



**NW-FVA**

Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt

# Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

**Evaluierung des Verjüngungserfolges  
der Sturmschadensflächen von 2007  
zur Entscheidungsunterstützung der Wiederbewaldung  
aktueller Kalamitätsflächen (WieWaKa)**

Datum der Veröffentlichung:

**Juli 2025**

Autor:innen:

**Sabine Rumpf, Ulrike Nagel, Dr. Nikolas v. Lüpke, Ralf-Volker  
Nagel, Dr. Holger Sennhenn-Reulen**

Zuwendungsempfänger:

**Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,  
Abteilung Waldwachstum**

Projektlaufzeit:

**01.04.2022 – 30.11.2024**

Förderung:

**Durch das Land Niedersachsen im Rahmen  
des Sondervermögens  
„Wirtschaftsförderfonds – Ökologischer  
Bereich“ (Maßnahmenpaket  
Stadt.Land.Zukunft-SLZ),  
Maßnahme: Forschung zur Anpassung  
klimaresilienter Wälder**



GESELLSCHAFTSVERTRAG  
Stadt.Land.Zukunft.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	1
Tabellenverzeichnis .....	2
Abkürzungsverzeichnis .....	3
1. Zielsetzung des Projektes .....	4
2. Vorgehensweise .....	6
2.1. Datengrundlage .....	6
2.2. Inventur .....	8
2.2.1. Flächenauswahl .....	8
2.2.2. Datenaufnahme auf den Aufnahmeflächen .....	11
2.2.3. Datenauswertung .....	11
3. Erzielte Ergebnisse .....	13
3.1. Verjüngungsdichte auf den ehemaligen Kyrill-Schadflächen und ihre Baum- und Strauchartenzusammensetzung .....	13
3.2. Dimensionen der Bäume und Wuchskonstellationen in den Beständen .....	19
3.3. Qualität und Schäden .....	30
3.4. Zusammenfassende Ergebnisse der Störungsflächeninventur .....	33
3.5. Beispiele waldbaulicher Situationen auf einzelnen Untersuchungsflächen .....	34
4. Diskussion und Schlussfolgerungen .....	42
5. Zusammenfassung .....	48
6. Literatur .....	50
7. Anhang .....	56
7.1. Glossar .....	56
7.2. Abkürzungsverzeichnis der Baumarten .....	64
7.3. Aufnahmeverfahren .....	65
7.3.1. Metainformationen an den Rasterpunkten .....	65
7.3.2. Messungen der Bäume innerhalb der Probekreise .....	66
7.3.3. Tabellenstruktur der Access-Datenbank .....	68

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Lage der Untersuchungsflächen
- Abbildung 2:** Stichprobendesign auf einer ausgewählten Schadfläche
- Abbildung 3:** Gepflanzte Buche mit Fichtennaturverjüngung im Forstamt Münden
- Abbildung 4:** Grundfläche [ $\text{m}^2/\text{ha}$ ] aller Bäume- und Sträucher der Untersuchungsflächen in Abhängigkeit von der Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ]
- Abbildung 5:** Höhenbereiche der Bestockung der 44 Aufnahmeflächen über alle Bäume und Sträucher 17 Jahre nach dem Schadereignis
- Abbildung 6:** Baum- und Strauchartenvorkommen auf den Flächen
- Abbildung 7:** Absolute Häufigkeitsverteilungen der Durchmesser (BHD) und Höhen der Untersuchungsbäume
- Abbildung 8:** Durchmesser-Höhen-Beziehung der Baumarten
- Abbildung 9:** Durchmesser-Höhen-Beziehung der Baumarten in den Wuchsgebieten Harz und Mitteldeutsches-Trias Berg- und Hügelland
- Abbildung 10:** Grundfläche ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) der Baumarten in Abhängigkeit von der Stammzahl ( $\text{N}/\text{ha}$ )
- Abbildung 11:** Definition der sozialen Stellung anhand der Höhe
- Abbildung 12:** Definition der sozialen Stellung anhand des Durchmessers (BHD)
- Abbildung 13:** Soziale Stellung (**Höhe**) und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] der Baumarten (=“Dominanz“) betrachtet über alle Untersuchungsflächen
- Abbildung 14:** Soziale Stellung (**BHD**) und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] der Baumarten (=“Dominanz“) betrachtet über alle Untersuchungsflächen
- Abbildung 15:** Soziale Stellung von Höhe und BHD der Baumarten (=“Dominanz“) betrachtet über alle Untersuchungsflächen
- Abbildung 16:** Stammformen der Baumarten
- Abbildung 17:** Kronenformen der Baumarten
- Abbildung 18:** Unterschiedliche Qualitäten bei Buche
- Abbildung 19:** Mehrtriebigkeit bei Eberesche
- Abbildung 20:** Fläche mit hohem Anteil bogiger und knickiger, instabiler Douglasien
- Abbildung 21:** Anteil [%] geschälter Bäume differenziert nach Baumarten auf den Untersuchungsflächen
- Abbildung 22:** Zusammenfassende Ergebnisse der Baumarten auf den untersuchten Störungsflächen
- Abbildung 23:** Grundfläche [ $\text{m}^2/\text{ha}$ ] und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] der Baumarten an den Rasterpunkten der Fläche FI-ID 13
- Abbildung 24:** Höhen der Baumarten der Fläche FI-ID 13
- Abbildung 25:** Soziale Stellung der Baumarten und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] innerhalb der Rasterpunkte der Fläche FI-ID 13

**Abbildung 26:** Grundfläche [ $\text{m}^2/\text{ha}$ ] und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] der Baumarten an den Rasterpunkten der Fläche FI-ID 15

**Abbildung 27:** Höhen der Baumarten der Fläche FI-ID 15

**Abbildung 28:** Soziale Stellung und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] der Baumarten innerhalb der Rasterpunkte der Fläche FI-ID 15

**Abbildung 29:** Grundfläche [ $\text{m}^2/\text{ha}$ ] und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] der Baumarten an den Rasterpunkten der Fläche FI-ID 43

**Abbildung 30:** Höhen der Baumarten der Fläche FI-ID 43

**Abbildung 31:** Soziale Stellung und Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] der Baumarten innerhalb der Rasterpunkte der Fläche FI-ID 43

## Tabellenverzeichnis

**Tabelle 1:** Datengrundlagen

**Tabelle 2:** Anteilsflächen des Sturmschadens nach geplanten WET

**Tabelle 3:** In den Forstämtern der Untersuchung verbuchte Pflanzenzahlen der Jahre 2007-2011

**Tabelle 4:** Aufteilung der Straten der aufzunehmenden Schadflächen

**Tabelle 5:** Beschreibung der ausgewählten Flächen

**Tabelle 6:** Entstehung und Vitalität der Baum- und Straucharten auf den Flächen

**Tabelle 7:** Diversität auf den untersuchten Störungsflächen

**Tabelle 8:** Verteilungskennwerte von Durchmesser (BHD) und HD-Werten je Baumart der erfassten Bäume

**Tabelle 9:** Verteilungskennwerte von Stammzahl [ $\text{N}/\text{ha}$ ] und Grundfläche [ $\text{m}^2/\text{ha}$ ] je Baumart auf den Flächen

**Tabelle 10:** Grundinformationen zu den Beispielflächen

## Abkürzungsverzeichnis

Abt	Abteilung
BA	Baumart
BHD	Brusthöhendurchmesser (Durchmesser in 1,3 m Baumhöhe)
BKL	Betriebsklasse
DGM	Digitales Geländemodell
FI-ID	Flächen-ID
FoA	Forstamt
h	Baumhöhe
ha	Hektar
HD-Wert	Höhe [cm] / BHD [cm]
Max	Maximum
Min	Minimum
MW	Mittelwert
N	Anzahl
NW-FVA	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
PAN	Planausführungsnachweis
Stabw	Standardabweichung
Uabt	Unterabteilung
Ufl	Unterfläche
SWB	Standortswasserbilanz
ü. NN	über Normalnull
WB	Wuchsbezirk
WET	Waldentwicklungstyp
WG	Wuchsgebiet
WZE	Waldzustandserhebung

## 1. Zielsetzung des Projektes

Beginnend mit dem Sturm Friederike Anfang 2018 wurden die vergangenen Jahre durch extreme Witterungsereignisse (fünf Dürrejahre) sowie eine Massenvermehrung des Buchdruckers geprägt. Für die Sturm- und Trockenperiode 2018 – 2022 ergibt sich in Niedersachsen über alle Waldbesitzarten eine Schadholzmenge von ca. 25 Mio. m<sup>3</sup> (ML 2024). Im Rahmen der Waldzustandserhebung (WZE) wird die Ausfallrate als Ergebnis der infolge von Sturmwurf, Trockenheit, Insekten- und Pilzbefall (z.B. Borkenkäferbefall) am Stichprobenpunkt entnommenen Bäume errechnet (Klinck & Paar 2023). Der Anteil als Schadholz entnommener Fichten liegt im Mittel der 40 Beobachtungsjahre bei jährlich 3,1 %. In den Jahren 2020 und 2022 waren es demgegenüber 22 %. Ursache waren die über dem Durchschnitt liegenden hohen Temperaturen in Kombination mit geringen Niederschlägen im Frühjahr und Sommer und zum Teil auch im Winterhalbjahr (Sutmöller 2022; ML 2024). Bei der Fichte kam ein Massenbefall durch den Buchdrucker hinzu (Rohde et al. 2023a,b; ML 2024). Der Schwerpunkt der Schadflächen liegt in Südniedersachsen, wobei der Harz vor allem durch Sturm- und Borkenkäferschäden in Fichtenbeständen mit Abstand am schwersten betroffen ist. Darüber hinaus sind jedoch auch Teile des Sollings, des Weserberglandes und des Teutoburger Waldes von Schäden gezeichnet.

Die Niedersächsischen Landesforsten (NLF AöR) und private Waldeigentümer stehen vor der großen Herausforderung, im Zuge der Wiederbewaldung in angemessener Zeit alle Waldfunktionen nachhaltig zu sichern. Die Pflicht zur Wiederaufforstung stark verlichteter Waldbestände ist in § 11 BWaldG verankert und wird in § 12 NWaldLG konkretisiert. Die Leitplanken für die Wiederbewaldung und den Waldumbau liefert in den Niedersächsischen Landesforsten der „LÖWE+“, das Niedersächsische Programm zur langfristigen ökologischen Waldentwicklung vor (ML 2020). An diesem orientiert sich auch die Förderrichtlinie zur Bewirtschaftung des Privatwaldes (ML 2023).

Gleichzeitig bestehen sehr gute Chancen, durch eine standortsgerechte Baumartenwahl strukturreiche, vielfältige und anpassungsfähige Wälder mit hoher Klimaresilienz zu begründen. Projizierte Standortveränderungen sind dabei unbedingt zu berücksichtigen. Klimaprojektionen lassen einen deutlichen Temperaturanstieg bei einer gleichzeitig veränderten saisonalen Niederschlagsverteilung erwarten. Neben trockeneren/wärmeren Sommern und feuchteren/wärmeren Wintern ist mit verlängerten Vegetationsperioden und dem häufigeren Auftreten von Witterungsextremen wie Dürren, Starkregen oder Stürmen zu rechnen. Es wird erwartet, dass Ausmaß, räumliche und zeitliche Verteilung sowie Geschwindigkeit des Klimawandels vielerorts die Anpassungsfähigkeit unserer Baumarten überschreiten (Böckmann et al. 2024; BWI 4 2024).

Die waldbaulichen Handlungsoptionen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel haben das Ziel, die Risiken zu senken bzw. zu verteilen und reichen vom standortsgemäßen Waldumbau bis zur Stabilisierung der vorhandenen Wälder. Die Klimaanpassung der Wälder muss unter Beachtung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte mit Baumarten und Herkünften erfolgen, die nach heutigem Stand des Wissens geeignet sind, sowohl dem herrschenden, als auch dem künftigen Klima gerecht zu werden (DVFFA 2019). Es ist davon auszugehen, dass zunehmender Trockenstress aufgrund verlängerter Vegetationsperioden und erhöhtem Verdunstungsanspruch bei den meisten mitteleuropäischen Baumarten zu einer verminderten Produktivität und einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber bereits bekannten und neu auftretenden abiotischen und biotischen Stressfaktoren führt. Neben der Nährstoffausstattung der Standorte ist besonders die Wasserversorgung für Baumartenempfehlungen von entscheidender Bedeutung. Die Einschätzung des Trockenstressrisikos für grund- und stauwasserfreie Waldstandorte kann z.B. über den Indikator Standortwasserbilanz (SWB) nach Grier & Running (1977) erfolgen.

Freifächensituationen stellen für eine Wiederbewaldung u.a. aufgrund ihres Strahlungsregimes, damit verbundener extremer Temperaturunterschiede einschließlich einer

hohen Spätfrostgefährdung eine sehr schwierige waldbauliche Ausgangslage dar (Renaud et al. 2011; Hauskeller 2024; Tiebel 2024a,b). Volle Sonneneinstrahlung und fehlende Windruhe führen zu einem hohen Verdunstungsanstoß und starker Austrocknung des Oberbodens. Auf vielen Freiflächen stellt sich schnell Vegrasung mit z.T. Beimischung von Brombeere und Himbeere ein, welche ein Etablierungshindernis für alle Baumarten darstellt (Nebe 1995, Karlsson et al. 2002, Wohlgemuth et al. 2002, Leder 2005, Bartsch et al. 2020). Freiflächenspezifisch erhöhte Waldschutzgefahren (u.a. Rüsselkäfer, Mäuse, verstärkter Wildverbiss) kommen hinzu. Desweiteren fehlt es in nadelholzdominierten Waldregionen oft an Samenbäumen geeigneter und standortsgerechter Zielbaumarten in den noch intakten Nachbarbeständen, die mit ihrem Naturverjüngungspotenzial zur Bildung zukunftsfähiger, klimaresilienter Mischwälder auf den Kalamitätsflächen beitragen könnten (Küssner 1997, Tiebel et al. 2020b). Sind junge, noch nicht umbauwürdige Bestände geschädigt worden, fehlt es zudem an geeigneter Vorausverjüngung. Da es neben den Freiflächen aber auch ältere Bestände und Bestandesreste aus Laub- und Nadelbäumen, häufig abgedeckte Voranbauten, vielfältige Naturverjüngung und auch bewusst belassene Dürrständer gibt (Hauskeller 2024), ist die Ausgangssituation in den Schadgebieten insgesamt sehr heterogen.

Die künstliche und gerichtete Wiederbewaldung ist aufgrund immenser Flächenausmaße mit gewaltigen Investitionen verbunden und wird längere Zeiträume in Anspruch nehmen. Daraus folgt, dass nicht alle Flächen gleichzeitig und mit gleicher Intensität bearbeitet werden können. Neben aktiver Wiederbewaldung sollen und müssen Potenziale natürlicher Prozesse genutzt und möglichst zielgerichtet einbezogen werden.

Angesichts dieser Ausgangssituation und den skizzierten Anforderungen, besteht für die Wiederbewaldung ein akuter Bedarf an Entscheidungshilfen.

Einen wichtigen Beitrag zu solchen Entscheidungshilfen kann die wissenschaftliche Analyse von Wiederbewaldungsmaßnahmen nach früheren, großen Schadereignissen leisten. Ein bedeutendes Schadereignis der jüngeren Vergangenheit, das bereits große Schadflächen in Niedersachsen hinterließ, war der Orkan Kyrill im Januar 2007. Am stärksten von den Orkanböen betroffen waren die Gebirge, der Küstenbereich, der Osten Deutschlands, die Kölner Bucht und der Südosten Bayerns. Auf dem Brocken wurden Windgeschwindigkeiten von 198 km/h erreicht (DWD 2007). In den Niedersächsischen Landesforsten kam es zu einem Schadholzanfall von 1,5 Mio Festmetern (NLF 2024), in Nordrhein-Westfalen waren es 15,7 Mio Kubikmeter Sturmholz (Daamen 2009), in Thüringen 2,9 Mio Festmetern (Seiler et al. 2007). In Niedersachsen betrug die Ausfallrate der Fichte in jenem Jahr 13 % (Klinck & Paar 2023). Damit richtete der Orkan „Kyrill“ im Januar 2007 teilweise noch größere Schäden im Wald an als der Orkan „Friederike“, aber die Witterung in der Folgezeit mit ausreichend Niederschlägen bei gemäßigten Sommertemperaturen verhinderte eine derartige Massenvermehrung des Buchdruckers wie beim aktuellen Schadgeschehen (ML 2024). Ziele des Projektes „Evaluierung des Verjüngungserfolges der Sturmschadensflächen von 2007 zur Entscheidungsunterstützung für die Wiederbewaldung aktueller Kalamitätsflächen“ (**WieWaKa**) waren deshalb:

- Die **systematische Evaluierung des Erfolges** der Wiederbewaldung nach Kyrill anhand objektiver und reproduzierbarer standorts- und bestandesbezogener Kriterien.
- Die Herausarbeitung wichtiger Erfolgsfaktoren sowohl für die natürliche als auch die investive Wiederbewaldung.

WieWaKa ist ein Teilprojekt im Maßnahmenpaket „Stadt.Land.Zukunft – SLZ“ im Rahmen des Sondervermögens „Wirtschaftsförderfonds – Ökologischer Bereich“ und ist hier der Maßnahme „Forschung und Anpassung klimaresilienter Wälder“ zuzuordnen.

Die Erfolgsanalyse sollte Kenntnisse über die Wiederbewaldung von Störungsflächen, insbesondere deren Baumartenzusammensetzung, der Baumdimensionen und -qualitäten

sowie an den Bäumen aufgetretene abiotische und biotische Schäden erbringen. Hierzu wurde eine stichprobenbasierte Erhebung im Gelände durchgeführt. Angesichts der aktuellen Hauptschadensgebiete im niedersächsischen Bergland wurden die Außenaufnahmen des Projektes auf Flächen der Niedersächsischen Landesforsten im **Harz** (FoÄ Seesen, Riefensbeek und Clausthal) und im **Mitteldeutschen Trias-Berg- und Hügelland** (FoÄ Dassel, Neuhaus und Münden) durchgeführt.

In Zusammenhang mit dem Erfolg der Wiederbewaldungsmaßnahmen sollten auch Effekte folgender Faktoren untersucht werden:

- Höhenlage und Standort
- Flächengröße
- Flächenräumung und Bodenbearbeitung
- Bestandesbegründungsverfahren
- Pflanzensortimente
- Forstschutzmaßnahmen
- Pflegemaßnahmen
- Samenpotenzial für die natürliche Verjüngung bzw. Ansamung von Pionierbaumarten

## 2. Vorgehensweise

### 2.1. Datengrundlage

Für die Bearbeitung der Fragestellung des Projektes standen verschiedene Datenquellen zur Verfügung (vgl. Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Datengrundlagen

Datenquelle	Bezugs-jahre	Informationen	Flächeneinheit
<b>Sachdaten</b>			
Bestandesinventur der Forsteinrichtung	untersch. Stichjahre	Bestandesinformationen	Untersuchungsraum flächendeckend
vereinfachte Inventur nach Kyrill	2007	Erfassung der Schadflächen als BKL 1 WET- und Kulturplanung	Gesamtgröße des Bestandes (Abt, Uabt, Ufl) Anteilfläche des Sturmschadens
Planausführungsnachweise (PAN)	2007-2011	Vollzug von Kulturmaßnahmen	Buchungseinheit (Abt, Uabt, Ufl)
<b>Geometrische Daten und Luftbilder</b>			
Geometrien der Forsteinrichtung, Standortskartierung, Wuchsbezirke und der A-Wege	untersch. Stichjahre	Flächen- und Standortsinformation, Wuchsbezirke	Untersuchungsraum flächendeckend
CIR-Bildflüge (Farbinfrarotbilder)	2007 2008-2015	Identifikation der Schadflächen Unterstützung der Ergebniskontrolle	Schadflächen flächendeckend unterschiedliche Flächenabdeckung
Dig. Geländemodell (DGM)		Höhenlage der Flächen	Untersuchungsraum flächendeckend

Auf Sachdatenebene konnten Informationen über Flächenzustände, Maßnahmen und Vollzüge aus der Forsteinrichtung, sowie betriebliche Verbuchungen des Maßnahmenvollzugs (Planausführungsnachweise (PAN)) (NLF 2023) genutzt werden.

Im Rahmen der Bestandesinventur der Forsteinrichtung wird die mittelfristige, forstliche Planung und Vollzugsanalyse für einen Forstbetrieb im Abstand von 10 Jahren erstellt. Die Ergebnisse der Zustandserfassung und Planung werden als Karten, Tabellen und Texte in einem Forsteinrichtungswerk (Betriebswerk) zusammengefasst. Nach dem Kyrill-Schadereignis wurde in den betroffenen Forstämtern auf den Schadflächen eine vereinfachte Bestandesinventur durchgeführt, um die bestehende Planung für die Bereiche Waldpflege (Läuterung, Durchforstung) bzw. Endnutzung und v.a. Waldverjüngung zu überprüfen und zu aktualisieren (NFP 2007). In die Inventur mit aufgenommen wurden Reviere mit einem Schadumfang, der einen normalen Jahreseinschlag übertraf. Die Mindestflächengröße der berücksichtigten Schadflächen lag bei 0,5 ha. Die betroffenen Flächen wurden als Betriebsklasse 1 (BKL 1) ausgewiesen. Diese Klassifikation erfolgte jedoch je bestehender Buchungseinheit (Abteilung, Unterabteilung, Unterfläche) und repräsentiert somit die Schadflächen nicht flächenscharf. Bei der Planung der Waldentwicklungstypen (WET) bezogen sich die Größenangaben hingegen auf die tatsächlichen Anteilsflächen der Schadbereiche. Insgesamt ergaben sich in dem Untersuchungsbereich auf Grundlage der BKL1 11.000 ha Schadfläche. Eine WET-Planung wurde dagegen nur auf Anteilsflächen von 2.996 ha durchgeführt, wobei die überwiegenden Anteile mit 1.291 ha (43 %) auf WET mit führender Buche und 707 ha (24 %) auf WET mit führender Douglasie entfielen (Tab. 2).

