere Schlagflächen sind nicht zu erkennen. Eine erste größere Kahlschlagfläche eines ehemaligen Nadelwaldes trat 2012 im westlichen Teilgebiet auf, wohingegen im östlichen Gebiet nur wenige kleinflächige Kahlschlagflächen festzustellen sind (Abb. 14b). Bis 2018 fanden in beiden Teilgebieten weitere größere Umstrukturierungen statt (Abb. 14c), deren Umfang bis 2020 noch einmal erheblich größere Ausmaße annahm (Abb. 14d).

5. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass es in dem ehemals von Fichtenforsten geprägten Untersuchungsgebiet im Fürstenwald insbesondere in den Jahren 2018 und 2019, die als besonders warm und trocken gelten, zu erheblichen Bestandsrückgängen der Fichtenforste kam (Abb. 14 c,d; vgl. Abb. 7b und 13b). Der Anteil an Fichtenbeständen hat nach eigenen Beobachtungen in den Jahren nach der Untersuchung weiterhin abgenommen. Auch für ganz Sachsen wurden in diesem Zeitraum die größten Rückgänge bei Fichtenforsten verzeichnet (Staatsbetrieb Sachsenforst 2021a). Nach dieser Quelle wurden für Sachsen von April 2018 bis April 2020 ungefähr 56.000 ha Waldschadens- und Freiflächen ermittelt, was einem Anteil von 11 % am Gesamtwald Sachsens entspricht. Besonders in den unteren Berglagen und im Hügelland waren Trockenheit und Dürre in Kombination mit günstigen Bedingungen für holz- und rindenbrütende Schadinsekten, vor allem dem Buchdrucker, die Hauptursachen für Nadelverluste und letztlich das Absterben der Bäume (Staatsbetrieb Sachsenforst 2020). Laut Waldzustandsbericht sind in Sachsen seit 2018 über 12 Prozent der (Stichproben-) Bäume im Alter über 60 Jahre abgestorben. Neben den Nadelbaumarten wiesen auch Laubbaumarten wie Stiel-Eiche und Rotbuche teilweise erhebliche Schädigungen auf (Staatsbetrieb Sachsenforst 2020). Insgesamt wurde für diesen Zeitraum eine Schadholzhöhe erreicht, wie sie seit Beginn der geregelten Forstwirtschaft in Sachsen vor über 200 Jahren unbekannt ist (Staatsbetrieb Sachsenforst 2020).

Im Untersuchungsgebiet fand in dem untersuchten Zeitraum von 2005 bis 2020 eine umfangreiche Umstrukturierung der Waldbestände statt (Abb. 12), wobei die größten Flächenanteile im Zeitraum von 2017 bis 2020 betroffen waren (Abb. 14). Dies betraf insbesondere reine Nadelwälder, deren Flächenanteil um beinahe zwei Drittel zu Gunsten von den anderen Waldtypen zurück ging (Abb. 12). Auch für den Gesamtwald in Sachsen ist für diesen Zeitraum eine Abnahme der Flächen mit Fichtenforst zu Gunsten von Laubholzbeständen zu verzeichnen (Dittrich 1992; Staatsbetrieb Sachsenforst 2021b), allerdings ist der Anteil betroffener Flächen geringer als im Untersuchungsgebiet (Abb. 12).

Der hohe Anteil an Dickungen und Stangenholz bei den reinen Fichtenforsten in der BTLNK 2005 (Abb. 13b) deutet darauf hin, dass in den Jahren vor 2005 entsprechend große Flächen mit reinen Fichtenbeständen aufgeforstet wurden, wohingegen Aufforstungen bei den anderen Biototypen in diesem Zeitraum offensichtlich selten waren, da 2005 nur sehr wenige Flächen mit diesen Strukturtypen vorkamen (Abb. 13b). Insgesamt kann festgestellt werden, dass in den letzten zwei Jahrzehnten ein deutlicher Wandel der forstlichen Praxis im Untersuchungsgebiet stattfand, indem nicht mehr Fichtenbestände, sondern vermehrt Mischwaldbestände gepflanzt wurden. Die Förderung standortgerechter Bestände auch im Privatwald entspricht den für den Landeswald Sachsens für Aufforstungen gesetzten Zielen, nach denen durch eine standortgerechte Artenauswahl und die Etablierung einer vielfältigen Waldstruktur die Bestände gegenüber Schadereignissen widerstandsfähiger gemacht werden sollen (Staatsbetrieb Sachsenforst 2021a).