**Tabelle 2:** Anteilsflächen des Sturmschadens nach geplanten WET (führende Baumart)

	Ei	Bu	Alh	Aln	Fi	Dgl	Lä	Sonder- WET
Fläche [ha]	273	1297	10	45	542	707	117	6
Prozent [%]	9	43	0	2	18	24	4	0

Informationen über vollzogene forstliche Maßnahmen in den Jahren 2007 bis 2011 konnten den PAN entnommen werden. Diese enthielten folgende Informationen über die überwiegend auf die Unterfläche gebuchten Kulturbegründungsmaßnahmen:

- Soll-WET
- Jahr der Kulturmaßnahme
- Flächengröße [ha] der Kulturmaßnahme
- Pflanzenzahl je Maßnahme
- Durchgeführte Flächenvorbereitungen, Bodenbearbeitungen, Zaunbau, Nachbesserungen, Kulturpflege und Läuterungen
- Tlw. Angaben zu Herkunft, Sortiment und Forstschutzmaßnahmen

Für die Untersuchungsgebiete standen die Geometrien der Forsteinrichtung, Standortkartierung und des Forstwegenetzes (A-Wege) sowie Rasterdaten des digitalen Geländemodells (DGM) zur Verfügung (vgl. Tab. 1).

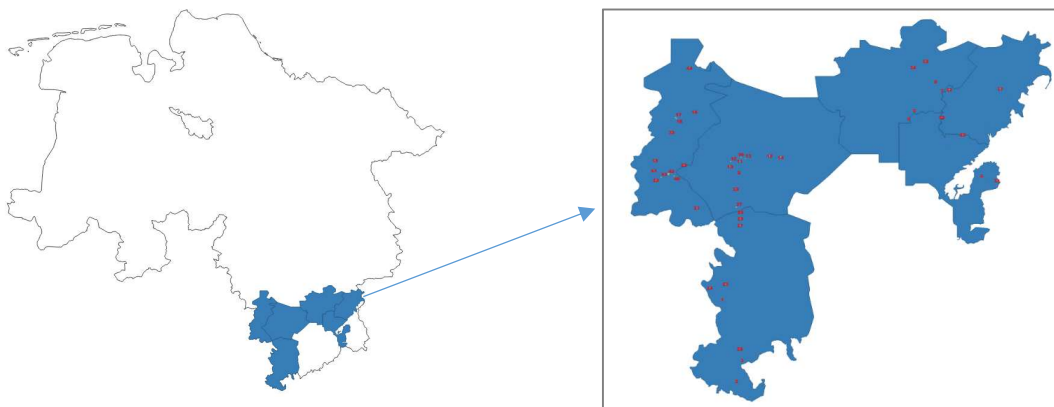
Für die flächenscharfe Identifikation der Schadflächen waren CIR-Bildflüge (Farbinfrarotbilder) eine wichtige Informationsquelle. Für die zu untersuchenden Bereiche lagen ein flächendeckender Datensatz der Befliegung aus dem Folgejahr nach dem Kyrill-Schadensereignis sowie für Teilbereiche zusätzliche Befliegungen der Folgejahre vor. Die Geometrien wurden in ein Q-Gis-Projekt eingebunden, die Luftbilder wurden als WMS-Layer genutzt.

## 2.2. Inventur

Die systematische Evaluierung des Erfolges der Wiederbewaldung nach Kyrill wurde im Rahmen einer umfangreichen Stichprobeninventur durchgeführt. Diese hatte zum Ziel, eine Zustandsbeschreibung der Wiederbewaldung von Kyrill-Schadflächen vorzunehmen.

Die Datenaufnahme fand zwischen dem 01.04.2024 und dem 30.06.2024 statt, sie wurde in Zwei-Personen-Teams durchgeführt.

### 2.2.1. Flächenauswahl



**Abbildung 1:** Lage der Untersuchungsflächen

Grundvoraussetzung für die Berücksichtigung einer Fläche war, dass auf dieser in den Jahren 2007 bis 2011 investive Verjüngungsmaßnahmen durchgeführt und betrieblich verbucht worden waren.

In den ersten vier Jahren nach Kyrill wurden demnach in den Untersuchungsforstämtern 9,1 Mio. Pflanzen gepflanzt (vgl. Tab.3), der größte Anteil Buchen (3,5 Mio) sowie Eichen und Douglasien (jeweils 1,5 Mio).

**Tabelle 3:** In den Forstämtern der Untersuchung verbuchte Pflanzenzahlen der Jahre 2007-2011 (aus den PAN, inkl. Nachbesserungen) (Quelle: NLF 2023)

Forstamt	Pflanzenzahlen	Ei	Bu	Dgl	Fi	Lä
Münden	1.495.176	564.416	295.603	151.447	7.800	197.319
Clausthal	939.750	22.000	338.965	339.419	146.276	-
Riefensbeek	731.403	-	229.296	162.425	272.845	-
Seesen	1.549.577	104.176	876.061	218.810	7.695	110.925
Dassel	2.273.046	463.806	1.041.611	204.074	66.965	48.190
Neuhaus	2.162.544	379.600	709.561	425.662	190.870	46.545
<b>Gesamt</b>	<b>9.151.496</b>	<b>1.533.998</b>	<b>3.491.097</b>	<b>1.501.837</b>	<b>692.451</b>	<b>402.979</b>

Die nachfolgenden Untersuchungen konzentrierten sich auf Buche und Douglasie. Die Eiche wurde bei der Flächenauswahl nicht berücksichtigt, weil hier bereits Untersuchungsergebnisse des Projektes Quercon (Mölder et al. 2019a,b) vorliegen.

Darüber hinaus wurden nur Flächen für eine Auswahl berücksichtigt, bei denen die nachstehenden Mindestpflanzenzahlen je Buchungseinheit überschritten wurden.

- **Mindestpflanzenzahl (Buche): 3.000**
- **Mindestpflanzenzahl (Douglasie): 1.500**

Ziel war es, per Zufallsauswahl gleichmäßig verteilt auf Buchen- bzw. Douglasien-Kulturen und des Weiteren klassifiziert nach Flächengrößen insgesamt 44 Flächen zu untersuchen (Tab. 4). Als Mindestflächengröße wurden 0,5 ha festgelegt. Die Beschränkung der untersuchten Flächenanzahl richtete sich nach den im Projekt zur Verfügung stehenden Ressourcen. Sehr große Schadflächen waren durch Kyrill weniger entstanden, außerdem war ihre Aufnahme bei gleicher Weite des Aufnahmerasters sehr aufwändig.

**Tabelle 4:** Aufteilung der Straten der aufzunehmenden Schadflächen

Zielbaumart	Schadflächengröße (ha)	Anzahl Schadflächen
Buche	0,5-2	10
	>2-5	10
	>5-10	2
Douglasie	0,5-2	10
	>2-5	10
	>5-10	2

Die Untersuchungsflächen wurden in einer zweiphasigen Zufallsauswahl festgelegt. Zunächst wurden aus dem Gesamtpool der Flächen mit erreichter Mindestpflanzenzahl je Buchen- und Douglasienstratum innerhalb der Suchkulisse 100 Buchungseinheiten zufällig gezogen. Dabei spielte die regionale Zugehörigkeit keine Rolle.

Die Schadflächen, die zu diesen Abteilungen gehörten, wurden mit Hilfe der Luftbilder digitalisiert und ihre Flächengrößen ermittelt. Inventureinheit war die gesamte Schadfläche (Stand: 2007), auf der die Kulturmaßnahme erfolgt ist. Es war also möglich, dass auch angrenzende Abteilungen innerhalb der identifizierten Schadfläche lagen. Da eine digitale Verortung tatsächlicher Kultur- und Pflegemaßnahmen in den Jahren nach Kyrill noch nicht Standard war, ist eine flächenscharfe Zuordnung nicht möglich. Lagen mehrere Schadflächen innerhalb einer Abteilung, blieb die Auswahl auf eine Fläche beschränkt. Insbesondere bei Buchenkulturen kamen waldbaulich sinnvolle Pflanzungen im Schutz verbliebener Altholzreste vor. Nach der Methodik der vorliegenden Untersuchung, die nur schirmfreie Bereiche einbezog, blieben sie damit außerhalb der delinierten Schadflächen.

Aus dem Pool dieser Schadflächen wurden im nächsten Schritt, wiederum per Zufallsauswahl, gestaffelt nach den festgelegten Straten der Baumarten und Größenklassen die aufzunehmenden 44 Flächen zufällig ausgewählt (Tabelle 5).

Insgesamt wurden 110 ha Schadfläche untersucht. Das arithmetische Mittel der Flächengröße aufgenommener Schadflächen liegt damit bei 2,5 ha. Die Flächen 1 bis 22 sind dem Buchen- die weiteren dem Douglasienstratum zuzuordnen. 26 Flächen befinden sich im Solling bzw. Sollingvorland, dem Hauptschadgebiet von Kyrill im niedersächsischen Bergland, 6 im Kaufunger Wald bzw. Bramwald, beides Bereiche, die dem Wuchsgebiet des Mitteldeutschen Trias-Berg- und Hügelland zugehörig sind. Weitere 11 Flächen befinden sich im Wuchsgebiet Harz. Die Höhenlage reichte von 200 m ü. NN im Bramwald bis 650 m ü. NN in der montanen Stufe des Harzes. Es handelt sich standörtlich überwiegend um schluffig-lehmige, vielfach lössbeeinflusste Decken über basenarmen Silikatgesteinen mit mäßiger bis ziemlich guter Nährstoffversorgung, womit ein großer Anteil niedersächsischer Berglandstandorte repräsentiert ist.

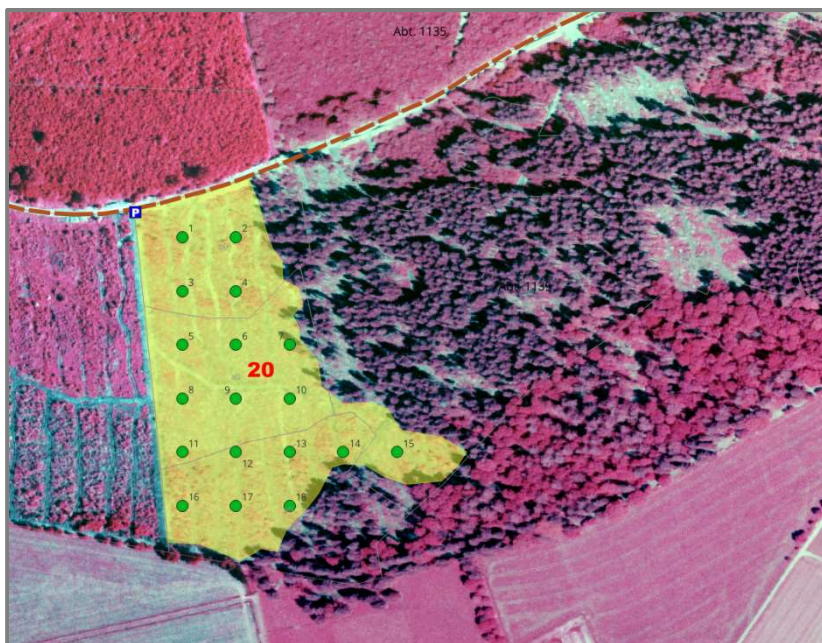
**Tabelle 5: Beschreibung der ausgewählten Flächen**

**Wuchsgebiete (WG):** Harz (36), Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland (37); **Wuchsbezirke (WB):** Bramwald-Brackenberg (BB), Kaufunger Wald (KW), Unterer Solling (US), Hoher Solling (HS), Solling-Vorland (SV), Unteres Weser-Leinebergland (UW), Unterer und mittlerer Harzrand (UH), Montaner Mittel- und Oberharz (MH) (Gauger & Aldinger 2005); **Erläuterung Standortstypen** (NFP; LLUR (2009a,b))

FI-ID	Forstamt	Revier	Abteilung	WG	WB	Höhenlage [m ü NN]	Standortstyp	Flächen-größe [ha]
1	Münden	Oberode	3010b <sub>2</sub>	36	KW	451 - 500	14.4.2.4	0,7
2	Seesen	Riesberg	1074a, 1087a	37	MH	501 - 550	26/19.3.2.2	0,7
3	Dassel	Lauenberg	1167a, 1168a	36	US	301 - 350	19.4.2.3, 9.4.3.5	0,8
4	Neuhaus	Schießhaus	7b,c	36	US	351 - 400	19.3.2.3, 19.4.3.5	0,8
5	Dassel	Hilwartshausen	1049a,b	36	HS	401 - 450	19.4.2.3	0,9
6	Dassel	Hilwartshausen	1151b	36	US	301 - 350	9.4.2.3/3.5	0,9
7	Seesen	Riesberg	1334a,b	37	UH	351 - 400	19/23.3.2.3, 4.4.2.3	1,1
8	Münden	Oberode	1055b <sub>1,2</sub>	36	KW	351 - 400	13.3.2.4, 9.3.2.2	1,2
9	Neuhaus	Fürstenberg	1037a, 1133a	36	US	351 - 400	19.4.2.3/3.5	1,2
10	Neuhaus	Schießhaus	121a	36	US	251 - 300	19.4.2.2, 18.4.3.5	1,8
11	Riefensbeek	Lilienberg	2224b	37	UH	451 - 500	19.4/3.2.3	2,0
12	Münden	Kattenbühl	31c, 32b, 46c, 47a <sub>2</sub>	36	BB	351 - 400	14.3.2.3, 13.3.2.4	2,1
13	Dassel	Relliehausen	1133a	36	US	351 - 400	19.4.2.3	2,1
14	Neuhaus	Neuhaus	2139a	36	HS	451 - 500	10.2.2.1, 19.4.3.5	2,3
15	Dassel	Lauenberg	1259a,b, 1264b,c	36	SV	301 - 350	23/19.4.2.3	2,4
16	Dassel	Hilwartshausen	1147a,b, 1148a	36	US	351 - 400	9.4.2.3	2,5
17	Seesen	Stauffenburg	102a	37	UH	451 - 500	19.4.2.3	2,6
18	Neuhaus	Schießhaus	117a	36	US	201 - 250	23.4.2.3, 22.4.3.5 4.4.7.2	2,7
19	Seesen	Stauffenburg	238a <sub>1,5,6</sub>	37	UH	301 - 350	9/19/22.5.4.4 18/19.4.2.3	3,1
20	Neuhaus	Buchenberg	1234b, 1238a, 1230a	36	US	301 - 350	19.4.2.3, 19.4.3.5 4.4.3.5, 3.4.7.2	3,5
21	Neuhaus	Fürstenberg	1139a	36	US	351 - 400	19.4.2.3	5,3
22	Dassel	Lauenberg	1238b, 1239a, 1244b	36	SV	201 - 250	4/18.4.3.4 4/9/18/5.5.3	5,8
23	Münden	Ellershausen	87a <sub>1,2</sub> , 91a	36	BB	201 - 250	23.4.2.3	0,6
24	Seesen	Hohestein	30b	37	UH	451 - 500	19/26.3.2.3	0,6
25	Münden	Oberode	3052a,b	36	KW	251 - 300	19.4.2.3	0,7
26	Dassel	Hilwartshausen	1169a	36	US	301 - 350	19.4.2.3, 3/6/4.2.3	1,2
27	Münden	Goseplack	568a,b	36	US	301 - 350	19.4.2.2	1,5
28	Neuhaus	Fürstenberg	1051a	36	US	351 - 400	23.4.2.3/3.5	1,6
29	Münden	Ellershausen	76b, 77b <sub>1</sub> , 98a <sub>1</sub>	36	BB	351 - 400	9/14.4.2.3	1,7
30	Neuhaus	Nienover	299a, 308a	36	HS	401 - 450	9/19.4.2.3	1,8
31	Münden	Verliehausen	2331b,c,d	36	US	351 - 400	19.4.2.3, 20.3.2.1	1,9
32	Dassel	Delliehausen	4015a,b	36	US	301 - 350	23.4.2.3	1,9
33	Riefensbeek	Königshof	2155a <sub>1,2</sub> , b <sub>1</sub>	37	MH	401 - 450	19/23/3/2.2	2,0
34	Neuhaus	Burgberg	3046a <sub>1</sub> , d, 3048a <sub>2</sub>	36	UW	251 - 300	23/26/4/2.3	2,0
35	Neuhaus	Fürstenberg	1138a,b	36	US	351 - 400	9/23.4.2.3	2,7
36	Clausthal	Hahnenklee	2667a	37	MH	501 - 550	9/23.3.2.2	2,9
37	Clausthal	Hahnenklee	420a, 1321a	37	MH	501 - 550	9/19.3.2.2	3,5
38	Dassel	Delliehausen	1579c,d	36	US	251 - 300	19.4.2.3/3.5	3,5
39	Münden	Goseplack	553a,b	36	US	351 - 400	19.4.2.2	4,1
40	Clausthal	Göttingerode	1420a	37	MH	551 - 600	9/19.3.2.2	4,3
41	Neuhaus	Mühlenberg	149a, 152a	36	US	251 - 300	19/23.4.2.3	4,8
42	Seesen	Langelsheim	300c, 301b, 302a,b, 322a <sub>1</sub>	37	UH	451 - 500	19/23.3.2.2	4,9
43	Clausthal	Altenau	95a1, 96a	37	MH	601 - 650	19/9.3.2.3	7,8
44	Neuhaus	Wildenkiel	1121a,c	36	US	351 - 400	22/23.4.3.5, 23.3.2.3	9,9

### 2.2.2. Datenaufnahme auf den Aufnahmeflächen

Über die aufzunehmenden Schadflächen wurde digital in Q-Gis, Version 3.34.2 ein 50 x 50 m Raster gelegt, orientiert am Polygon der Flächenabgrenzung der Schadflächen. Von den Außenrändern der Schadflächen wurde ein Abstand von 10 m gehalten (s. Abbildung 2). Die Datenaufnahmen erfolgten an jedem Rasterpunkt der Flächen innerhalb eines festen Probekreises (Radius = 6 Meter) (Ammer et al. 2004). Auf einer Fläche wurden keine Aufnahmen durchgeführt, weil aufgrund des Flächenzuschnittes kein Rasterpunkt in die Fläche fiel. Insgesamt wurden 307 Probekreise aufgenommen.



**Abbildung 2:** Stichprobendesign auf einer ausgewählten Schadfläche (Quelle: NLF, LGLN 2023)

Da die Abgrenzungen der Schadflächen sowie die Positionen der Rasterpunkte im Gelände nicht erkennbar waren, war digitale Technik mit georeferenziertem Kartenmaterial Voraussetzung für die Durchführung der Inventur. Arbeitsprogramme bei den Geländeaufnahmen waren Q-Gis, Version 3.34.2 und Access 2013. Q-Gis diente dem Auffinden der Flächen und der Rasterpunkte. Die georeferenzierten Flächendaten waren in Geo-Packages abgelegt. Eine Access-Datenbank war das Arbeitsmedium mit den Vorinformationen über die Flächen sowie über ein eigens erstelltes Formular das Frontend der Dateneingabe.

Am Rasterpunkt wurden Informationen zur Umgebung des Punktes wie Höhenlage, Standortstyp und Lage der Fläche sowie im Gelände eindeutig erkennbare durchgeführte Maßnahmen (z.B. Bodenbearbeitung, Zaunbau und Pflegeeingriffe) aufgenommen. Innerhalb der Probekreise wurde die botanische Gattung aller Bäume und Sträucher mit einer Mindesthöhe von 130 cm, ihre Dimensionen (Durchmesser und Höhe) (Kramer & Akca 2002), die Qualität sowie die Schäden nach vorgegebenen Schlüsseln erfasst. Eine genaue Beschreibung des Aufnahmeverfahrens befindet sich im Anhang.

### 2.2.3. Datenauswertung

Alle Grafiken, Analysen sowie datenverarbeitende Schritte wurden durch bzw. mit der Statistiksoftware R, Version R 4.4.1 (R Core Team, 2019) erzeugt. Es wurden die Pakete ggplot2 version 3.5.1 (Wickham et al. 2016), dplyr version 1.1.4 (Wickham et al. 2023), tidyr version 1.3.1 (Wickham et al. 2024), ggthemes version 5.1.0 (Arnold 2024) und gridExtra version 2.3 (Auguie & Antonov 2022) benutzt. Bei der Verarbeitung von Geodaten wurde QGis Version 3.34.2 (QGis-Development Team 2023) eingesetzt.

Als Diversitätsmaße wurden der Shannon-Weaver-Index und die Evenness verwendet.

Shannon-Weaver-Index:

$$H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i \text{ mit } p_i = n_i / N$$

$n_i$  = Anzahl der Individuen der  $i$ -ten Art  
 $N$  = Gesamtzahl der Individuen

Evenness:

$$E = H / \ln(S)$$

$S$  = Anzahl Arten

Zur Berechnung der Höhen- Durchmesserbeziehung wurde im Package drc version 3.0-1 das zweiparametrische Modell von Michaelis-Menten (MM.2) mit  $x$ =BHD und den Parametern  $a$  und  $b$  (Ritz & Strebig 2016) gewählt:

$$f(x, (a, b)) = a - \frac{a}{(1 + (\frac{b}{x}))}$$

Insgesamt erfolgte hauptsächlich deskriptive Datenanalyse, da die Ressourcen für die Aufnahme eines Flächensets begrenzt waren und komplexere Analysemethoden mehr Aufnahmedaten erfordert hätten. Trotzdem wurden aufschlussreiche Erkenntnisse für die forstliche Praxis erwartet.