Als Potentielle natürliche Vegetation (pnV) im Gebiet gelten außerhalb der Auenstandorte bodensaure Eichen-Buchenwälder (Abb. 3). Die Rotbuche war im Untersuchungsgebiet in fast allen Biototypen vertreten, darüber hinaus kamen Berg-Ahorn, Stiel-Eiche und Hainbuche regelmäßig vor (Tabelle A1). Die an der pnV beteiligten Arten Weiß-Tanne (*Abies alba*) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea*) (Schmidt et al. 2002) wurden im Untersuchungsgebiet nicht bzw. nur selten nachgewiesen, wobei für die Trauben-Eiche eine Verwechslung mit Stiel-Eiche nicht ausgeschlossen werden kann. Die am Aufbau der Wälder der pnV beteiligten dominanten Arten wurden im vorliegenden Datensatz nicht nur bei den Mischwaldbeständen mit Beteiligung von Laubbäumen in der Baumschicht, sondern darüber hinaus bereits auch regelmäßig auf Flächen der Nadelmischwälder und reinen Nadelwälder in der Kraut- und Strauchschicht nachgewiesen (Tabelle A1/97-100 und 111-121). Die Individuenzahlen der Baumarten in der Krautschicht konnten nach eigenen Untersuchungen im Untersuchungsgebiet hohe Werte erreichen (eigene unpubl. Daten). Die höchste Individuendichte wurde mit bis zu 5.000 Individuen pro 100 m² für Laubmischwaldbestände nachgewiesen, wobei Keimlinge von Berg-Ahorn in der Verjüngung dominierten.

Nach Brändli et al. (2007) ist für die Artenvielfalt in Wäldern das Lichtangebot und damit die Bestandsdichte von großer Bedeutung. Im vorliegenden Datensatz wurden die reinen Laub- und Nadelbaumbestände im Vergleich zu den verschiedenen Mischbeständen häufig als artenarm bewertet (Abb. 8b), d. h. sie wiesen höchstens zwei Hauptbaumarten und keine weiteren Baumarten auf. Darüber hinaus waren sie häufig nur einschichtig (Abb. 8d) und wiesen wenig Naturverjüngung auf (Abb. 8a). Insbesondere in dichten Fichtenforsten kommt nur wenig Licht in Bodennähe an (vgl. Abb. 9e), aber auch die von Laubbäumen wie z. B. Rotbuche dominierten Altbestände waren

teilweise aufgrund der Schattenwirkung des dichten Kronendaches arm an Unterwuchs (Abb. 9d). Mischwaldbestände hingegen wurden zumindest teilweise als artenreich (Abb. 8b) und gut geschichtet erfasst (Abb. 8d). Nach Bollmann (2011) kann es in dunklen artenarmen Forstbeständen durch die Entstehung von Bestandslücken bedingt durch den daraus resultierenden erhöhten Lichtgenuss in Bodennähe zur Entwicklung einer artenreicheren und gut strukturierten Gehölzvegetation kommen, wie es auch im Untersuchungsgebiet an einigen Standorten beobachtet werden konnte (vgl. Abb. 9b).

Für die Anpassung an die Klimaerwärmung und den damit einhergehenden Problemen für die Forstbestände wie Trockenstress und Schädlingsbefall wird in zahlreichen Publikationen die Entwicklung arten- und strukturreicher Forstbestände empfohlen (z. B. Bollmann 2011; SMUL 2016; Hausfeld 2019; UBA 2021). Artenreiche Bestände weisen aufgrund der Beteiligung mehrerer Arten mit unterschiedlicher Ökologie und einer besseren Bestandsstruktur eine größere Resilienz gegenüber Stressfaktoren und damit ein geringeres Schadrisiko im Vergleich zu reinen Nadelholzbeständen auf (UBA 2021). Reine Fichtenbestände (Nadelforste) werden bzgl. der Anpassung an den Klimawandel als wenig geeignet bewertet, da sie eine besonders hohe Vulnerabilität gegenüber Störungen (Trockenheit, Stürme, Schädlingsbefall) zeigen (Strauss 2009). Als Flachwurzler können Fichten tiefer liegende Wasservorräte im Boden nicht erreichen und sie sind anfällig gegenüber Windwurf. Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass im Untersuchungsgebiet die Flächen der unterschiedlichen Mischwälder bereits teilweise den oben genannten Anforderungen entsprechen. Sowohl für Laubmischwälder, Laubnadelmischwälder sowie Nadellaubmischwälder und auch für Nadelmischwälder konnten vergleichsweise gut strukturierte (Abb. 8d) und artenreiche Bestände (Abb. 8b) nachgewiesen werden. Bei etwa der Hälfte der reinen Laubwälder allerdings handelte es sich um Altbestände und Dickungen (Abb. 7b), die ein dichtes Kronendach ausbilden können und daher kaum Unterwuchs aufwiesen (Abb. 8c, Abb. 9a). Insbesondere bei Dickungen sollten Durchforstungsmaßnahmen durch die Schaffung von Bestandslücken die Etablierung zusätzlicher Arten und die Entwicklung gut strukturierter Bestände zum Ziel haben (s. Bollmann 2011).