### 3. Erzielte Ergebnisse

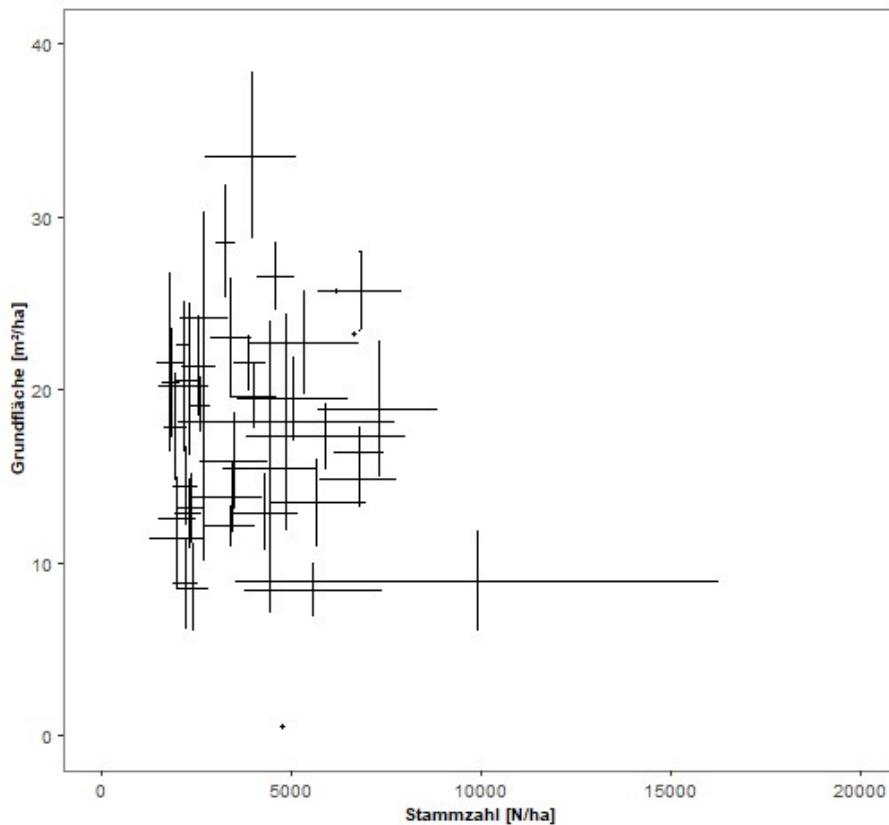


**Abbildung 3:** Gepflanzte Buche mit Fichtennaturverjüngung im Forstamt Münden

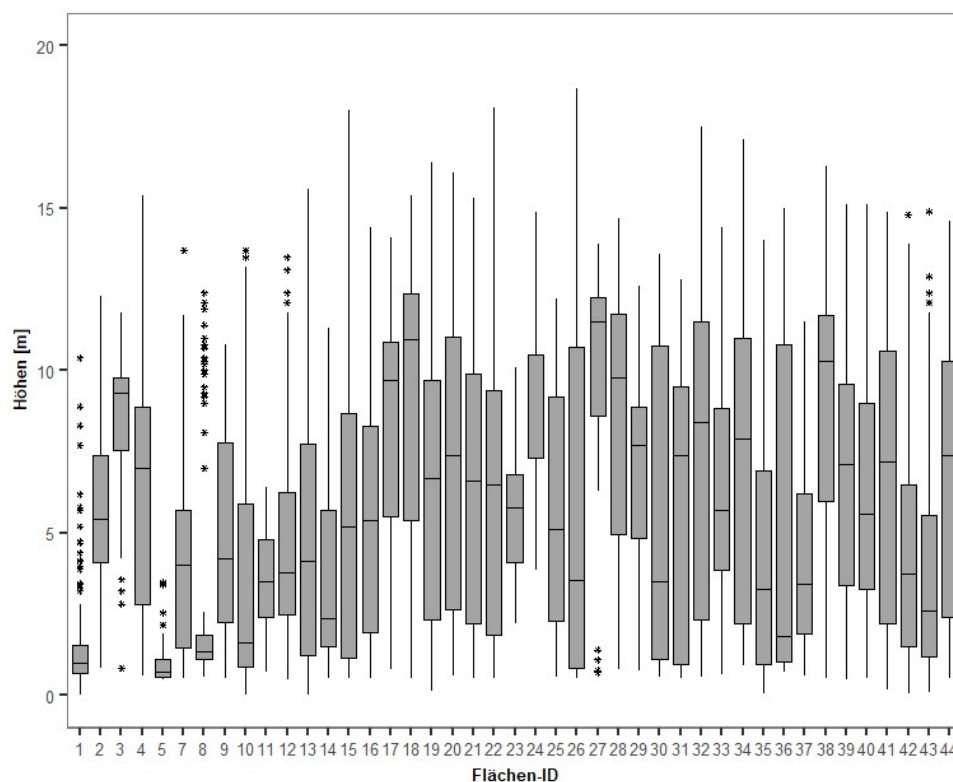
#### 3.1. Verjüngungsdichte auf den ehemaligen Kyrill-Schadflächen und ihre Baum- und Strauchartenzusammensetzung

Über alle erfassten Baum- und Straucharten hinweg variiert die mittlere Individuendichte auf den Aufnahmeflächen in einer weiten Spanne zwischen 1.790 und 9.903 Individuen je Hektar. (Abb. 4). Vergleichbar variabel verhält sich die Bestandesgrundfläche. Deren Mittelwerte schwanken ebenfalls stark, v.a. aufgrund der Unterschiede erreichter Wuchsklassen, zwischen 0,6 und 33,5 m<sup>2</sup> je Hektar, wobei die Fläche mit der geringsten Grundfläche eine Dichte von fast 5.000 Individuen je Hektar aufweist. Deutlich wird zudem die große Streuung sowohl der Dichte als auch der Grundfläche innerhalb der Flächen (ausgedrückt durch den Standardfehler).

Eine große Differenzierung zwischen den und innerhalb der Flächen zeigen auch die gemessenen Höhen (Abb. 5). Der Median der Flächen variiert zwischen 1,3 und 11,6 m bei auch hier großer Streuung innerhalb der Flächen.



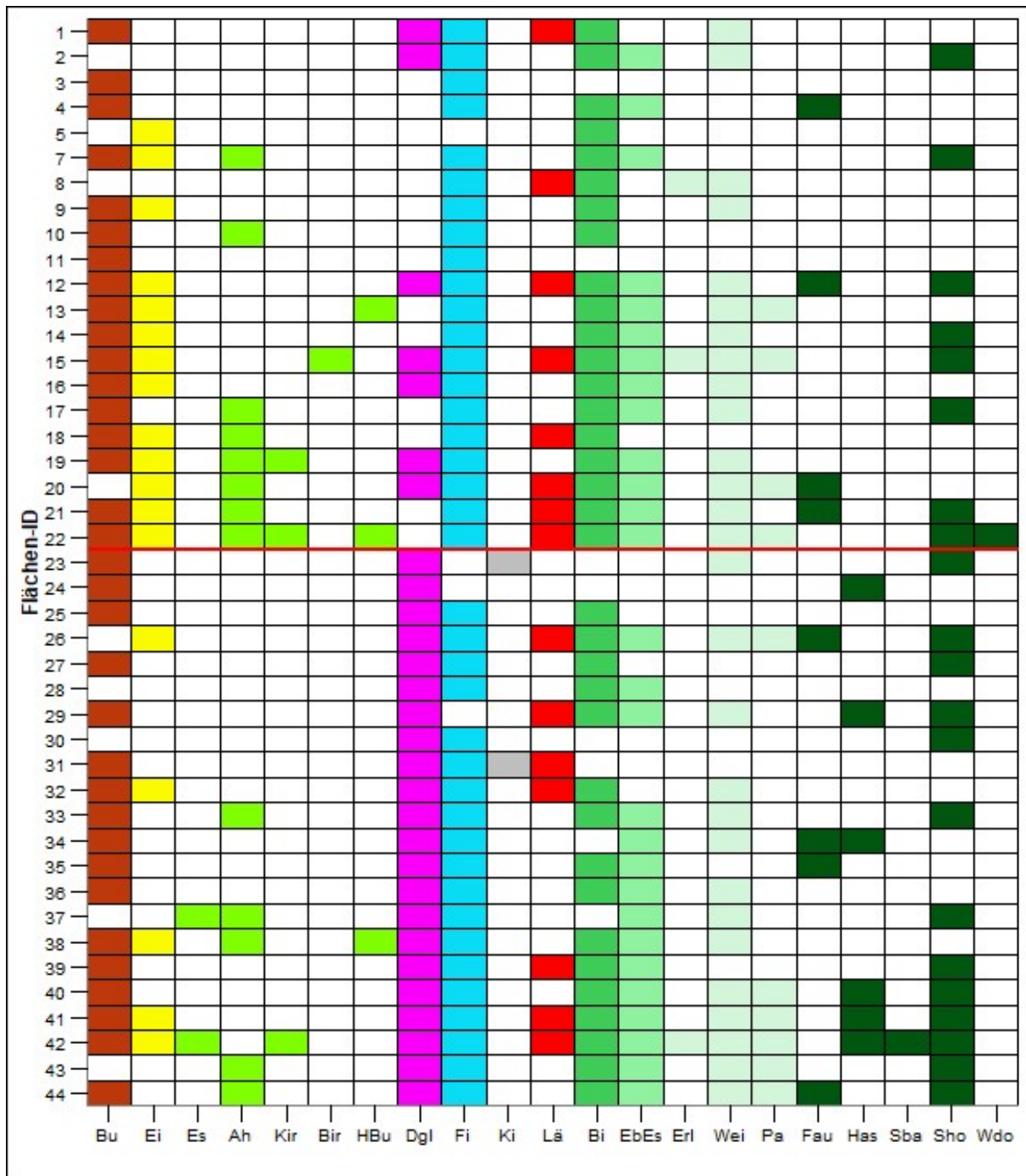
**Abbildung 4:** Grundfläche [m<sup>2</sup>/ha] aller Bäume und Sträucher der Untersuchungsflächen in Abhängigkeit von der Stammzahl [N/ha]. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte und Standardfehler von Grundfläche und Stammzahl je Hektar.



**Abbildung 5:** Höhenbereiche der Bestockung der 43 Aufnahmeflächen über alle Bäume und Sträucher 17 Jahre nach dem Schadereignis

Im flächengewogenen Mittel wurden 8,6 verschiedene Baum- und Straucharten je Störungsfläche ermittelt, die Anzahl variiert zwischen 2 und 15 bei allerdings unterschiedlichen Flächengrößen (vgl. Abb. 6). Auch auf Flächen, die bei der Vorauswahl auf Grundlage von verbuchten Buchenpflanzungen ausgewählt wurden (FI-IDs 1-22), wurden in vier Fällen keinerlei Buchen gefunden, aber auf 77 % der Flächen des Douglasien-Stratums. Dies ist einerseits ein Hinweis darauf, dass Buchen häufiger unter vorhandene Bestandesreste gepflanzt wurden und somit wie bereits erwähnt nicht in die Aufnahmekulisse fielen bzw. häufig auch als Mischbaumart innerhalb der Buchungseinheiten mit überwiegender Douglasienpflanzung oder es handelte sich um abgedeckte ältere Voranbauten, auf deren angrenzende Schadflächenbereiche Douglasie gebracht wurde. Der überwiegende Teil der Buchen (84 %) entstammte Pflanzungen (Tab. 6). In allen ausgewählten Flächen des Douglasien-Stratums (FI-ID 23-44) wurden auch Douglasienpflanzen erfasst. Darüber hinaus kam Douglasie auch auf einem Drittel der Flächen des Buchen-Stratums vor. Die Einbringung als Mischbaumart oder ältere abgedeckte Voranbaugruppen sind mögliche Erklärungen hierfür. Douglasien aus Naturverjüngung werden nur in Einzelfällen (3 %) gefunden. 42 % aller Flächen weisen Eichen auf. Von diesen ist der mit 88 % überwiegende Anteil aus Pflanzung entstanden. Die Baumart Fichte, ganz überwiegend aus Naturverjüngung, ist auf nahezu allen Flächen vertreten. Auffällig war hier ein hoher Anteil (29 %) toter Individuen. Abgestorben waren überwiegend kleine Pflanzen. Bei den natürlich angekommenen Weichlaubbaumarten überwiegen Birke, Eberesche und Weide. Diese sind in hoher Stetigkeit auf 81 % bzw. jeweils 65 % der Flächen vertreten, des Weiteren in geringerem Umfang Erle und Pappel (i.d.R. Aspe). Schwarzer Holunder als Strauchart wurde auf der Hälfte der Flächen erfasst, Faulbaum auf 19 %, Hasel auf 14 %. Schwarzer Holunder und Faulbaum schienen unter mangelndem Lichtgenuss im Zuge zunehmenden Dichtschlusses zu leiden, was den mit 39 bzw. 27% hohen Anteil toter Individuen erklären könnte.

Aufgrund der hohen Stetigkeit der genannten Baumarten über alle Flächen und vergleichsweise geringen Unterschieden der Flächen in der Baumartenzusammensetzung wird in der weiteren Auswertung auf eine Trennung zwischen Buchen- und Douglasienstratum verzichtet. Es handelt sich somit um eine deskriptive Analyse des Ist-Zustandes aller aufgenommenen Flächen.



**Abbildung 6:** Baum- und Strauchartenvorkommen auf den Flächen

Flächen-ID 1-22: Buchen-Stratum; Flächen-ID 23-44: Douglasien-Stratum; Baumartenabkürzungen siehe Anhang

**Tabelle 6:** Entstehung und Vitalität der Baum- und Straucharten auf den Flächen

Baum- oder Strauchart	Entstehung		Vitalität	
	Pflanzung [%]	Natur- verjüngung [%]	lebend [%]	tot [%]
<b>Ei</b>	88	12	82	18
<b>Bu</b>	84	16	88	12
<b>HBu</b>	0	100	100	0
<b>Es</b>	0	100	86	14
<b>Ah</b>	66	34	89	11
<b>Kir</b>	0	100	100	0
<b>Bir</b>	0	100	67	33
<b>Fi</b>	4	96	71	29
<b>Dgl</b>	97	3	86	14
<b>Ki</b>	0	100	100	0
<b>Lä</b>	79	21	90	10
<b>Bi</b>	0	100	90	10
<b>Erl</b>	0	100	89	11
<b>Pa</b>	0	100	100	0
<b>Wei</b>	0	100	100	0
<b>EbEs</b>	0	100	84	16
<b>Faulb</b>	0	100	73	27
<b>Hasel</b>	0	100	91	9
<b>SchwHo</b>	0	100	61	39
<b>Wdorn</b>	0	100	100	0

Analysen der Biodiversität von ökologischen Systemen beruhen häufig auf den Komponenten Artenreichtum (Artanzahl) und Abundanz (relative Häufigkeiten) (Bartsch & Röhrig 2016). Die diskrete Artenzahl innerhalb einer Lebensgemeinschaft wird durch die  $\alpha$ -Diversität beschrieben (Ammer et al. 2017; Whittaker 1972, 1974). Ein Maß für die  $\alpha$ -Diversität ist der Shannon-Weaver-Index. Der Wert steigt mit zunehmender Artenzahl und zunehmender Gleichverteilung der Arten. Auf den untersuchten Flächen variieren die Werte zwischen 0,26 und 1,92 (vgl. Tab 7). Ein unmittelbarer Vergleich ist allerdings nicht möglich, da nicht erkennbar ist, ob der Wert des Shannon-Weaver-Indexes aufgrund einer hohen Artenzahl mit jeweils unterschiedlicher Individuenzahl oder durch die gleichmäßige Verteilung der Individuen weniger Arten resultiert.

Die Evenness ist ein Maß für die Gleichverteilung der Arten einer Lebensgemeinschaft und dient in der vorliegenden Untersuchung als Kriterium zum Vergleich der Flächen. Durch diesen Index wird der Shannon-Weaver-Index zu der bei der Artenzahl maximal möglichen Diversität (bei gleicher Individuenzahl der Arten) ins Verhältnis gesetzt. Der Wert für die Evenness liegt zwischen 0 (völlig ungleiche Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten) und 1 (totale Gleichverteilung). Der Wert der Evenness der Aufnahmeflächen ist sehr unterschiedlich und variiert zwischen 0,31 und 0,87. Unterschiede der Evenness zwischen Flächen, auf denen hauptsächlich Buche bzw. hauptsächlich Douglasie gepflanzt wurde, sind nicht erkennbar. Es deutet sich jedoch an, dass sich die Flächengröße positiv auf die Artenzahl und den Shannon-Weaver-Index auswirkt, eine Korrelation zwischen Evenness und Flächengröße hingegen nicht erkennbar ist. Dies würde bedeuten, dass die Artenvielfalt zunimmt, weil mehr Arten vorhanden sind, aber deren relative Häufigkeit mehr oder weniger gleich bleibt. Hierzu sind weitere Analysen vorgesehen.

**Tabelle 7:** Diversität auf den untersuchten Störungsflächen

FI-Id	Flächengröße [ha]	Artenanzahl	Shannon- Index	Eveness
1	0,7	6	1,44	0,81
2	0,7	6	1,22	0,68
3	0,8	2	0,59	0,86
4	0,8	5	1,16	0,72
5	0,9	2	0,39	0,56
7	1,1	7	1,53	0,79
8	1,2	5	0,57	0,36
9	1,2	6	0,83	0,51
10	1,8	4	1,11	0,80
11	2,0	2	0,26	0,38
12	2,1	10	1,57	0,68
13	2,1	8	1,16	0,56
14	2,3	7	1,43	0,73
15	2,4	12	1,85	0,75
16	2,5	8	1,25	0,64
17	2,6	7	0,98	0,50
18	2,7	6	0,96	0,53
19	3,1	9	1,67	0,76
20	3,5	11	1,71	0,74
21	5,3	10	1,36	0,59
22	5,8	13	1,65	0,64
23	0,6	5	1,12	0,70
24	0,6	5	0,91	0,83
25	0,7	4	0,98	0,71
26	1,2	10	1,68	0,73
27	1,5	5	0,49	0,31
28	1,6	4	0,88	0,63
29	1,7	8	1,81	0,87
30	1,8	3	0,86	0,78
31	1,9	5	1,26	0,78
32	1,9	7	1,35	0,69
33	2,0	8	1,67	0,80
34	2,0	8	1,44	0,74
35	2,7	6	1,45	0,81
36	2,9	6	1,21	0,68
37	3,5	8	1,61	0,83
38	3,5	10	1,49	0,68
39	4,1	7	1,47	0,76
40	4,3	9	1,78	0,81
41	4,8	11	1,71	0,71
42	4,9	15	1,92	0,71
43	7,8	9	1,63	0,78
44	9,9	11	1,35	0,59

### 3.2. Dimensionen der Bäume und Wuchskonstellationen in den Beständen

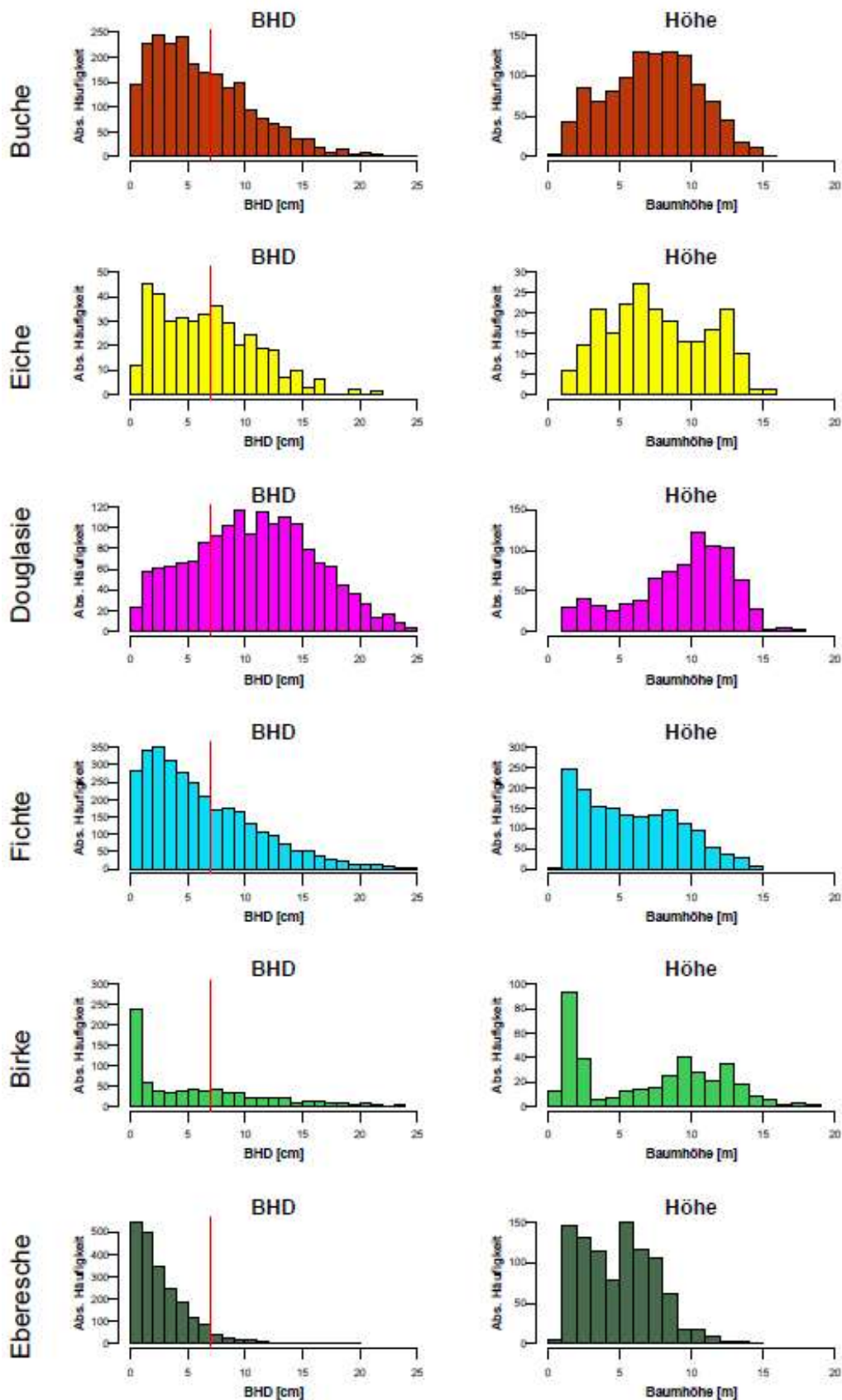
10.417 Durchmesser (BHD)- und 5.153 Höhenmessungen wurden bei den Baumarten Buche, Eiche, Douglasie, Fichte, Birke und Eberesche im Rahmen der Inventur durchgeführt. Die Werte reichen bis zu maximalen Durchmessern von 25 cm bzw. maximalen Höhen von 18 m (Tab. 8). Die Dimensionen der Baumarten sind entsprechend ihres Wachstumsverhaltens sehr unterschiedlich. Mit Ausnahme von Douglasie und Birke zeigen die Durchmesser eine rechtsschiefe Verteilung (vgl. Abb. 7), was bedeutet, dass schwächer dimensionierte Bäume überwiegen. Der Anteil der Bäume, die die Derbholzgrenze ( $BHD \geq 7$  cm) erreicht oder überschritten haben, liegt bei Buche, Birke und Fichte zwischen 36 und 39 %, bei der Eiche beträgt er 46 %. Buchen mit einem BHD über 15 cm dürften im Wesentlichen älteren Voranbauten zuzuordnen sein, die durch den Sturm ihre Überschirmung verloren haben. Eiche ist in deutlich geringerem Umfang in den Untersuchungsplots vertreten, weil sie nicht im Fokus der Untersuchung stand und deshalb bei der Vorstratifikation Flächen mit überwiegender Eichenpflanzung unberücksichtigt blieben (vgl. Kapitel 2.2.1). Geringe Eichenanteile auf nicht wenigen Plots stammen aus Naturverjüngung und waren in der Regel von schwächerer Dimension. Nur ausnahmsweise und unbeabsichtigt fanden sich höhere Anteile offensichtlich gepflanzter Eichen. Bei der Birke sind fast 40 % aller Bäume schwächer als 2 cm. Die Douglasie ist deutlich stärker dimensioniert als die anderen Baumarten, 75 % aller Bäume sind mindestens 7 cm stark, ihr Median der gemessener Durchmesser beträgt 10,8 cm. Die Douglasien befinden sich überwiegend in der Stangenholzphase (Oberhöhe 6-13 m), die Hälfte der gemessenen Bäume ist bereits höher als 10 m. Bei der Birke ist die Höhenverteilung zweigipfelig, vielfach befindet auch sie sich in der Stangenholzphase. Die andere Hälfte der Birken erreicht lediglich Höhen unter vier Metern. Die vergleichsweise gering dimensionierten Ebereschen weisen bei der Höhe einen Median von 5,1 m auf. Bei gleichzeitig geringen Durchmessern (Derbholzanteil von 6 %; Median: 2,2 cm) ergibt sich für sie ein ungünstiger HD-Wert von im Mittel 230.

In der aktuellen Altersphase der Bäume auf den Schadflächen, ist eine Vorwüchsigkeit der Birken gegenüber fast allen anderen Baumarten zu beobachten. Sie werden in der Höhe in der Regel nur von den vorwüchsigsten Douglasien übertroffen. Die Fichten erreichen durchgehend nicht die Höhen der Douglasie. Die Buche bleibt bis zu einem BHD von 11 cm gegenüber der Fichte und bis von einem BHD von 16 cm auch gegenüber der Douglasie vorwüchsig. Dass die Eiche eine mit der Douglasie vergleichbare Durchmesser-Höhenbeziehung aufweist, ist vermutlich durch die teilweise älteren Kulturen begründet. Sehr schwach dimensionierte Ebereschen (BHD bis 5 cm) werden in ihrer Höhe nur von der Birke übertroffen, die Höhe bleibt ab einem BHD von 12 cm auch hinter der der Fichte zurück.

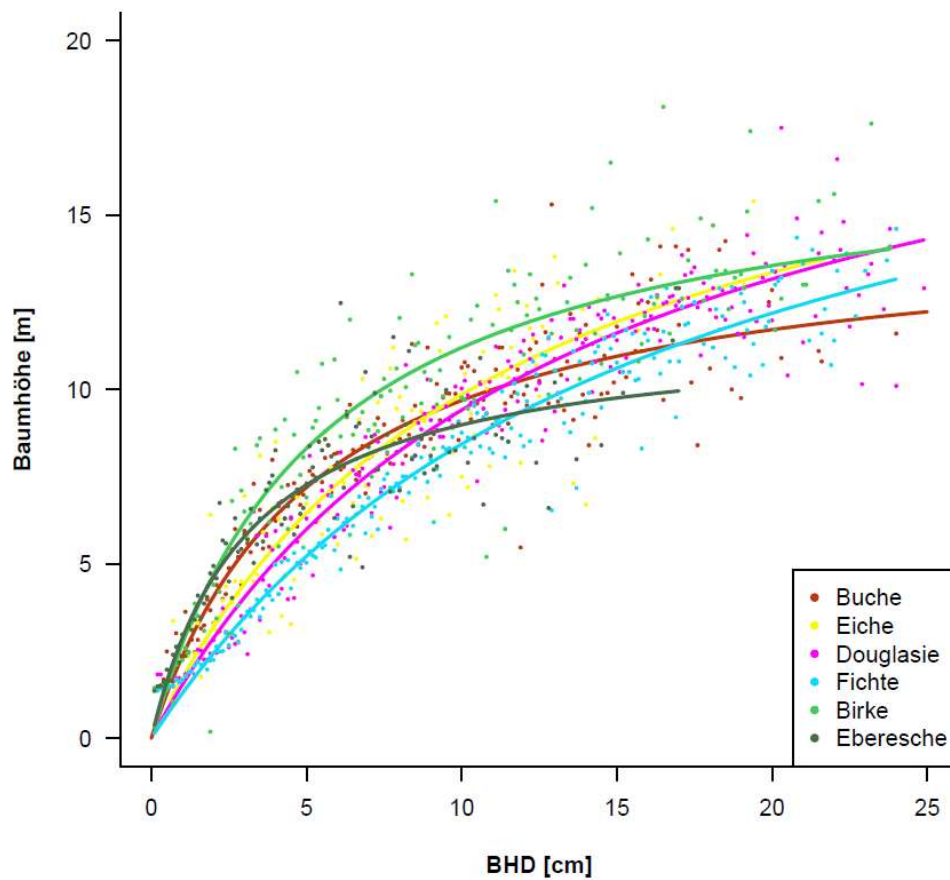
**Tabelle 8:** Verteilungskennwerte von Durchmessern (BHD), Höhen und HD-Werten je Baumart der erfassten Bäume

N=Anzahl; MW=arithm. Mittel; Min=Minimum; Max=Maximum; Stabw=Standardabweichung

	BHD [cm]							Höhe [m]						HD
	N	Median	MW	Min	Max	Stabw	Derbholz [%]	N	Median	MW	Min	Max	Stabw	MW
Bu	2322	5,5	6,3	0,1	24,1	4,3	39	1116	7,5	7,3	0,01	15,3	3,1	149
Ei	397	6,7	6,7	0,3	21,7	4,1	46	217	7,7	7,7	1,5	15,4	3,4	123
Dgl	1615	10,8	10,8	0,3	24,9	5,3	75	849	9,3	9,3	1,2	17,5	3,5	97
Fi	3193	5,2	6,3	0,1	24,4	4,8	37	1624	5,5	5,9	0,6	14,9	3,4	121
Bi	749	4,1	5,7	0,1	23,8	5,6	36	386	7,7	7,0	0,2	18,1	4,7	270
EbEs	2141	2,2	2,8	0,1	19,2	2,4	6	961	5,1	5,0	0,04	14,9	2,6	230

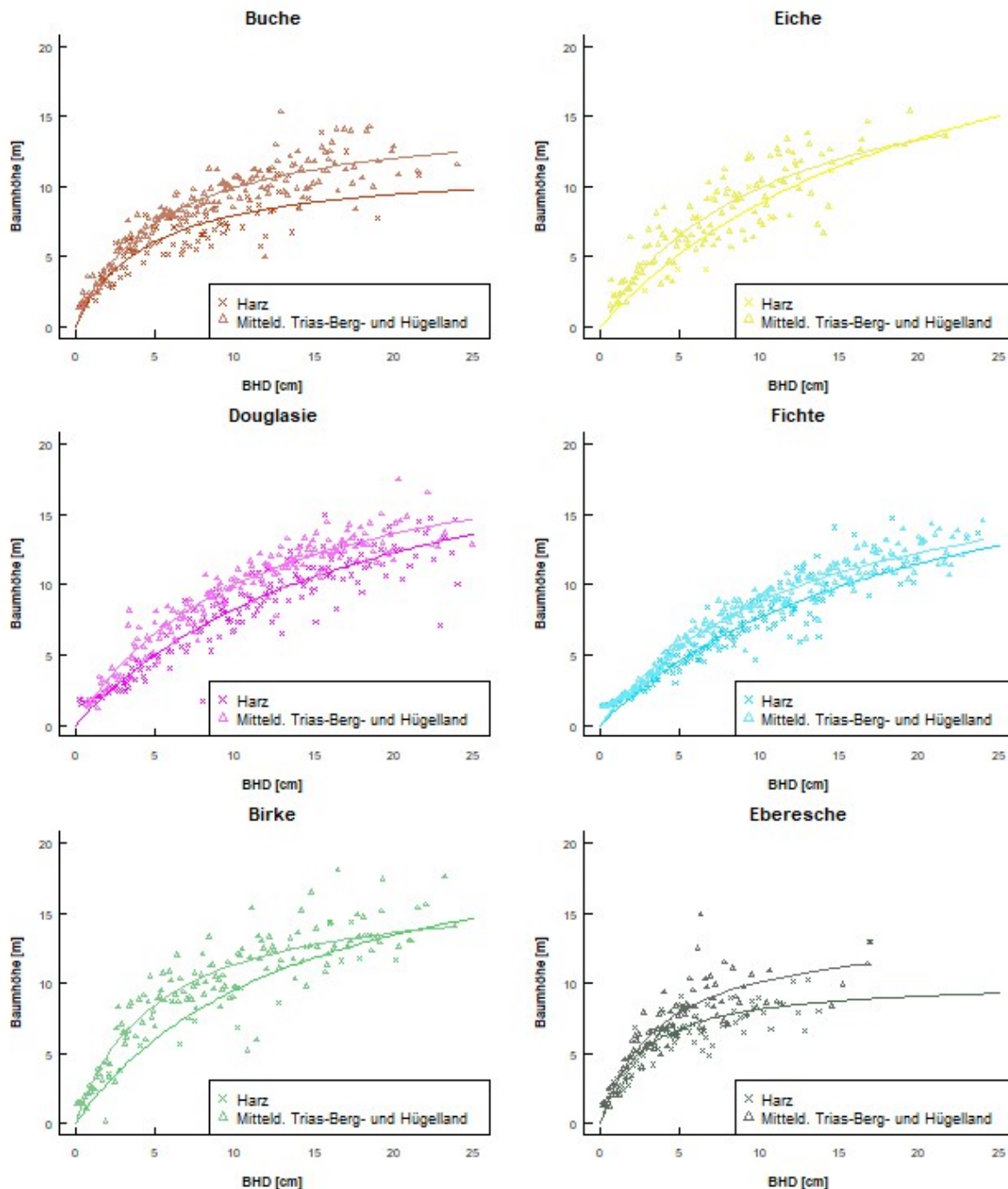


**Abbildung 7:** Absolute Häufigkeitsverteilungen der Durchmesser (BHD) und Höhen der Untersuchungsbäume  
Rote Linie = Derbolzgrenze (BHD  $\geq$  7 cm)



**Abbildung 8:** Durchmesser-Höhen-Beziehungen der Baumarten  
(die Höhenkurven gelten für den aufgenommenen Datenbereich)

Bezüglich des Wuchsverhaltens der Baumarten waren regionale Unterschiede zu erwarten, dieses wird durch die Ergebnisse der durchgeführten Inventur bestätigt (vgl. Abb. 9). Die BHD-abhängigen Höhenentwicklungen aller Baumarten liegen im Harz unter denen des Wuchsgebietes Mitteldeutsches-Trias Berg- und Hügelland.



**Abbildung 9:** Durchmesser-Höhen- Beziehung der Baumarten in den Wuchsgebieten Harz und Mitteldeutsches-Trias Berg- und Hügelland (die Höhenkurven gelten für den aufgenommenen Datenbereich)

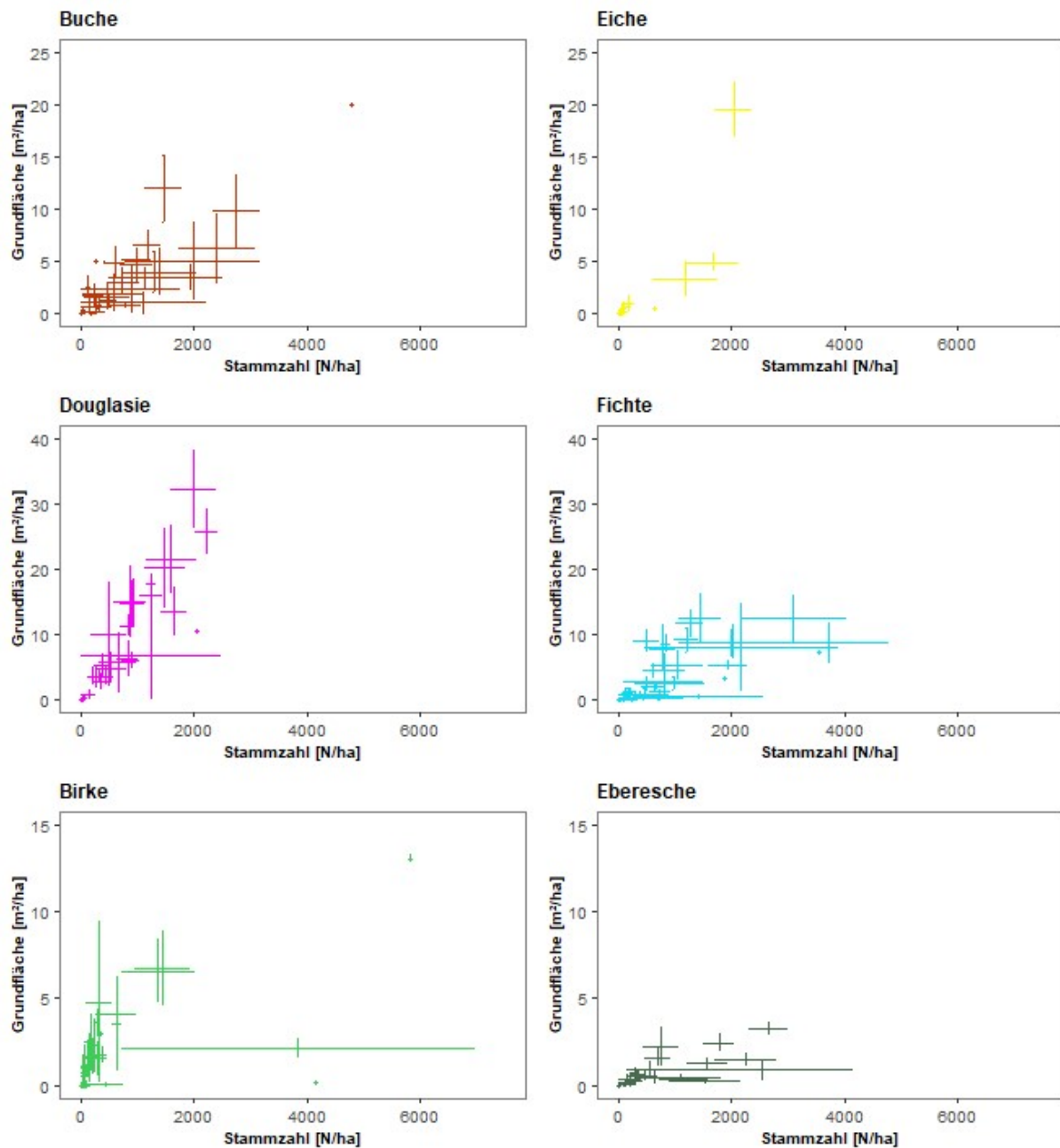
Bei allen Baumarten ist eine sehr große Variabilität hinsichtlich der Stammzahl je Hektar und auch der Grundfläche zu beobachten. Desweiteren ist die Streuung von Stammzahl und Grundfläche innerhalb der Flächen erheblich (ausgedrückt durch den Standardfehler). Unterschiede zwischen den Baumarten werden deutlich. Im arithmetischen Mittel aller Flächen, in denen die jeweilige Baumart vorkommt (Tab. 9), variiert die Stammzahl zwischen 495 Pflanzen/ha bei der Eberesche und 937 Pflanzen/ha bei der Fichte. Die Stammzahl der Eiche ist demgegenüber mit 145 Pflanzen/ha am geringsten, die mittlere Grundfläche der Douglasie mit 6,5 m<sup>2</sup>/ha am höchsten. Buche und Fichte weisen Werte von 2,7 bzw. 3,8 m<sup>2</sup>/ha

auf, die mittleren Grundflächen der Ebereschen betragen aufgrund ihrer geringen Durchmesser lediglich  $0,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

Erwarten würde man in der untersuchten Altersphase grundsätzlich einen Anstieg der Grundfläche mit zunehmender Stammzahl einer Baumart. Dies ist bei Douglasie klar der Fall (Abbildung 10). Die Buche zeigt demgegenüber auf den untersuchten Flächen einen deutlich schwächeren Zusammenhang beider Größen, gleichzeitig ist die Heterogenität innerhalb der Flächen groß. Hohe Grundflächen der Buche bei gleichzeitig geringen Stammzahlen sind abgedeckten älteren Voranbauten zuzuordnen. Bei der weitgehend aus Naturverjüngung entstandenen Fichte, die auf nahezu allen Untersuchungsflächen vorhanden ist, werden in der Spitze höhere Stammzahlen je Hektar als bei der Douglasie erreicht. Aus den geringen Durchmessern dicht stehender Naturverjüngungspartien der Fichte resultieren jedoch nur geringe Grundflächen. Ebenfalls aus Naturverjüngung entstanden und in unterschiedlichen Anteilen in der überwiegenden Flächenanzahl vorhanden sind Weichlaubebäume. Die fröhndynamischen Birken erreichen bei vergleichsweise geringeren Stammzahlen bis 1.500 je ha nicht unerhebliche Grundflächen. Ausnahmen bilden Flächen, wo Pflegemaßnahmen zu mehrtriebigen Stockausschlägen der Birke führten, was in hohen Stammzahlen mit geringen Durchmessern mündet. Die Eberesche zeigen im Vergleich zu den anderen Baumarten, wie erwähnt, die geringsten Durchmesser und erreicht deshalb selbst bei Anzahlen über 2.000 je ha nur geringe Grundflächen. Eichen treten in den Probekreisen überwiegend als seltenere Mischbaumarten mit mittleren Stammzahlen unter 500 Pflanzen je Hektar und Grundflächen unter  $3 \text{ m}^2$  je Hektar auf. Drei Flächen enthielten eichendominierte Partien, die in einem Fall deutlich vorwüchsig waren und dadurch als älter eingeschätzt wurden.

**Tabelle 9:** Verteilungskennwerte von Stammzahl [N/ha] und Grundfläche [ $\text{m}^2/\text{ha}$ ] je Baumart auf den Flächen

	N Flächen	Stammzahl [N/ha]					Grundfläche [ $\text{m}^2/\text{ha}$ ]				
		arith. MW	Median	Min	Max	Stabw	arith. MW	Median	Min	Max	Stabw
Bu	34	717	310	0	4.775	940	2,7	1,2	0	20,0	3,8
Ei	18	146	0	0	2.034	433	0,7	0	0	19,6	3,1
Dgl	29	561	354	0	2.228	653	6,5	3,5	0	32,1	8,1
Fi	39	937	685	0	3.714	951,6	3,8	2,0	0	12,5	4,0
Bi	35	502	76	0	5.836	1204	1,6	0,7	0	13,0	2,5
EbEs	28	495	187	0	2.653	727	0,5	0,2	0	3,2	0,7



**Abbildung 10:** Grundfläche [m²/ha] der Baumarten in Abhängigkeit der Stammzahl [N/ha]

Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte und Standardfehler (von Grundfläche und Stammzahl je Hektar).