Wie oben bereits erwähnt, wiesen viele der kartierten Flächen, darunter auch reine Nadelforste, im Unterwuchs Naturverjüngung von Laubbaumarten der pnV auf, insbesondere wenn Rotbuche am Bestandsaufbau beteiligt war (Tabelle A1). Für die Entwicklung standortgerechter und gut strukturierter Mischwaldbestände kann das Potential dieser Naturverjüngung genutzt werden. Abweichend zu einem solchen Vorgehen wird für die Anpassung der Forstbestände an den Klimawandel für heimische Baumarten, wie z. B. die Stiel-Eiche, die Verwendung südeuropäischer trockenstresstoleranter Provenienzen diskutiert (z. B. Reif et al. 2010; Knoke 2017). Darüber hinaus wird der Anbau von nicht heimischen Arten wie Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), Schwarz-Kiefer (*Pinus nigra*) oder Rot-Eiche (*Quercus rubra*) in Erwägung gezogen (z. B. Reif et al. 2010). Rot-Eiche wurde im Untersuchungsgebiet 2020 an einigen wenigen Standorten nachgewiesen (Tabelle A1), die anderen Arten nicht, auch nicht in den Aufforstungsflächen.

6. Summary

The extreme drought of 2018 and 2019, as well as storms and pest infestations, resulted in considerable losses of forest stands, especially in coniferous, but also in deciduous forests. During the course “habitat and landscape management” 2020 (master study geocology, TU Bergakademie Freiberg), the forest habitat types with regard to their species composition and diversity, vegetation layers and type and amount of deadwood were characterized by means of habitat mapping in a part of the Fürstenwald north of Freiberg. The changes in habitat type composition over the last 15 years were analysed with aerial photographs and a comparison with the results of the BTLNK 2005 (habitat and land use mapping 2005). Five structural types were defined to assess the age structure of the forest stands: Mature stand, medium old dense stand, perennial and young plantation as well as pioneer growth. Seven forest habitat types could be determined: Deciduous forest, mixed deciduous forest, mixed deciduous-coniferous forest, mixed coniferous forest, coniferous forest, and ruderal areas with pioneer species. The most common habitat types were mixed deciduous forest, mixed coniferous forest, and mixed coniferous-deciduous forest. The most common structure type was old-growth forest. Mixed forests most often had natural regeneration and deadwood in the understorey and were species-rich with a high structural diversity. Pure coniferous and deciduous forests, on the other hand, were poor in species, often had only one vegetation layer and rarely had natural regeneration in the understorey or deadwood.

Based on the habitat and land use mapping (BTLNK), in 2005 the study area was dominated by coniferous forests with spruce. This habitat type experienced a decline of 60 % over the years in the study area, whereas the proportion of forests with deciduous tree species increased by 80 %. In order to adapt Saxony's forests and woodlands to climate change, mixed forests rich in structure and species with a high proportion of deciduous tree species are recommended. Many of these species could be found in the study area already, especially in the understorey of mixed forest stands.