Neben den absoluten Dimensionen der Baumarten sowie ihren Anteilen in den Schadflächen ist für die Einschätzung der baumartenbezogenen Konkurrenzsituation und Differenzierung und damit letztlich für die Ableitung von Maßnahmen einer waldbaulichen Steuerung die soziale Stellung innerhalb der Bestände von entscheidender Bedeutung. (Abb. 11 und 12). In Abbildung 13 werden die soziale Stellung der Baumarten und ihre mittlere Stammzahl je Hektar auf den untersuchten Störungsflächen dargestellt. Die soziale Stellung wird über die Höhe definiert (vgl. Abb. 11). Die Gruppen „vorherrschend“, „herrschend“, „mitherrschend“ und „zurückbleibend“ ergeben sich aus dem Verhältnis der mittleren Höhe einer bestimmten Baumart zur mittleren Höhe der höchsten Baumart innerhalb derselben Störungsfläche. Als „vorherrschend“ gelten Baumarten, die die höchste mittlere Höhe in einer Störungsfläche besitzen. „Herrschend“ sind Baumarten, deren mittleren Höhen mindestens 75 % der vorherrschenden Baumart erreichen, bei „Mitherrschenden“ reicht die Spanne von 50 bis 75 %.

Sind die mittleren Höhen einer Baumart kleiner als 50% der mittleren Höhe der höchsten Baumart, werden sie als „zurückbleibend“ eingestuft.

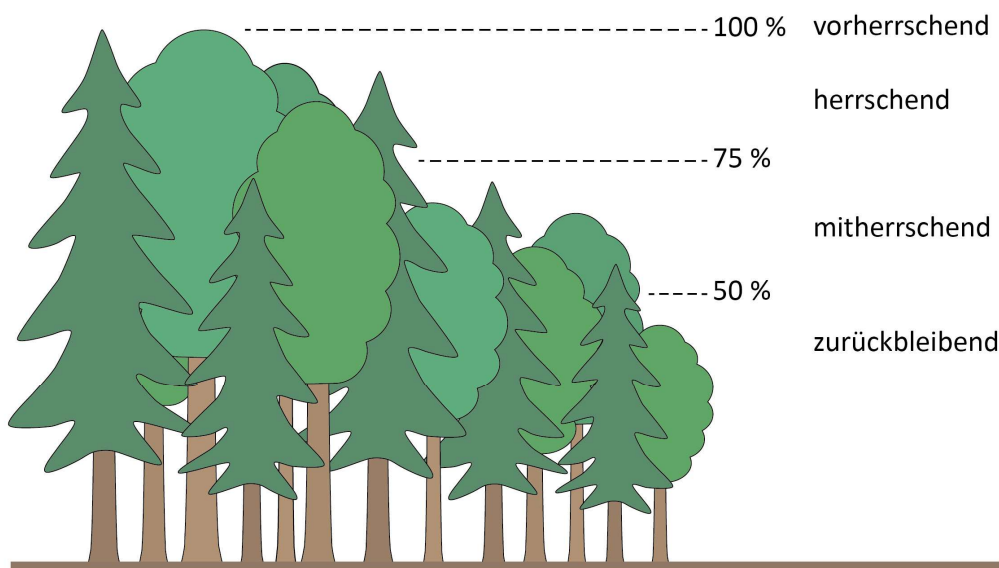
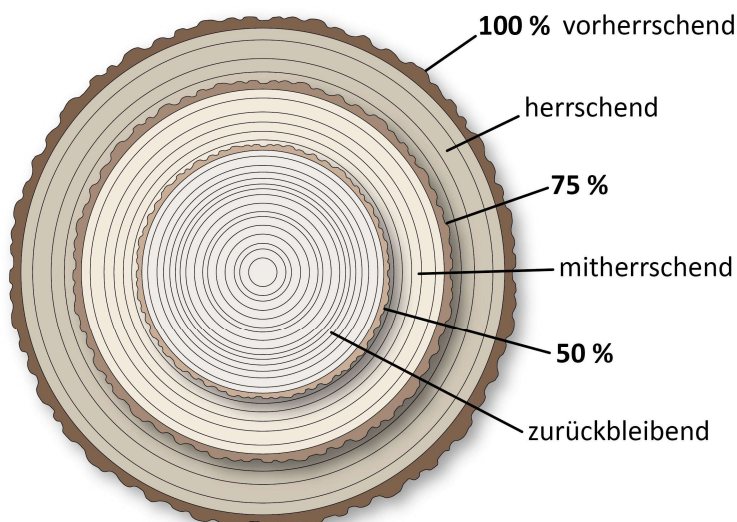


Abbildung 11: Definition der sozialen Stellung anhand der Höhe

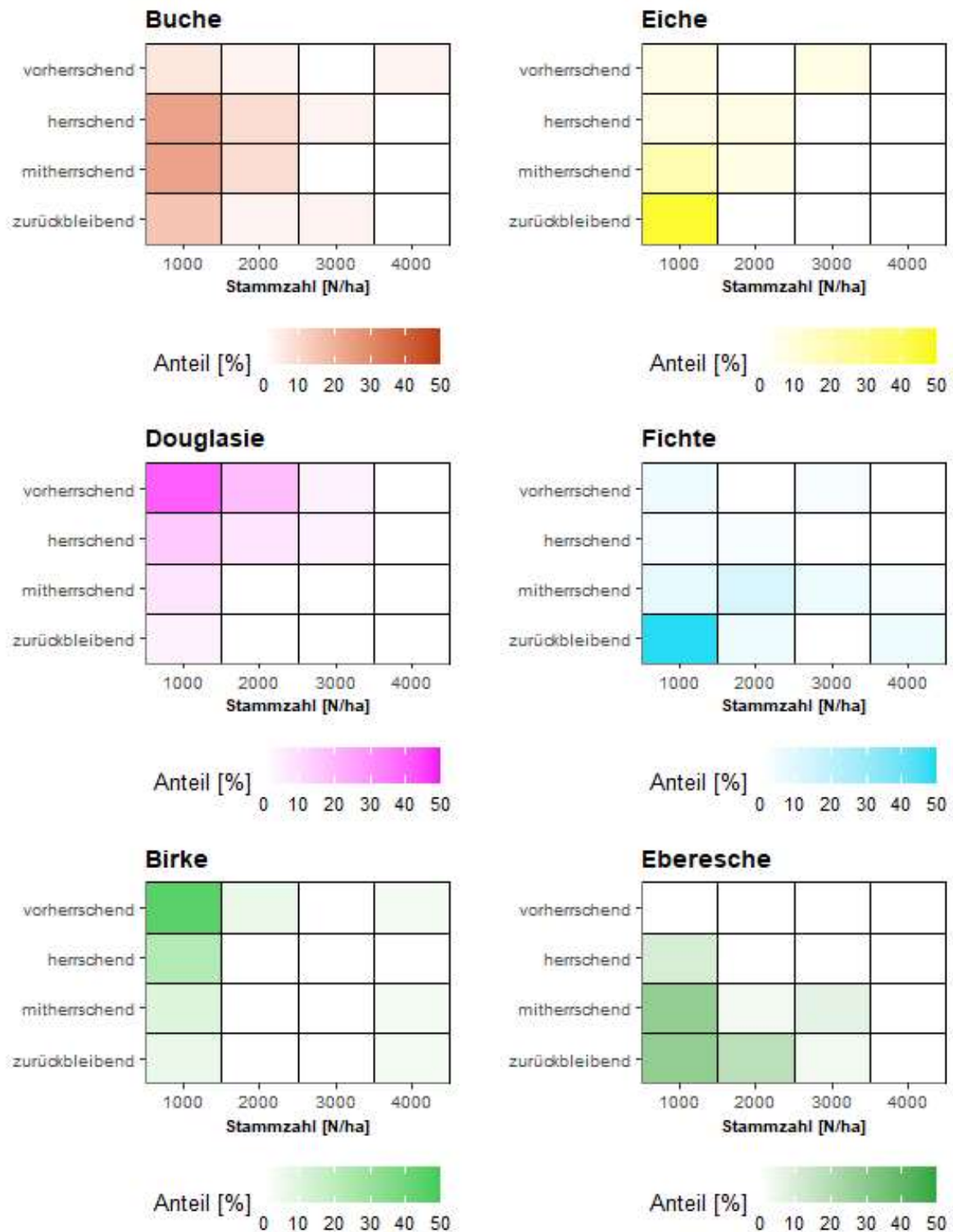
Bei den Baumarten ergeben sich sehr unterschiedliche Muster. Auf nahezu 90 % aller Flächen, auf denen die Douglasie vorkommt, ist diese herrschend bzw. vorherrschend. Die größte Gruppe (41 %) sind vorherrschende Douglasien bei einer Stammzahl bis 1.000 Pflanzen je Hektar. Bei Stammzahlen über 1.000 Pflanzen je ha ist die Douglasie stets vorherrschend oder herrschend. Insgesamt spiegelt sich hierin das hohe Selbstdifferenzierungspotenzial und zügige Jungendwachstum der Douglasie wider. Die Buche ist dagegen in allen Gruppen der sozialen Stellung vertreten, mit einem Schwerpunkt auf den Mitherrschenden (32 %) und Herrschenden (35 %). Auf insgesamt 21 % der Flächen wird sie als sogar als zurückbleibend eingeordnet. Trotzdem kann die Buche aufgrund ihrer hohen Schattentoleranz offensichtlich auch unter hohem Konkurrenzdruck lange überleben. Die Birke ist in den Untersuchungsflächen bezüglich ihrer Höhen überwiegend vorherrschend (55 %) und herrschend (23 %). Demgegenüber überwiegen bei Fichte und Eberesche vor allem die Gruppen der Zurückbleibenden (59 % bzw. 50 %), nur 28 % bzw. 39 % von ihnen sind mitherrschend. Die überwiegend schwach dimensionierten Eichen mit geringer Stammzahl je Hektar sind entsprechend ihrer Konkurrenzschwäche zurückbleibend (47 %). Bei höheren Stammzahlen erreichen sie in innerartlicher Konkurrenz erwachsend auch eine höhere soziale Stellung, wobei es sich hierbei um die Anteile eindeutig gepflanzter Eiche in den wenigen bereits erwähnten Flächen handelt.

Bei einer Dominanzbetrachtung auf Grundlage der Durchmesser (BHD) als Kriterium der sozialen Stellung und der Stammzahlen der Art auf der Fläche (vgl. Abb. 12) wird dieser Befund etwas modifiziert. Dies äußert sich in einem allgemeinen Rückgang in der Besetzung der Kategorien „vorherrschend“ und „herrschend“. Es ergibt sich ein Bild der Beteiligung einer höheren Baumartenvielfalt am maßgeblichen Bestandesgefüge (vgl. Abbildungen 14 - 15). So wäre nach dem BHD-Kriterium der Anteil vorherrschender Douglasien und Birken geringer (-22 % bzw. -29 %), es findet eine Verschiebung hin zu herrschenden und mitherrschenden Douglasien statt, bei der Birken nimmt der Anteil Zurückbleibender um 29 % zu. Bei Buche steigt der Anteil der Zurückbleibenden (38 %), während der Anteil Herrschender um 26 % abnimmt. Bei Fichte ändert sich die Einschätzung gegenüber dem Kriterium der Höhe nicht. Die geringen Durchmesser der Eberesche führen dazu, dass diese ausnahmslos als zurückbleibend einzuordnen ist.

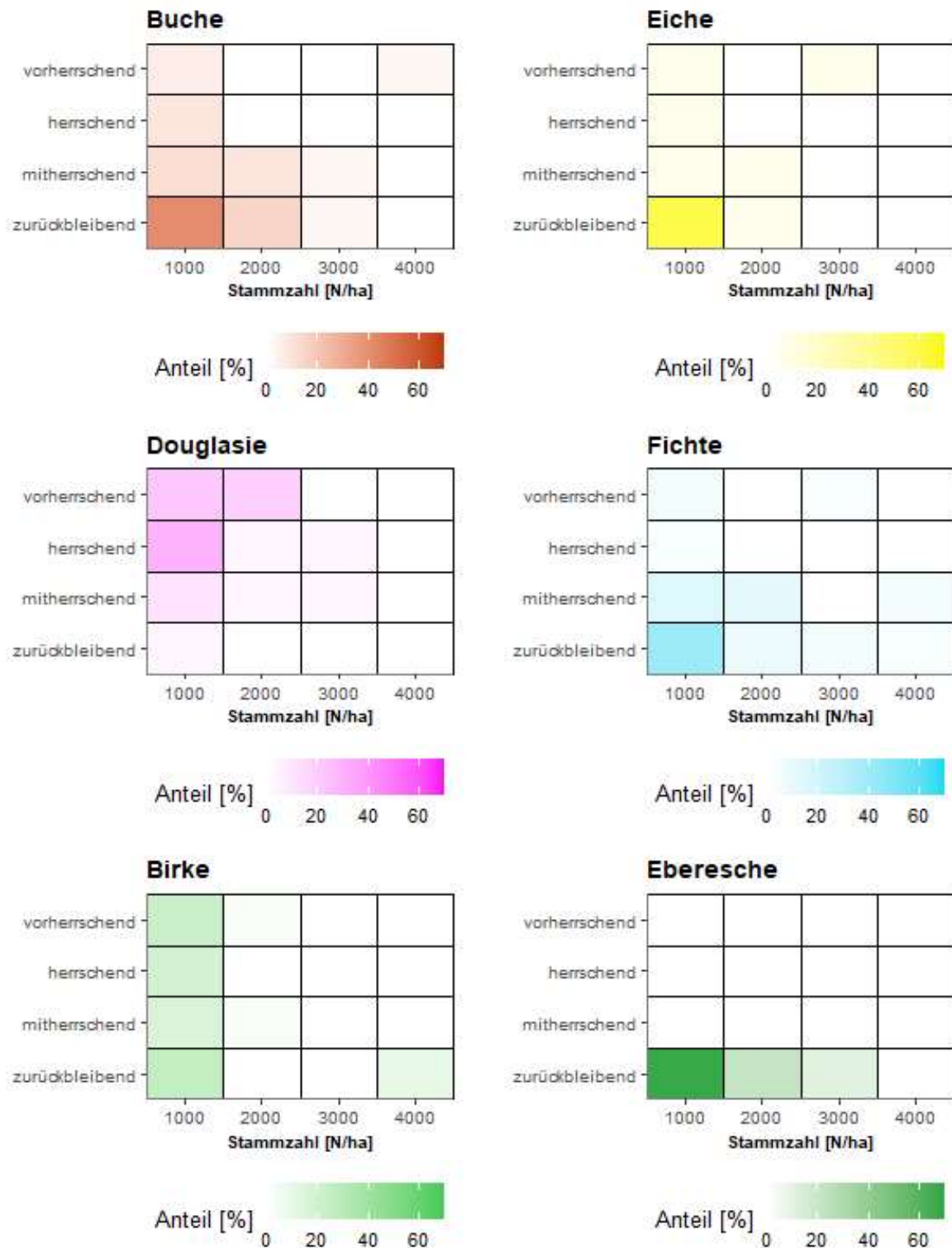


*Abbildung 12: Definition der sozialen Stellung anhand des Durchmessers (BHD)*

Allerdings entspricht die Betrachtung anhand der Höhen am ehesten der tatsächlichen aktuellen Konkurrenzsituation, an der sich eine Pflegedringlichkeit bestimmter Baumarten zunächst maßgeblich orientieren sollte. Die zusätzliche Hinzuziehung des BHD-Kriteriums vervollständigt das Bild der Vitalität und des Potenzials der Baumarten. So können verhältnismäßig kleine BHD bei relativ großen Höhen und damit ein hoher HD-Wert die Pflegenotwendigkeit einer Baumart unterstreichen und gleichzeitig auf mögliche vorübergehende Stabilitätsprobleme (z.B. durch Schneedruck) bei zu abrupter Freistellung hinweisen. Im Zusammenhang mit einer geplanten Pflege sind dies wesentliche Gesichtspunkte für die Beurteilung im Hinblick auf die Entwicklungsfähigkeit einer Baumart und die Ableitung einer angepassten Stärke eines Pflegeeingriffs.

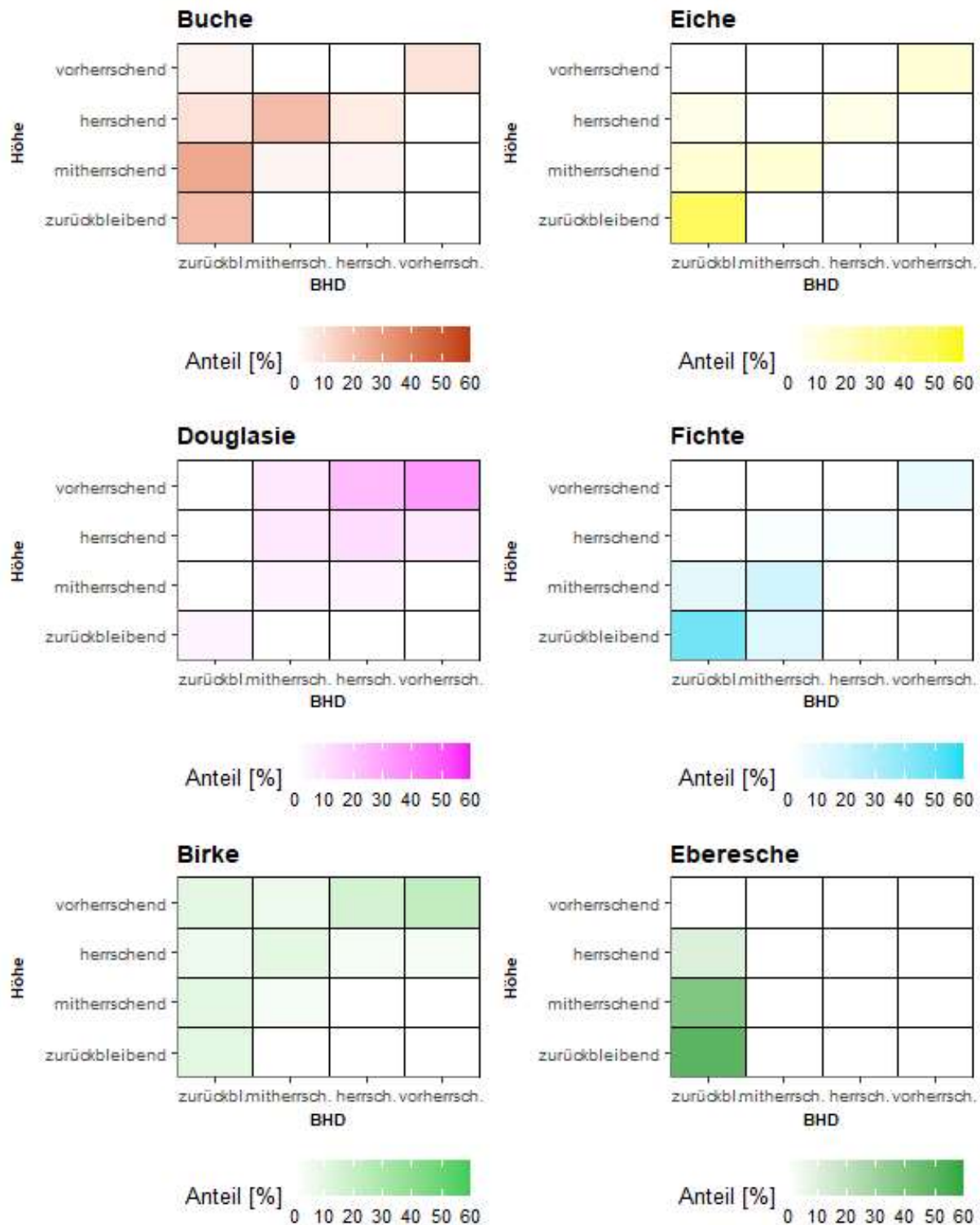


**Abbildung 13:** Soziale Stellung (*Höhe*) und Stammzahl [N/ha] der Baumarten (=“Dominanz“) betrachtet über alle Untersuchungsflächen  
Vorherrschend: = $h_{max}$ ; herrschend:  $\geq 75\%$  &  $< 100\%$  von  $h_{max}$ ; mitherrschend:  $\geq 50\%$  &  $< 75\%$  von  $h_{max}$ ; zurückbleibend:  $< 50\%$  von  $h_{max}$



**Abbildung 14:** Soziale Stellung (BHD) und Stammzahl [N/ha] der Baumarten (=“Dominanz“) betrachtet über alle Untersuchungsflächen

Vorherrschend:  $bhd_{max}$ ; herrschend:  $\geq 75\%$  &  $< 100\%$  von  $bhd_{max}$ ; mitherrschend:  $\geq 50\%$  &  $< 75\%$  von  $bhd_{max}$ ; zurückbleibend:  $< 50\%$  von  $bhd_{max}$



**Abbildung 15:** Soziale Stellung von **Höhe und BHD** der Baumarten (=“Dominanz“) betrachtet über alle Untersuchungsflächen

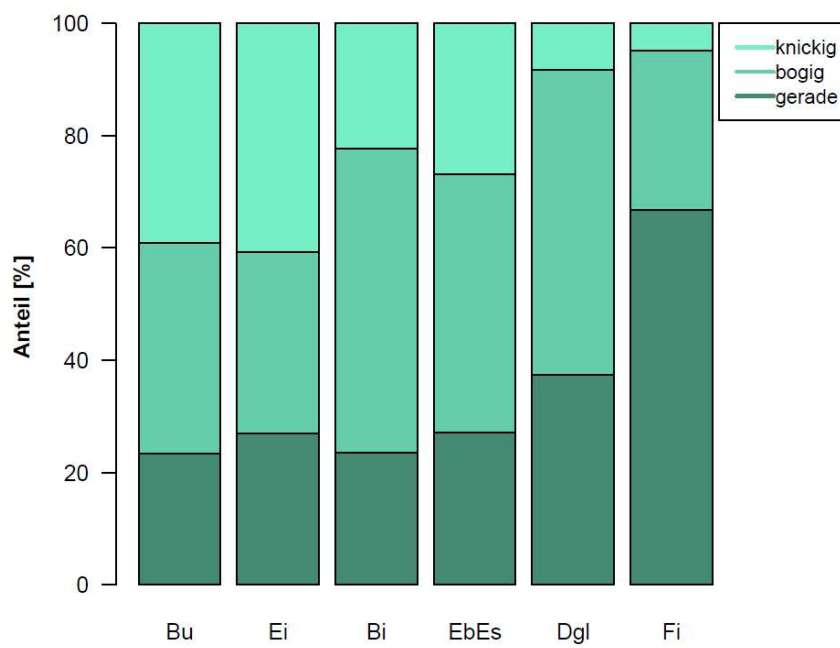
Vorherrschend:  $bhd_{max}$ ; herrschend:  $\geq 75\%$  &  $< 100\%$  von  $bhd_{max}$ ; mitherschend:  $\geq 50\%$  &  $< 75\%$  von  $bhd_{max}$ ; zurückbleibend:  $< 50\%$  von  $bhd_{max}$

### 3.3. Qualität und Schäden

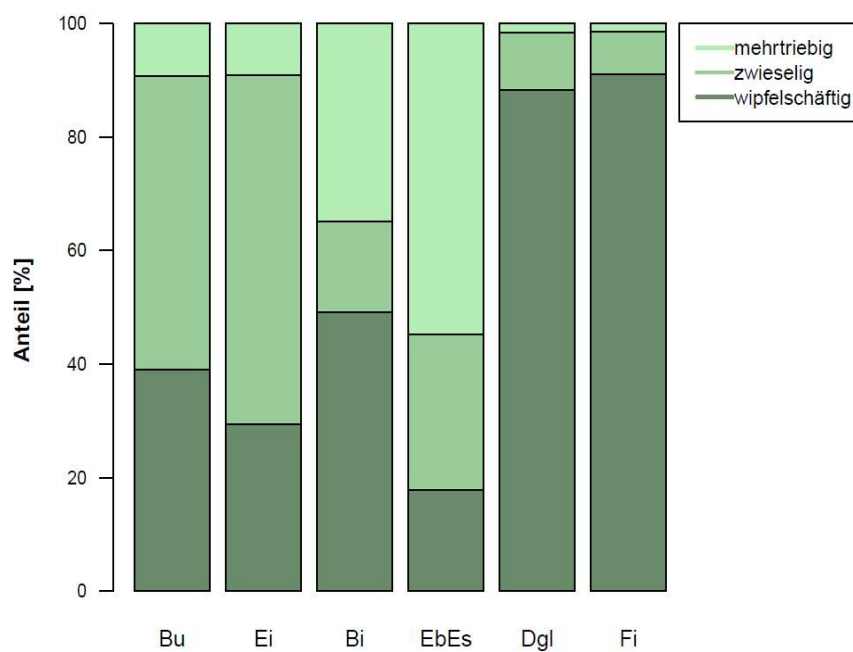
Die Beurteilung der Qualität ist v.a. bei Laubbäumen in der aktuell erreichten natürlichen Altersstufe (Jungwuchs/Jungbestand/Stangenholz) (vgl. Glossar), morphologisch schwierig bzw. aufgrund der Dynamik dieses Stadiums unsicher. Deshalb war es besonders wichtig, ein möglichst einfaches Verfahren anzuwenden, das eine möglichst eindeutige, reproduzierbare Qualitätsansprache ermöglicht und wenig subjektive Einflüsse des jeweiligen Aufnahmeteams zulässt. Dementsprechend wurde, leicht modifiziert, das bewährte Verfahren von Gockel (1994) gewählt. Die zusätzliche Ansprache von Schäden erfolgte nach dem Boniturschlüssel der NW-FVA. Da eine retrospektive Zuordnung häufig nicht möglich war, wurden nur solche Schäden verschlüsselt, die eindeutig erkennbar waren. Die nachstehenden Ergebnisse sind somit als konservative Schadansprache zu werten.

Bei der Stammform wurde zwischen gerade, bogig und knickig unterschieden (vgl. Kapitel 2.2.2; Abb. 16). Nur 23 bis 27 % der bonitierten Buchen, Eichen, Birken und Ebereschen weisen gerade Stammformen auf. Bei Buche und Eiche ist der Anteil knickiger Bäume mit 40 % hoch, 54 % bzw. 46 % aller Birken und Ebereschen sind bogig. Bei der Fichte haben 67 % aller beobachteten Bäume gerade Stämme. Auffällig ist der hohe Anteil bogiger Douglasien (54 %). Überwiegend tritt diese Stammverformung bei der Douglasie ausgeprägt in Stammfußnähe auf, was auf Wachstumsreaktionen der Pflanzen am Hang oder den Einfluss von Schneedruck weist, jedoch oft und auf den ebenen Flächen v.a. auf Pflanzfehler zurückgeführt wird. Bei knapp 10 % aller untersuchten Douglasien wurde ein eindeutiger „Pflanzfehler“ verschlüsselt. Auf einzelnen Flächen erreichen die Pflanzfehler an Douglasie bis 74 % (Abb. 21). Neben Qualitätseinbußen sind mit dem Alter zunehmende Stabilitätsverluste die Folge.

Bezüglich der Kronenform, sind 90 % der Nadelbaumarten Douglasie und Fichte wipfelschäftig (vgl. Abb. 17). Auffallend ist die schlechte Kronenform der Buchen und Eichen. Mehr als die Hälfte aller bonitierten Bäume (52 % bzw. 61 %) sind zwieselig, der Anteil wipfelschäftiger Individuen liegt unter 40 %. Demgegenüber ist die Hälfte der Birken wipfelschäftig. Birke und Eberesche sind häufig mehrtriebzig (35 % und 55 %), was u.a. durch ein Wiederausschlagen nach Pflegeeingriffen zulasten dieser Weichlaubbaumarten zu erklären ist. Bei der Eberesche kommt hinzu, dass sie bevorzugt von Wild und Mäusen verbissen wird (Leder 1993, Weihs 1995, Prien 1997). Desweiteren neigt sie als 3-samige Apfelfrucht dazu, bereits mehrtriebzig zu keimen (Leder 1993).



**Abbildung 16: Stammformen der Baumarten**

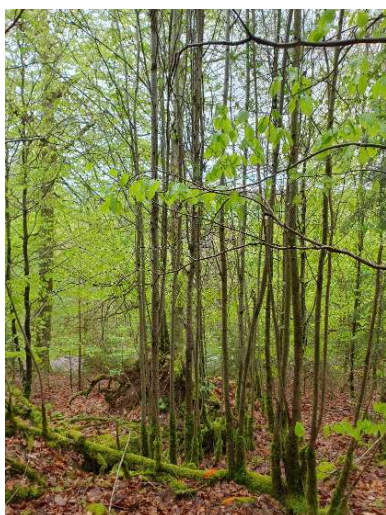


**Abbildung 17: Kronenformen der Baumarten**



**Abbildung 18:** *Unterschiedliche Qualitäten bei Buche*

Links: wipfelschäftig, gerade; Mitte: knickig, mehrtriebiger; rechts: mehrtriebiger älterer abgedeckter Voranbau

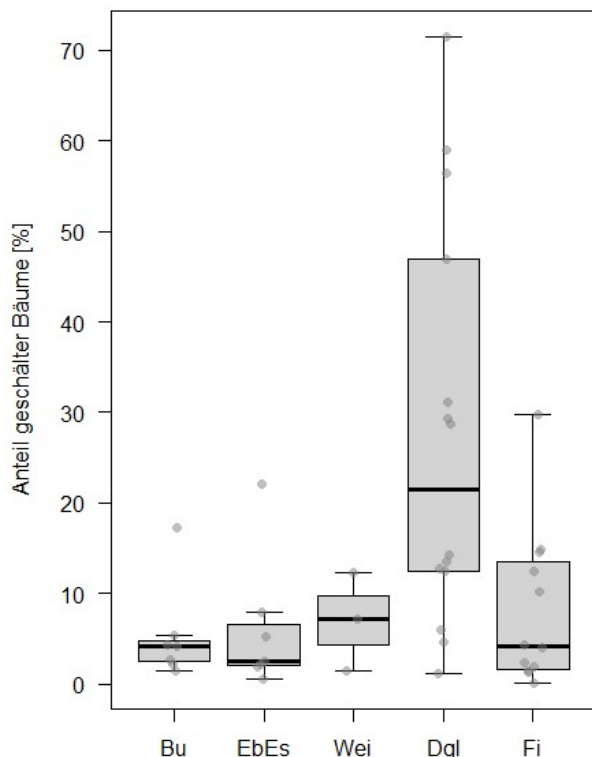


**Abbildung 19:** *Mehrtriebigkeit bei Eberesche*



**Abbildung 20:** *Fläche mit hohem Anteil bogiger und knickiger, instabiler Douglasien*  
 (85 % der Douglasien bogig oder knickig, 74 % mit offensichtlichem Pflanzfehler, 10 % angeschoben oder umgekippt)

Schältschäden an lebenden Bäumen von im arithmetischen Mittel über 2 % je Störungsfläche werden bei den Baumarten Buche (2,2 %), Eberesche (2,1 %), Weide (4 %) sowie Fichte (5,5 %) nachgewiesen, bei der Douglasie sind es sogar 17 %. (Abb. 21). Bei der Bewertung der Schadensprozente von Douglasie und Fichte muss berücksichtigt werden, dass sich diese Baumarten, im Gegensatz zu den anderen, bei dem erreichten Entwicklungsstand der Kyrillflächen bereits im schälffähigen Alter befinden. Es zeigt sich eine große Streuung zwischen den Flächen. Besonders bei der Douglasie sind lokale Schwerpunkte der Schältschadensbelastung erkennbar, das Maximum an geschälten Bäumen auf einer Fläche beträgt 72 %.



**Abbildung 21:** Anteil geschälter Bäume [%] differenziert nach Baumarten auf den Untersuchungsflächen

Rechtes Bild: starker Schälsschaden an Douglasie

### 3.4. Zusammenfassende Ergebnisse der Störungsflächeninventur

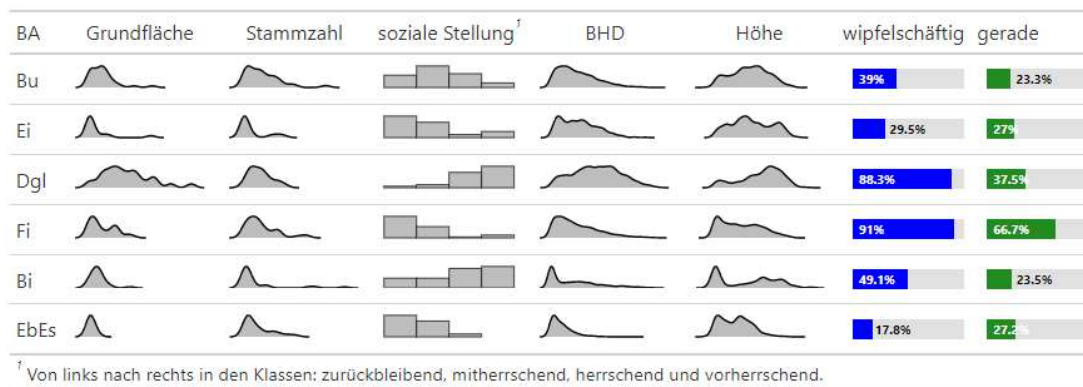
Zusammenfassend spiegeln sich die Ergebnisse 17 Jahre nach dem Orkanereignis Kyrill in Abbildung 22 wider.

Die bis zu diesem Zeitpunkt erreichten Dimensionen der Baumarten sind entsprechend ihres Wachstumsverhaltens sehr unterschiedlich. Mit Ausnahme von Douglasie und Birke zeigen die Durchmesser eine rechtsschiefe Verteilung, was bedeutet, dass schwächer dimensionierte Bäume überwiegen. Der Anteil der Bäume, die die Derbholzgrenze ( $BHD \geq 7$  cm) erreicht oder überschritten haben, liegt bei Buche, Birke und Fichte zwischen 36 und 39 %, bei der Eiche beträgt er 46 %. Buchen mit einem BHD über 15 cm dürften im Wesentlichen abgedeckten älteren Voranbauten zuzuordnen sein. Eiche ist in deutlich geringerem Umfang in den Untersuchungsplots vertreten, weil sie bei der Vorstratifikation nicht im Fokus der Untersuchung stand. Die Douglasie ist deutlich stärker dimensioniert als die anderen Baumarten, 75 % aller Bäume sind mindestens 7 cm stark. Bei allen Baumarten ist eine sehr große Streuung hinsichtlich der Stammzahl je Hektar zu beobachten. Stammzahl und Dimensionen (BHD) ergeben die Grundfläche, die entsprechend variiert. Die Grundfläche der Douglasie ist aufgrund ihrer Wuchsdynamik höher als die der anderen Baumarten.

Entsprechend ihrer Höhendimensionen sind in den untersuchten Störungsflächen Douglasie und Birke in ihrer sozialen Stellung überwiegend vorherrschend und herrschend, die Buche

mitherrschend. Eiche, Fichte und Eberesche sind meistens nur mitherrschend und zurückbleibend.

Die Qualität der untersuchten Buchen stellt sich aktuell als schlecht dar. Nur 23 % weisen eine gerade Stammform auf und nur 39 % waren wipfelschäftig. Auf die Probleme der Sicherheit der Qualitätsansprache insbesondere von Laubbäumen in früheren Bestandesphasen wurde bereits hingewiesen. Entsprechend der Morphologie der Nadelbaumarten sind der überwiegende Anteil der Fichten und Douglasien wipfelschäftig (91 bzw. 88 %). Jedoch besitzen nur 37,5 % der Douglasie eine gerade Stammform. Hier ist das Bild für die Fichten deutlich günstiger. Bei den Birken sind 49 % wipfelschäftig, 23 % weisen gerade Stammformen auf. Aufgrund der vielfach festgestellten Mehrtriebigkeit der Ebereschen beträgt der Anteil wipfelschäftiger Bäume nur 18%.



**Abbildung 22:** Zusammenfassende Ergebnisse der Baumarten auf den untersuchten Störungsflächen

### 3.5. Beispiele waldbaulicher Situationen auf einzelnen Untersuchungsflächen

Nachfolgende Beispielsituationen zeigen die Heterogenität in der Entwicklung der einzelnen Störungsflächen. Um einen Eindruck von der Spanne vorgefundener Entwicklungen und Bestandesbilder zu vermitteln, werden im Folgenden zwei Flächen im Solling sowie eine im Harz vorgestellt. Auf diesen Flächen sind die standörtlichen Ausgangsbedingungen hinsichtlich des Bodens vergleichbar. Es handelt sich um frische bis vorratsfrische, ziemlich gut nährstoffversorgte Standorte auf basenarmem Silikatgestein mit Lößlehmauflagen bis zu 50 cm (Tab. 10).

**Tabelle 10:** Grundinformationen zu den Beispielflächen

	FI-ID 13	FI-ID 15	FI-ID 43
<b>Forstamt</b>	Dassel	Dassel	Clausthal
<b>Wuchsbezirk</b>	Unterer Solling (US)	Solling-Vorland (SV)	Montaner Mittel- und Oberharz (MH)
<b>Höhenlage</b>	351-400 m ü. NN	301-350 m ü. NN	601-650 m ü. NN
<b>Standortstyp</b>	19.4.2.3	23/19.4-.2.3 (3.4.2.3k)	19/9.3+.2.3 (19.4-.6.2S3)
<b>Flächengröße</b>	2,1 ha	2,4 ha	7,8 ha

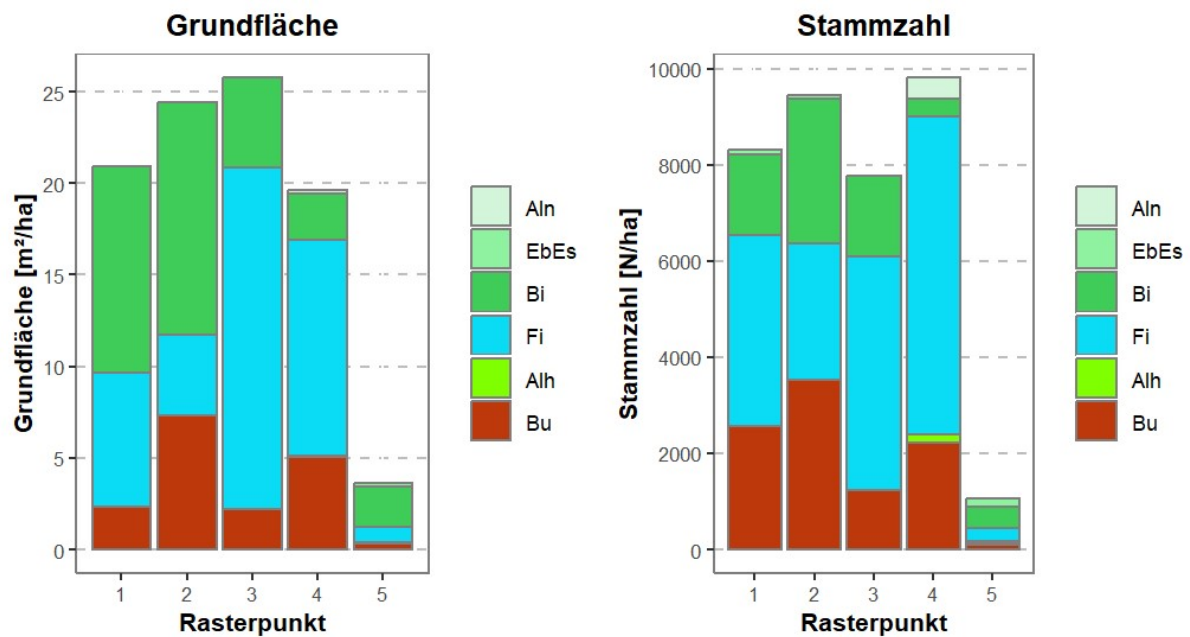
**Flächen-ID 13** (Tab. 10, Abb. 22) im Solling ist eine 2 ha große Störungsfläche mit gepflanzter Buche und aktuellen Pflanzenzahlen lebender Buchen von 1.500 bis 3.800 je Hektar. In den Probekreisen wurden Pflanzabstände von 1 x 1,50 m gemessen, was einer ursprünglichen Pflanzenzahl von 6.700 Pflanzen je Hektar entspricht. Die Buche hat auf der Störungsfläche einen Anteil von 26 % bezogen auf die Stammzahl [N/ha] bzw. 18 % der Grundfläche (m<sup>2</sup>/ha). Ihre soziale Stellung innerhalb der Probekreise ist überwiegend mitherrschend (Abb. 25). Nur 18 % der Buchen sind wipfelschäftig, über 90 % bogig oder knickig. Eine früher starke Verbissbelastung (dokumentiert in der Forsteinrichtung) und die Pflanzung auf der Freifläche führten zu dieser schlechten Qualität. Der Mischungsanteil der Fichte beträgt 51 % (Stammzahl je Hektar) bzw. 45 % (Grundfläche). Ein Drittel der aufgelaufenen Fichtennaturverjüngung ist bereits abgestorben (nicht in den Abbildungen enthalten), weitere 18 %, überwiegend kleine Bäume der noch lebenden Fichten, zeigen Trocknisschäden. Im Median bleibt die Fichte im Höhenwachstum derzeit zwei Meter hinter der Buche zurück (Abb. 23) und ist damit in ihrer sozialen Stellung überwiegend zurückbleibend (Abb. 24). Vorherrschend ist derzeit die Birke mit einem nur wenig geringeren Stammzahlanteil (20 %) als die Buche. Aufgrund ihrer größeren BHD ist sie mit 35 % überproportional an der Bestandesgrundfläche beteiligt.

Ein Probekreis (RP 5) der Fläche lag zur Hälfte auf einer Rückegasse, wodurch sich die geringe Stammzahl bzw. Grundfläche erklärt.

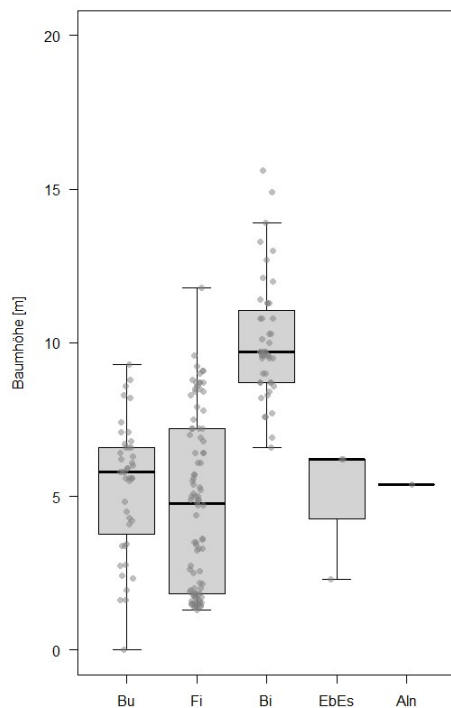
Bestandesbezogen stellt sich die Frage nach dem waldbaulichen Entwicklungsziel. Bei derzeit schlechter Qualität der Buche und ihrer geringen Dichte, die nur wenig Verbesserungspotenzial verspricht, scheint die Erzielung besserer Buchenqualitäten perspektivisch unwahrscheinlich. Für das Erreichen eines Waldentwicklungstyps Buche-Fichte (Verjüngungsziel: Bu 50 – 70 %) ist außerdem der Buchenanteil zu gering. Die ursprünglich hohe Stammzahl je Hektar der Fichtennaturverjüngung hat sich durch Absterbeerscheinungen reduziert. Die im Bestand vertretene Fichte bedarf im Hinblick auf Trockenstress einer Stabilisierung. Die geringen Stammzahlen der gepflanzten Buchen in Kombination mit der aufgelaufenen Fichtennaturverjüngung haben zu einer innigen Mischung der Baumarten geführt, die eine Mischungsregulierung und schrittweise kleinräumige Entzerrung erforderlich machen. Für die teilweise Erhaltung der Birke als Mischbaumart ist ihre Förderung in Trupps bis Gruppen zielführend.