7. Literatur

- Amt für Wald des Kantons Bern (2015): Waldinformation. Entwicklungsstufen. URL: https://files.be.ch/bve/agi/geoportal/geo/lpi/WALDINFO_2014_01_LANG_DE.pdf, Einsicht 20.02.2021.
- Bastian, O. & Schreiber, K.-F. (1999): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Spektrum Akadem. Verlag, Heidelberg, Berlin, 564 S.
- BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) (2003): HAD. Hydrologischer Atlas Deutschland, Koblenz. URL: <https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD/index.html?lang=de>, Einsicht 29.02.2021.
- Bollmann, K. (2011): Naturnaher Waldbau und Förderung der biologischen Vielfalt im Wald. Forum für Wissen 2011: 27–36.
- Brändli, U.-B., Bühler, C. & Zangger, A. (2007): Waldindikatoren zur Artenvielfalt – Erkenntnisse aus LFI und BDM Schweiz | Forest structures and species diversity – Findings from the NFI and BDM. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 158(8): 243–254. DOI:10.3188/szf.2007.0243.
- Dittrich, K. (1992): Der sächsische Wald. Sachsens Wald zwischen Tradition und Gegenwart. Der Wald 42: 221–223 S.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) & LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2021): 2020 Wetter trifft auf Klima. URL: https://www.klima.sachsen.de/download/Jahresrueckblick_2020_Fachbeitrag.pdf, Einsicht 08.12.2022.
- GeoSN (Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen) (ohne Jahr): Biotoptypen- und Landnutzungskartierung BTLNK 1:25.000. URL: <https://geoportal.umwelt.sachsen.de/arcgis/services/natur/btlnk/MaServer/WMServer?> Einsicht 10.11.2020.
- Hausfeld, H. (2019): Naturnaher Waldbau und Biodiversität. Studienarchiv Umweltgeschichte 24: 18–43.
- Knechtel, D. (2014): Landschaftsökologische Analyse eines Kleinzugsgebiet im Raum Freiberg/Osterzgebirge. Diplomarbeit Studiengang Geoökologie, TU Bergakademie Freiberg (unpubl.).
- Knoke, T. (2017): Betriebswirtschaftliche Chancen und Risiken der Fichtenwirtschaft im Klimawandel. LWF-Wissen 80: 139–144.
- Kuntze, H., Roeschmann, G. & Schwerdtfeger, G. (1994): Bodenkunde. 188 Tabellen, 5. Ausgabe. Ulmer (UTB), Stuttgart.
- LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (Hrsg.) (2020a): Thema Biotoptypen und Landnutzungskartierung (BTLNK). iDA Portal (interdisziplinäre Daten und Auswertungen). URL: <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/pages/map/command/index.xhtml?jsessionId=DDD8DA4CD733EF68D82A70B03DEF16EA?mapId=98211fb0-252a-4656-9139-6fe01408552d&useMapSrs=true&mapSrs=EPSG%3A25833&mapExtent=221229.07302726834%2C5547143.5%2C560549.5363477317%2C5737643.5>, Einsicht 24.10.2022).
- LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2020b): Bodenkarte 1:50.000 (BK50). URL: <https://www.boden.sachsen.de/geodaten/download-des-fachbereichs-boden-19380.html>, Einsicht 4.03.2021.
- LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2020c): Potentielle natürliche Vegetation (pnV) in Sachsen. iDA – Datenportal Sachsen. URL: <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/pages/map/command/index.xhtml?jsessionId=91E5B18F3504D16B840E1B3784097BAE?mapId=5cca6112-af9e-4700-880c-8bec85200c97&useMapSrs=true&mapSrs=EPSG%3A25833&mapExtent=211899.2458273005%2C5544297.5%2C569293.6447976995%2C5744944.5>, Einsicht 4.03.2021.
- Mannsfeld, K. & Bastian, O. (2012): Sächsisches Landschaften. Zwischen Dübener Heide und Zittauer Gebirge. Edition Leipzig (Hrsg.), Leipzig, 304 S.
- Markl, G. & Marks, M. (2008): Minerale und Gesteine. Mineralogie – Petrographie – Geochemie. 2. Ausgabe. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Matschulla, F. & Otto, L.-F. (2021): Waldschutzsituation in Sachsen 2020. Staatsbetrieb Sachsenforst (Hrsg.). URL: https://www.sbs.sachsen.de/download/Waldschutzsituation_in_Sachsen_2020.pdf, Einsicht 8.12.2022.
- Mitteldeutsches Klimabüro am UFZ (2022): Dürremonitor Deutschland. URL: <https://www.ufz.de/index.php?de=37937> (Einsicht 10.12.2022).
- Reif, A., Brucker, U., Kratzer, R., Schmiedinger, A. & Bauhus, J. (2010): Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes. Abschlussbericht eines F+E-Vorhabens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, FKZ 3508 84 0200. BfN-Skripten 272: 125 S.
- Schmidt, P.A., Hempel, W., Denner, M., Döring, N., Gnüchtel, A., Walter, B. & Wendel, D. (2002): Potentielle Natürliche Vegetation mit Karte 1:200 000. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, Dresden, 231 S. Karte 1:50 000.
- Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T.E.E., Hauck, M., Hajek, P., Hartmann, H., Hiltbrunner, E., Hoch, G., Holloway, Phillips, M., Körner, C., Larysch, E., Lübbe, T., Nelson, D.B., Rammig, A., Rigling, A., Rose, L., Ruehr, N.K., Schumann, K., Wieser, F., Werner, C., Wohlgemuth, T., Zang, C.S. & Kahmen, A. (2020): A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. Basic Applied Ecology 45: 86–103.
- Schulz, D. (2013): Rote Liste und Artenliste Sachsens - Farn- und Samenpflanzen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), Dresden.
- SMEKUL (Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft) (2010): Liste der Kartiereinheiten der BTLNK 2005. URL: https://www.natur.sachsen.de/download/Kartiereinheitenn_BTLNK_2005.pdf, Einsicht 10.11.2022.
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (2016): Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11309>, Einsicht 10.12.2022.
- Staatsbetrieb Sachsenforst (2020): Waldzustandsbericht 2020. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.). URL: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/36806>, Einsicht 28.02.2021.
- Staatsbetrieb Sachsenforst (Hrsg.) (2021a): Sachsenforst 2020 Jahresbericht. Staatsbetrieb Sachsenforst. 73 S.
- Staatsbetrieb Sachsenforst (Hrsg.) (2021b): Forstliche Genressourcen im Freistaat Sachsen – Erhaltung, Förderung und nachhaltige Nutzung. Staatsbetrieb Sachsenforst. 77 S.
- Strauss, M. (2009): Modellgestützte Analysen von Waldbewirtschaftungsstrategien im Klimawandel am Beispiel