Bei der Bewertung des Bestandes ist die gesamtbetriebliche Situation zu berücksichtigen. Bei großflächigen Störungen sind Buchenanteile auch bei geringer Qualität grundsätzlich zu begrüßen.

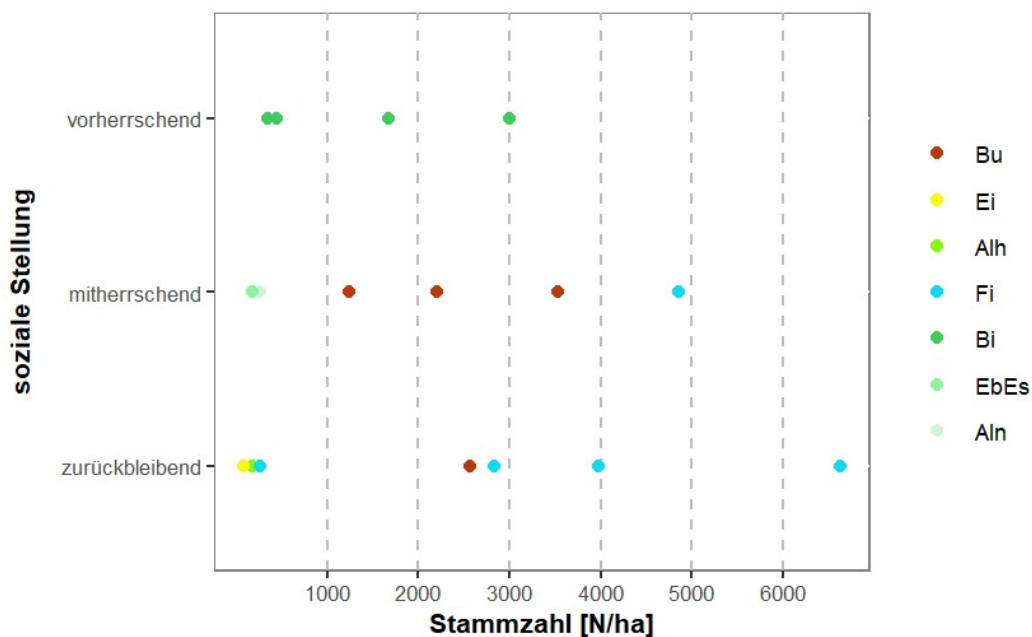
### FI-ID 13



**Abbildung 23:** Grundfläche [m<sup>2</sup>/ha] und Stammzahl [N/ha] der Baumarten an den Rasterpunkten der Fläche FI-ID 13



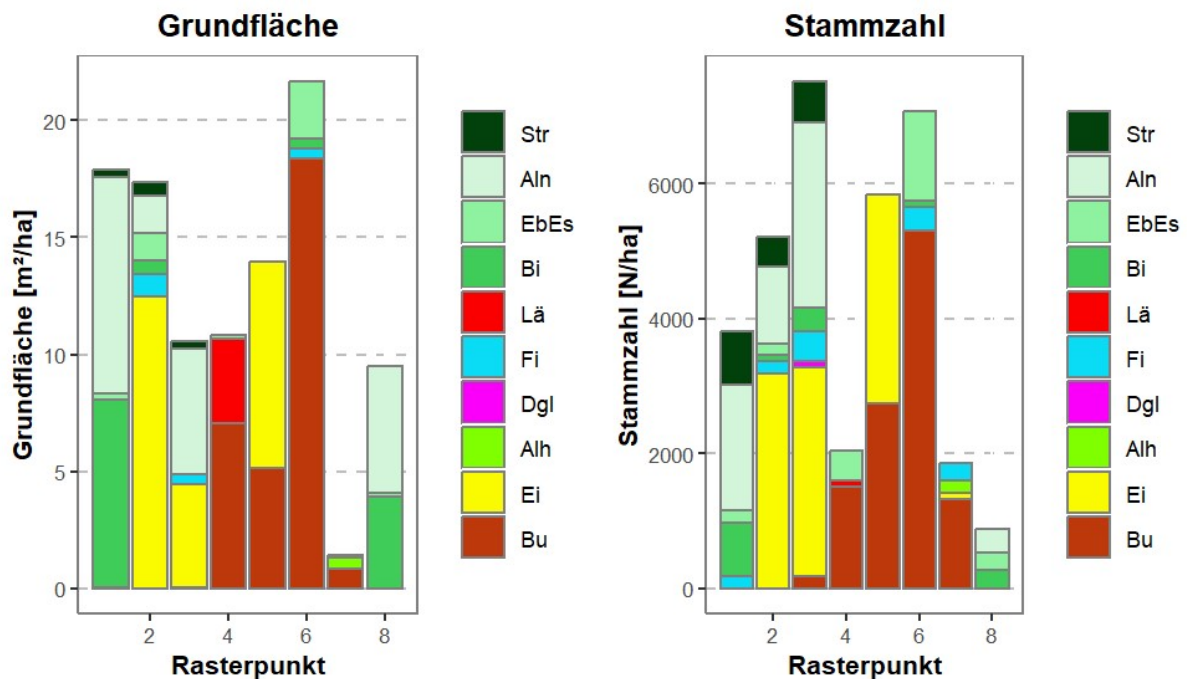
**Abbildung 24:** Höhen der Baumarten der Fläche FI-ID 13  
Rechts: Bestandessituation der Fläche FI-ID 13



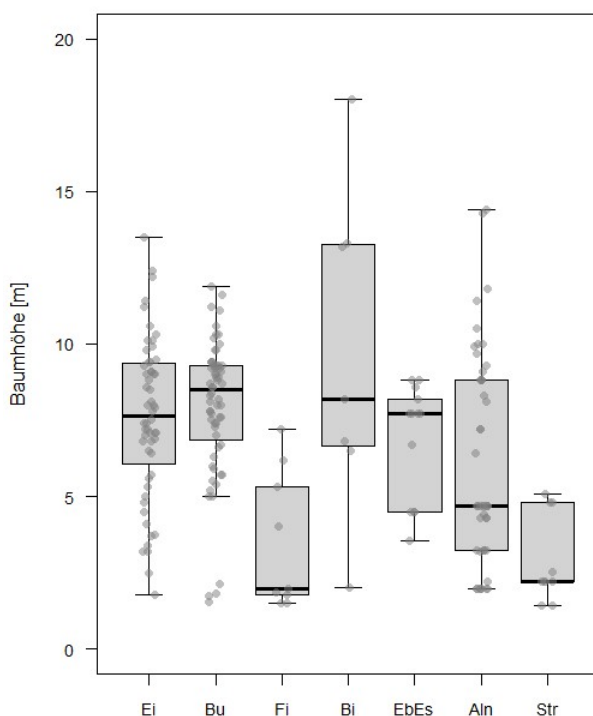
**Abbildung 25:** Soziale Stellung und Stammzahl [N/m<sup>2</sup>] der Baumarten innerhalb der Rasterpunkte der Fläche FI-ID 13

**FI-ID 15**, ebenfalls im Solling, ist eine 2,4 ha große Fläche mit sehr heterogener Baumartenzusammensetzung (Abb. 25). Es gibt abgrenzbare Bereiche mit überwiegend gepflanzter reiner Buche variierender Dichte zwischen 1.300 bis 5.300 Bäumen je ha, desweiteren gepflanzte Buche und Eiche mit jeweils 3.000 Individuen je ha, die einer Steuerung der beiden Baumarten bedürfen. Daneben aber auch Eichen-Birken-/Erlenpartien, in denen die Lichtbaumart Eiche gegenüber Birke und Erle dringend der Förderung bedarf. Insgesamt beträgt der Eichenanteil auf dieser Fläche, bezogen auf die Stammzahl 28 %, der der Buche 32 %. Pflegeziel für den Gesamtbestand sollte die Erhaltung, wenn möglich der Ausbau bestandesprägender Eichenanteile zulasten der anderen beteiligten Baumarten sein, wobei weitgehend reine Buchenpartien zunächst keiner Pflege bedürfen.

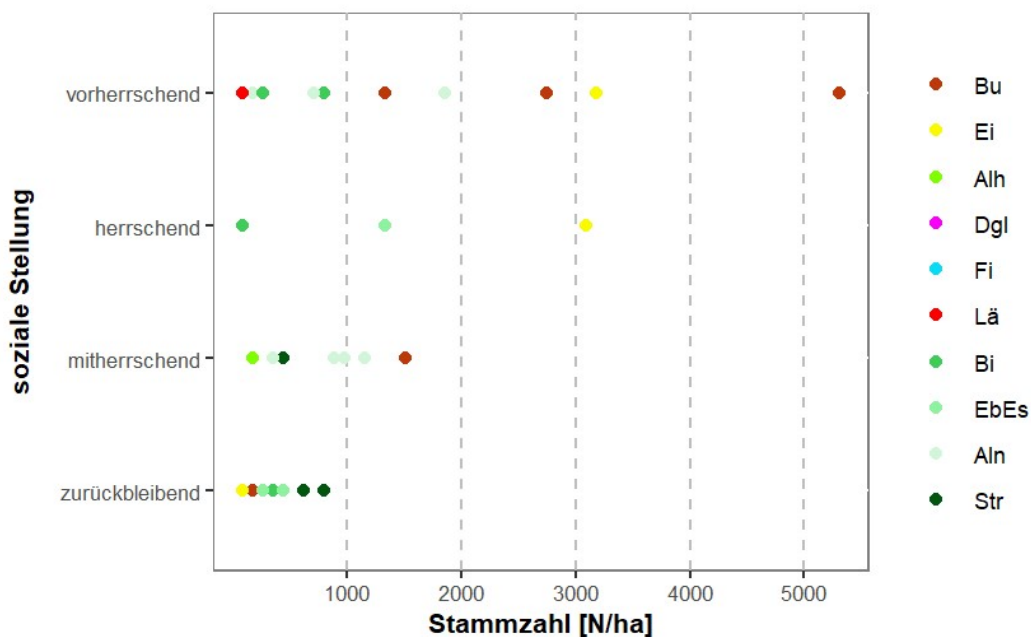
## FI-ID 15



**Abbildung 26:** Grundfläche [m²/ha] und Stammzahl [N/ha] der Baumarten an den Rasterpunkten der Fläche FI-ID 15



**Abbildung 27:** Höhen der Baumarten der Fläche FI-ID 15  
Rechts: Bestandessituation der Fläche FI-ID 15

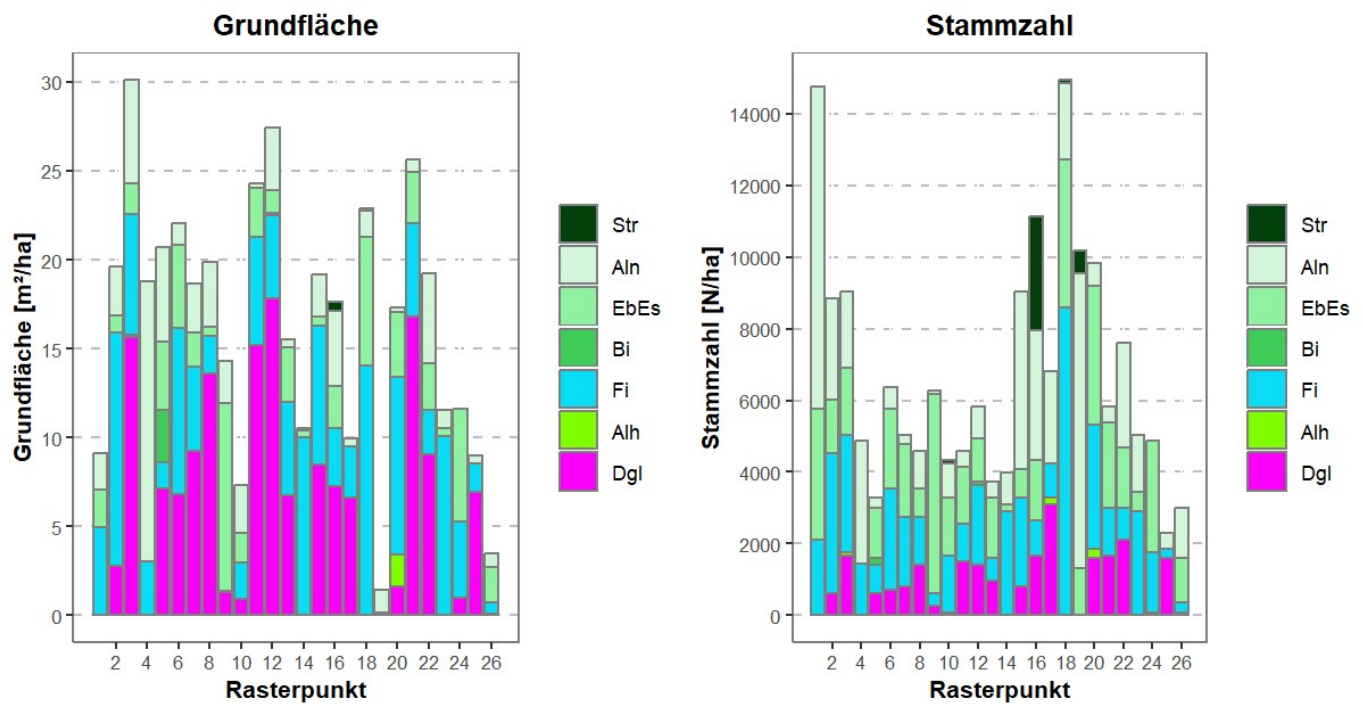


**Abbildung 28:** Soziale Stellung und Stammzahl [N/ha] der Baumarten innerhalb der Rasterpunkte der Fläche FI-ID 15

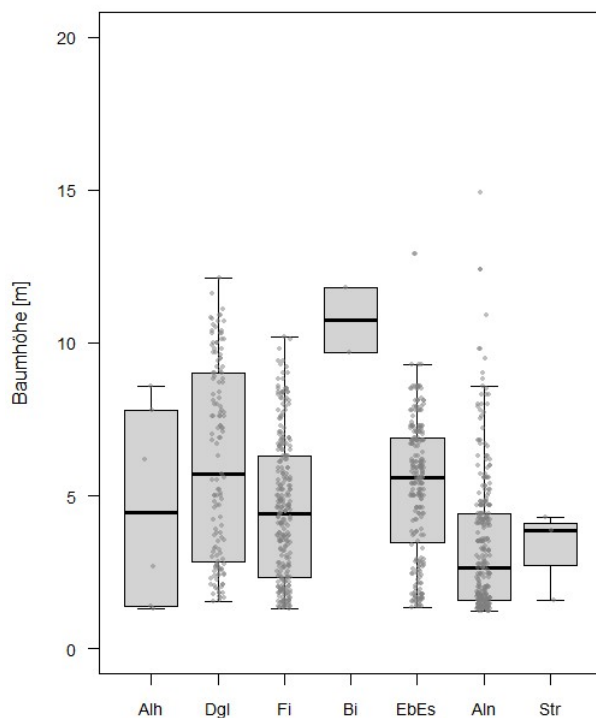
Im dritten Beispielbestand (**FI-ID 43**) im Harz wurde Douglasie gepflanzt. Die Baumart ist auf der gesamten Fläche von 7,8 ha in stark variierender Dichte vorhanden. Auf einem Drittel der Probekreise werden Douglassiendichten von mehr als 1.500 Pflanzen je Hektar erreicht, im Maximum sind es über 3.000 Douglasien je Hektar (vgl. Abb. 28). Im arithmetischen Mittel befinden sich 2.100 Douglasien je Hektar auf der Störungsfläche, was bei der hohen Gesamtstammzahl aber nur einem Anteil von 13 % entspricht. Auf der Basis der Grundfläche liegt der Douglasienanteil aufgrund ihrer größeren Dimensionen jedoch bei 36 %. Die Douglasie zeigt ein hohes Maß an Selbstdifferenzierung, sowohl in ihren Stammzahlen als auch in der Höhenentwicklung. Ebenfalls weitgehend flächendeckend haben sich Fichtennaturverjüngung (29 %) sowie Weichlaubebäume (i.w. Eberesche und Weide) eingefunden, ihre Baumartenanteile innerhalb der Fläche variieren stark. Die Douglasie ist gegenüber der Fichte im Höhenwachstum um durchschnittlich einen Meter vorwüchsig, noch kann die Eberesche mithalten (Abb. 29). Die Weide weist demgegenüber ein deutlich geringeres Höhenwachstum auf. Einzelne Birken überragen den Bestand. Die soziale Stellung der Douglasie innerhalb der Probekreise ist überwiegend vorherrschend und herrschend, die der Fichten herrschend und mitherrschend (Abb. 30).

Insgesamt ist ein differenzierter Mischbestand in inniger Mischung entstanden, der in der Baumartenzusammensetzung dem WET 65 entspricht. Die Stammzahlen der Douglasien versprechen eine ausreichende Qualitätsentwicklung. Um die Anteile der Mischbaumarten zu halten, bedarf es jedoch steuernder Eingriffe. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wuchsdynamiken der Baumarten sollte hierbei kein flächig homogenisierender Ansatz gewählt werden. Vielmehr sollte, wo unterschiedliche Anteile und Vitalität der Baumarten bereits Ansatzpunkte bieten, auf eine räumliche Entzerrung von Douglasie und v.a. den Weichlaubbaumarten hingearbeitet werden.

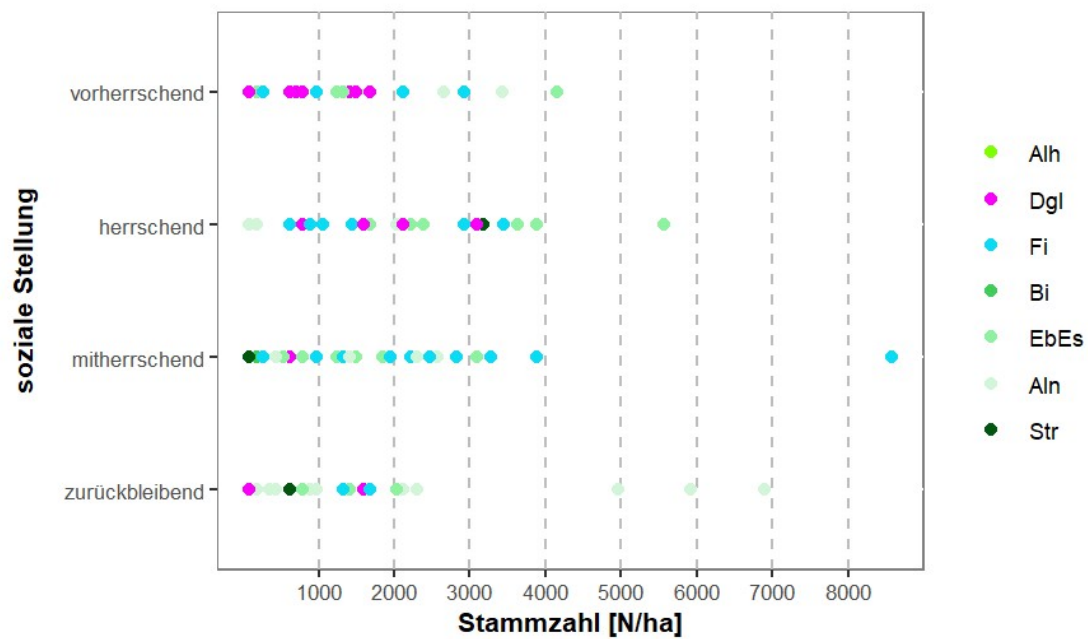
# FI-ID 43



**Abbildung 29:** Grundfläche [ $m^2/ha$ ] und Stammzahl [ $N/ha$ ] der Baumarten an den Rasterpunkten der Fläche FI-ID 43



**Abbildung 30:** Höhen der Baumarten der Fläche FI-ID 43  
Rechts: Bestandessituation der Fläche FI-ID 43



**Abbildung 31:** Soziale Stellung und Stammzahl [N/ha] der Baumarten innerhalb der Rasterpunkte der Fläche FI-ID 43

## 4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Seit jeher stellen Freiflächensituationen nach Kalamitätsereignissen aufgrund ihres Strahlungsregimes, damit verbundener extremer Temperaturunterschiede einschließlich einer hohen Spätfrostgefährdung sowie häufig schnell aufkommender, verdämmender Begleitvegetation eine sehr schwierige waldbauliche Ausgangslage dar. Die aktuell immer häufiger auftretenden Extremwetterereignisse wie Stürme, Sommerdürren, Starkregen und eine generelle Veränderung des Niederschlagsregimes verschärfen die Situation zunehmend.

Vorrangiges Ziel nach Kalamitätsereignissen ist die Erfüllung aller Waldfunktionen in angemessener Zeit. Eine Wiederbewaldungspflicht ist in § 11 BWaldG verankert sowie in § 12 NWaldLG konkretisiert. 17 Jahre nach dem Schadereignis „Kyrill“ zeigen die Ergebnisse der Inventur, dass dieses Ziel erreicht wurde. Alle untersuchten Schadflächen sind wieder in Bestockung. Da die durch Pflanzung begründeten Kulturen der Hauptbaumarten vielfach durch natürliche Verjüngung verschiedener Baum- und Straucharten ergänzt wurden, häufig in kleinräumiger bis inniger Mischung, sind sehr differenzierte, vielfältige Waldbilder entstanden. Aufgrund der unterschiedlichen Wuchsdynamiken der etablierten Baumarten ergibt sich auf vielen Flächen derzeit ein akuter Pflegebedarf zum Erhalt und zur Förderung der getätigten Investitionen (Zielbaumart/WET).