- sekundärer Fichtenbestände. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Wien.
- Ueberfuhr, F. & Glaser, F. (2010): Beschreibung der Kartiereinheiten zur Neufassung der BTLNK. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). URL: https://www.natur.sachsen.de/download/beschreibung_kartiereinheiten_2005.pdf, Einsicht 24.10.2022.
- UBA (Umweltbundesamt) (2021): Anpassung: Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-an-den-klimawandel/anpassung-auf-laenderebene>, Einsicht 13.12.2022.
- Wagenbreth, O. & Steiner, W. (1990): Geologische Streifzüge. Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg, 4. Ausgabe. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- Weber, J. (2007): Natur des Ost-Erzgebirges im Überblick. Sandstein Verlag, Dresden.

Anschriften der Autor(inn)en:

Richert, Elke*; **Achtziger, Roland**: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften, AG Biologie / Ökologie, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg, E-Mail: elke.richert@ioez.tu-freiberg.de, roland.achtziger@ioez.tu-freiberg.de;

Gabler, Leonie: E-Mail: gabler.leonie@outlook.de;

Kunz, Linda-Sophie: E-Mail: linda.kunz@gmx.net;

Döring, Sophie: E-Mail: soff.doering@gmx.de;

Schaefer, Juliane: E-Mail: Juliane.Schaefer@student.tu-freiberg.de

* Korrespondierende Autorin

Anhang

Tabelle A1 (nächste Seite): Die Gehölzzusammensetzung der Kartiereinheiten der Biotoptypen des Untersuchungsgebietes im Fürstenwald 2020.

Table A1 (next page): Woody species composition of the mapping units of the habitat types in the study area Fürstenwald 2020.

Legende/legend:

H = Hauptbaumart/main tree species;

Schichten / layers: B1 = Baumschicht 1/tree layer 1, B2 = Baumschicht 2/tree layer 2, S = Strauchschicht/shrub layer, K = Krautschicht/herb layer;

Farbcode Arten/colour code species: orange = Laubgehölze Klimaxarten/orange = deciduous species climax species, dunkelblau = weitere Laubgehölze/dark blue = other deciduous species, hellblau = Laubgehölze Pionierarten/light blue = deciduous species pioneer species, gelb = Nadelgehölze/yellow = coniferous species, grau = weitere Laubbaumarten und Sträucher/grey = other deciduous species and shrubs;

Biotoptypen/ Forest habitat types: L = Laubwald/deciduous forest, LM = Laub-Mischwald/ mixed deciduous forest, LN = Laub-Nadel-Mischwald/ deciduous-coniferous mixed forest, NL = Nadel-Laub-Mischwald/ coniferous-deciduous mixed forest, NM = mixed coniferous forest, N = Nadelwald/-forst/ coniferous forest, R = Ruderalfläche mit Pionierarten/ ruderal areas with pioneer species.

Baumarten Unterwuchs/tree species understorey: F = *Picea abies*, L = *Larix decidua*, K = *Pinus sylvestris*, R = *Fagus sylvatica*, A = *Acer pseudoplatanus*, S = *Quercus robur*, H = *Carpinus betulus*, E = *Fraxinus excelsior*, Er = *Alnus glutinosa*, B = *Betula pendula*, V = *Sorbus aucuparia*, P = Pionierarten/pioneer species.