Die **Buche** hat eine bedeutende Rolle bei der Umsetzung des Ziels der Laub- und Mischwaldvermehrung im Rahmen des LÖWE+-Programms (ML 2020). In der klimastabilen Waldentwicklungsplanung nimmt sie weiterhin eine wichtige Stellung vor allem als Mischbaumart ein, wenngleich auch bei ihr mit einem deutlich steigenden Trockenstressrisiko zu rechnen ist (Böckmann et al. 2019). Fast alle Waldentwicklungstypen sehen zumindest eine 20 bis 40-prozentige Buchenbeteiligung. Außerdem besitzt sie als führende Baumart eine starke Verankerung in der pnV-orientierten Schutzgebietskulisse. Eine Kulturbegründung der Schattbaumart Buche auf der Freifläche gilt jedoch als schwierig (Ott & v. Lüpke, 2006).

Wurden bei der Inventur gepflanzte Buchen gefunden, handelte es sich um Freiflächenkulturen oder ältere, ehemals überschirmte Voranbauten. Ihre Dichten waren durchweg gering, im arithmetischen Mittel aller Flächen waren es 717 Pflanzen je Hektar. Pflanzenzahlen von mehr als 2.000 Buchen je Hektar wurden selten gefunden. Die soziale Stellung der Buchen war überwiegend mitherrschend, ihre Qualität gemessen an einer höherwertigen Stammholzerwartung zum gegenwärtigen Zeitpunkt nahezu durchweg unzureichend.

Bei der Untersuchung von Ott & v. Lüpke (2006) einer 10-jährigen Freiflächenkultur nach dem Sturm Wiebke im Vogelsberg betrug die Buchen-Dichte im Mittel 2.200 Buchen je Hektar. Begründet worden waren diese Flächen mit mehr als 5.000 Pflanzen je ha. Als Gründe für die hohen Mortalitäten werden von den Autoren Konkurrenz durch starke Grasdecken (vorwiegend *Calamagrostis epigeios*), Wildverbiss und Mäuseschäden angeführt.

Ursachen für die schlechten Qualitäten seien in der Freiflächensituation und einem ehemals starken Verbissdruck zu suchen. Wildverbiss habe einen Einfluss auf die Dichte und die Qualität der Buchen (Ott & v. Lüpke 2006).

In natürlichen Wäldern mit führender Buche treten vor allem kleine Kronendachlücken auf, die von der Buche zur Verjüngung genutzt werden (Wagner et al. 2010). Untersuchungen von Meyer & Ackermann (2004) zufolge gehen diese meist auf das Ausfallen einzelner Altbäume zurück, sodass Lückengrößen bis 50 m<sup>2</sup> am häufigsten auftreten. Störungen größerer Ausdehnung sind vergleichsweise selten. Grundsätzlich ist die Buche als typische Schattbaumart an lange Verjüngungszeiträume und eine langfristig schützende Überschirmung angepasst (Wagner et al. 2010). Dies wird auch beim waldbaulichen Umgang mit der Baumart berücksichtigt, weshalb deren künstliche Verjüngung im Rahmen des Waldumbaus heutzutage nahezu ausschließlich als Voranbau unter dem Schutz des

Altholzschirms erfolgt (vgl. Leonhardt & Wagner 2006; Wagner et al. 2010). Abrupt eintretende, großflächige und dauerhafte Störungen verursachen hingegen Rahmenbedingungen (vgl. Carlson & Groot 1997; Aussenac 2000), welche im starken Gegensatz zur natürlichen Verjüngungsökologie der Schattbaumart Buche stehen. Dies gilt für abgedeckte Voranbauten, wie auch für Freiflächenkulturen auf den entstandenen Kahlflächen.

Untersuchungen von Weidig (2016, 2021), der den Effekt von Einflussfaktoren auf Wachstum und Qualität freigestellter Buchenvoranbauten im Thüringer Wald nach Kyrill analysierte, zeigten eine plastische Zuwachsreaktion nach der Freistellung und über die gesamte Beobachtungsperiode hinweg eine signifikant größere Wuchsleistung als unter Schirm. Zumindest die hier untersuchten Altersstufen Jungwuchs bis Jungbestand auf Sturmflächen belegen, dass das stärkste Wachstum offenbar auch bei der Schattbaumart Buche unter Freiflächenbedingungen geleistet wird (Weidig 2016; Weidig & Wagner 2021). Dies gilt zum einen für das Höhenwachstum (vgl. Burschel et al. 1985; Brunner & Huss 1994), zum anderen in noch deutlicherem Maß für das Durchmesserwachstum (vgl. Cao 2001; Collet et al. 2002; Ammer 2003; Kätzel et al. 2004). Übereinstimmend mit früheren Arbeiten führt das vitale, ungebremste Wachstum aber zugleich zu einer ausgesprochen negativen Qualitätsentwicklung der Buchen auf Freiflächen (Brown 1952; Le Tacon 1985; Ott et al. 2003). Bei Weidig (2016) war ein vermehrtes Auftreten starker Äste und Zwiesel bereits sechs Jahre nach dem abrupten Verlust des Schirmes festzustellen.

Im Gegensatz zu naturnahen, kleinräumigen Kronendachlücken, welche nur eine moderate Steigerung der Strahlungsbedingungen bewirken und zudem von begrenzter Dauer sind, setzt ein großflächiger Schirmverlust derart viele Ressourcen frei, dass die Buche die Möglichkeit bekommt, ihre Krone stark zu erweitern (Weidig 2016). Das dauerhaft hohe Ressourcenangebot bewirkt ein unkontrolliertes Wachstum, welches vor allem dem horizontalen Ausbau der Krone zur Standraumeroberung dient und auf Kosten der Apikaldominanz und somit der Qualität geht (Roloff 1986; Leder & Hillebrand 2001). Hinzu kommen Frosteinwirkung und Wildverbiss.

Mit zunehmender Pflanzendichte im Voranbau verbesserte sich die Qualität der Buchen (Weidig 2016). Eine umfängliche Kompensation des Freistellungseffekts blieb jedoch aus. Hohe Pflanzenzahlen könnten freistellungsbedingte Qualitätsverluste demnach mindern, nicht jedoch verhindern. Die Ergebnisse der Untersuchungen von Weidig (2016) legen den Schluss nahe, dass Pflanzendichten bei der Kultur von 6.000–8.000 St./ha in Kombination mit einem locker-lichten Fichtenschirm keinesfalls unterschritten werden sollten. Ott & von Lüpke (2006) sprechen sich bei der Bepflanzung von Freiflächen für Pflanzenzahlen von 8.000–10.000 je Hektar aus. Eine Mindestpflanzendichte für eine gelungene Buchenkultur auf Freifläche im Alter 7–10 Jahren wird von den Autoren bei 5.000 Buchen je Hektar bzw. 6.000 Pflanzen, davon mindestens 2.000 Buchen gesehen. Bei den im Rahmen des Projektes in den untersuchten Störungslöchern erfassten geringen Buchen-Dichten lässt die intraspezifische Konkurrenz kaum einen positiven Effekt auf die Entwicklung der Qualitäten erwarten. Problematisch erscheint vor allem eine abrupte und unvorbereitete Freistellung von an den Halbschatten adaptierten Buchen. Diese werden daraufhin häufig durch Klimaextreme geschädigt (Roloff 1986; Niccolini & Caraglio 1994).

Bei hohem Risiko eines vorzeitigen, unplanmäßigen Schirmverlusts sind damit die Ausgangsbedingungen für einen wertholzorientierten Buchenvoranbau ungünstig. Vielmehr treten in diesen Situationen die ökologischen Wirkungen der Buche und die durch ihre Beteiligung erzielte Steigerung der Resistenz und Resilienz der Waldökosysteme sowie die damit gegebene höhere Flexibilität der Waldbewirtschaftung (Wagner 2004, 2008; Hauskeller 2021) in den Vordergrund. Wagner (2007) prägte hierfür den Begriff des „Nachhaltsumbaus“. Dafür können niedrigere Pflanzenzahlen und somit geringere Investitionen angesetzt werden.

Soll die Buche zukünftig durch Naturverjüngung an einer Wiederbewaldung beteiligt sein, ist zu beachten, dass sie als schwersamige Baumart ein äußerst geringes Ausbreitungspotenzial besitzt. Die barochore Verbreitung der Bucheckern bleibt auf einen Umkreis von oft nicht mehr als 20 m um den Mutterbaum begrenzt (Ribbens et al. 1994; Wagner et al. 2010). Über zoochore Vektoren sind zwar größere Distanzen möglich, eine ausreichende Verjüngungsdichte ist durch diese ungerichtete Verbreitung aber wohl kaum sicherzustellen. Die Buche muss deshalb in gewissen Mindestanteilen in Beständen präsent sein, um zukünftig bei Katastrophenereignissen umgehend zur Bildung neuer Bestandesstrukturen über Naturverjüngung beitragen zu können (Wagner 2004, 2008).

Die Baumart **Eiche** stand weniger im Fokus der Untersuchungen. Hier sei auf Untersuchungen von Mölder et al. (2019a,b) verwiesen. In einer systematischen großräumigen Waldverjüngungsinventur junger Eichenbestände wurden Erfolgsfaktoren identifiziert. Die Minderung des Konkurrenzdrucks durch sekundäre Baumarten- und Begleitvegetation mittels Pflege sowie Wildschutzmaßnahmen waren entscheidende Voraussetzungen für den Erfolg. Um die Planung der Eichenverjüngung und die waldbaulichen Entscheidungen in einem Forstbetrieb effizient zu organisieren, wird empfohlen, zunächst die jährlichen finanziellen und personellen Kapazitäten für die Jungwuchspflege oder Durchforstung zu ermitteln und erst dann über den Umfang der zu begründenden Eichenbestände zu entscheiden.

Eingeführte Baumarten müssen ökologisch zuträglich, das heißt standortsgemäß, bodenpfleglich, nicht über ein Normalmaß hinaus gefährdet, natürlich zu verjüngen, gut waldbaulich zu führen und leicht als Mischbaumart in die heimische Fauna und Flora zu integrieren sein (ML 2020). Die Douglasie überzeugt durch ihre breite Nährstoffamplitude, vergleichsweise hohe Toleranz gegenüber Wassermangel, Humuspfleghkeit, ökologische Zuträglichkeit und große Wuchsleistung (Spellmann et al. 2015; Böckmann et al. 2019). Im Zuge der Klimaanpassung bietet sie sich in besonderem Maße als Anbaualternative zur Fichte im Bergland an. Waldbauliches Leitbild sind standortgerechte, strukturreiche Douglasien-Mischbestände (Niedersächsische Landesforsten 1997, Hessen-Forst 2008, Schütz & Pommerening 2013).

Die mittleren Dichten (arithmetischer Mittelwert) der **Douglasien** betragen auf den Untersuchungsflächen 561 Pflanzen je Hektar. Die Douglasie zeigt ein hohes Maß an Selbstdifferenzierung sowohl bezüglich ihrer Dichten auf den Flächen als auch ihrer unterschiedlichen Höhenentwicklung. Dies beschreiben auch Bergel (1986a), Pretzsch & Spellmann (1994) sowie Spellmann et al. (2015). Auf den Untersuchungsflächen sind durch natürliche Verjüngung weiterer Baumarten differenzierte Mischbestände entstanden. Die noch vorhandenen Dichten, 17 Jahre nach dem Schadereignis Kyrill, dürften in den Mischbeständen ausreichen, qualitativ gute Douglasien zu entwickeln. In ihrer sozialen Stellung ist die Douglasie gegenüber den anderen Baumarten überwiegend herrschend oder vorherrschend. Bei der weiteren Behandlung dieser Flächen ist ein flächiger Ansatz wenig sinnvoll, da die Weichlaubebäume durch die Douglasie aufgrund ihres langanhaltenden, starken Höhenwachstums (Spellmann et al. 2015) überwachsen würden. Ein kleinflächiger Ansatz, in dem Douglasien und Mischbaumarten räumlich getrennt werden, erscheint zielführender. Dabei ist zu beachten, dass die Stärke der Durchforstung innerhalb der Douglasie deren Qualität und Stabilität fördert (Bergel 1986b, Pretzsch und Spellmann 1994).

Die Ergebnisse der Untersuchung bestätigen aber auch die bekannte Empfindlichkeit dieser Baumart in ihrer „Jugendphase“. Sorgfältige Pflanzung und fachgerechte Kulturpflege sind bei der Douglasie von entscheidender Bedeutung (v. Lüpke 2020). Insbesondere bei Freiflächenkulturen kann sie sowohl durch Früh- und Winterfrost als auch durch Spätfrost geschädigt werden (Bartsch et al. 2020).

Die Douglasie ist durch Schlag- und Schälsschäden durch Rot- und Damwild gefährdet (Spellmann et al. 2015, Bartsch et al. 2020). Im Vergleich zu den anderen Baumarten weist sie auch in der vorliegenden Untersuchung die höchsten Schälsschäden mit einer Konzentration auf einzelnen Flächen auf. Im Gegensatz zu den anderen Baumarten befindet

sich die Douglasie zum Zeitpunkt der Inventur aufgrund ihrer Wuchsleistung bereits in schälfähigen Dimensionen. Schäl Schäden bei Douglasie können, wenn sie nicht großflächig und stammumfassend sind, gesund überwält werden (Spellmann et al. 2015, Bartsch et al. 2020). Es ist trotzdem zu betonen, dass die Bejagung ein elementarer waldbaulicher Steuerungsfaktor bei der klimastabilen Wiederbewaldung ist und deshalb ein wichtiger Grundsatz der ökologischen Waldbewirtschaftung (ML 2020).

Die **Fichte**, in Mitteleuropa eine Baumart der kühlen, klimatisch feuchten Lagen, leidet derzeit besonders stark unter den klimatischen Veränderungen. Insgesamt zeichnet sie sich durch eine hohe Instabilität gegenüber biotischen und abiotischen Schadereignissen aus (Löf et al. 2010, Hansen & Spiecker 2016, Zerbe 2023). Auf vielen Standorten soll sie wegen des steigenden Trockenstress-, Sturm- und Borkenkäferisikos nicht mehr als führende Baumart angebaut werden (Böckmann et al. 2019). Aufgrund des weiter gestiegenen Anbaurisikos wird sie zukünftig vor allem als Misch- und Nebenbaumart dienen (ML 2024).

Auf den untersuchten Störungsflächen ist die Fichte nahezu durchweg als Naturverjüngung mit tlw. hohen Dichten vertreten. Viele Fichten sind in der Jugendphase abgestorben. Übermäßig dichte Fichtennaturverjüngung wird auf frischen bis feuchten Standorten im Berg- und Hügelland oft in der Literatur beschrieben (Bartsch et al. 2020). Das Naturverjüngungspotenzial, gespeist auch aus einer Bodensamenbank, ist natürlicherweise auch auf Standorten vorhanden, auf denen ein Baumartenwechsel im Rahmen der klimastabilen Wiederbewaldung vorgesehen ist und die Fichte künftig keine führende Rolle mehr einnehmen soll. Da die aufgelaufene Fichtennaturverjüngung auf Störungsflächen strukturgebend ist, Schatten und Windruhe bietet, sollte sie aber zumindest als Zeitmischung einbezogen werden (Hauskeller 2024). Auf den untersuchten Störungsflächen ist die Fichte in ihrer sozialen Stellung derzeit überwiegend zurückbleibend, eine Steuerung ist also zum jetzigen Zeitpunkt noch möglich und im Rahmen der klimastabilen Wiederbewaldung auch dringend notwendig. Verjüngungsziel sollte die Baumartenzusammensetzung des in der waldbaulichen Planung jeweils vorgesehenen Waldentwicklungstyps sein. Eine Steuerung zulasten der Fichte ist im Hinblick auf die Mischungsregulierung der Baumarten häufig erforderlich. V.a. bei sehr dichter Fi-NV ist eine konsequente Stammzahlreduktion wichtig, um die Fichte zu stabilisieren, Wasserstress zu reduzieren sowie schnell nutzbare Dimensionen zu erreichen.

Auf den untersuchten Störungsflächen haben sich erfreulicherweise viele Pionierbaumarten, vorrangig Birke und Eberesche, in ausreichender Dichte eingefunden. Dies ermöglicht ihre Einbindung in das Bestandesgefüge bei der Begründung naturnaher, standortgerechter und stabiler Mischwälder. Den Grundsätzen des LÖWE+-Programms (ML 2020) folgend sind diese aus mehrfacher Hinsicht förderlich (Strukturvielfalt, Bodenschutz, Biotopverbesserung). Nach Runderlass zur klimaangepassten Baumartenwahl (ML 2023) soll in jedem Waldentwicklungstyp ihr Anteil wenigstens 10 – 20 % betragen. Pionierbaumarten sind lichtbedürftige und konkurrenzschwache Baumarten mit einer vergleichsweise geringen Lebensspanne (Roloff & Pietzarka 2014, Schütt & Stimm 2014, Tamm 2014, FVA 2021). Aufgrund ihrer Höhenwuchsleistung ist die Birke in der derzeitigen Altersphase allerdings in ihrer sozialen Stellung herrschend und vorherrschend. Waldbaulich befindet sie sich in der Pflegephase der Läuterung. Die Eberesche ist aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Dimensionen in der Altersphase überwiegend mitherrschend und zurückbleibend, die Einzelbäume aufgrund ihres schlechten Höhen/Durchmesserhältnisses instabil. Sollen die Anteile beider Pionierbaumarten gehalten und die Einzelbäume stabilisiert werden, ist eine aktive Förderung und Pflege erforderlich. Auf der anderen Seite ist bei der Birke die Konkurrenzsituation zu Zielbaumarten im Auge zu behalten, dies gilt insbesondere für die Eiche (Wagner & Röker 2000; Petersen et al. 2009). Birke und Eberesche besitzen die Fähigkeit des Stockausschlages, Mehrtriebigkeit ist häufig die Folge. Bei Eingriffen v.a. in der Birke ist daher der Eingriffszeitpunkt von Bedeutung. Nach Leder (1990) sollte dieser im Abknickverfahren Ende August durchgeführt werden, weil zu diesem Zeitpunkt der

Vegetationsabschluss erfolgt ist, aber noch keine Reservestoffe für die folgende Vegetationsperiode angelegt wurden.

Für die Einbringung von Halbschatt- und Schattbaumarten auf Freiflächen nach Störungsereignissen, rückt die Nutzung von Pionierbaumarten als schützender Schirm in Form eines Vorwaldes in den Fokus (Franko 2015, Beck et al. 2016, Bartsch et al. 2020). Nach Definition von Bartsch et al. (2020) sind Vorwälder ein Schirm aus Baumarten früher Sukzessionsphasen, der dem Schutz empfindlicher Baumarten gegenüber Gefahren in der Jugend dient. Man unterscheidet zwischen echten Vorwaldgefügen und vorwaldartigen Gefügen (Fiedler 1961). Beide Kategorien sind durch unterschiedliche Wuchsdynamiken der beteiligten Baumarten gekennzeichnet. Die Pionierbaumarten verfügen über ein schnelles Jugendwachstum, das zu einem deutlichen Höhenvorsprung gegenüber den Zielbaumarten führt. Während die Pionierbaumarten im echten Vorwaldgefüge einen Altersvorsprung gegenüber den Zielbaumarten aufweisen, sind vorwaldartigen Gefüge gleichalt wie die Zielbaumarten. Über die Pionierbaumarten und ihre Etablierung gibt es umfangreiche Kenntnisse, hier sind v.a. die Untersuchungen von Tiebel et al. (2018; 2019a,b; 2020a,b,c; 2021a,b; 2023a,b,c,d; 2024a,b,c,d) zu nennen. Hingegen fehlen über die Schutzwirkung von Vorwäldern sowie ihre Anlage und waldbauliche Steuerung valide Kenntnisse. Diesbezüglich besteht ein großer Forschungsbedarf.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen einerseits, dass die Wiederbewaldung der Kalamitätsflächen über investive Maßnahmen in Kombination mit dem natürlichen Ankommen weiterer Arten erfreulicherweise zu strukturreichen Waldbildern mit einer großen Baumartenvielfalt geführt hat. Andererseits verdeutlichen sie aber auch vielfach die Notwendigkeit der waldbaulichen Steuerung, um die in den jeweils geplanten Waldentwicklungstypen (WET) vorgesehenen Waldentwicklungsziele erreichen zu können und die getätigten Investitionen langfristig zu sichern.

Kern der Untersuchung war eine stratifizierte Stichprobe auf Störungsflächen, die mit Hilfe der Luftbilder aus dem Jahr 2007, also unmittelbar nach dem Schadereignis Kyrill, identifiziert wurden. Wichtige Erfolgsfaktoren wie Flächenräumung, Bodenbearbeitung sowie Pflegemaßnahmen sollten desweiteren geprüft werden. Hierfür wurden Informationen aus der betrieblichen Verbuchung (PAN) genutzt. Da in den Jahren nach Kyrill noch keine GIS-basierte Verortung von Kultur- und Pflegemaßnahmen erfolgte, war eine eindeutige Zuordnung der betrieblichen Verbuchung zu den Ergebnissen in der Fläche überwiegend nicht möglich. Während der Aufnahmen im Gelände wurden in den Probekreisen klar erkennbare Maßnahmen dokumentiert. Diese Informationen sind jedoch sehr lückenhaft, sodass eindeutige evidenzbasierte Aussagen nicht getroffen werden können. Die Herleitung des Verjüngungserfolges anhand der beschriebenen Kriterien war deshalb nur eingeschränkt möglich. Die Ergebnisse spiegeln den aktuellen Zustand der ausgewählten Störungsflächen jedoch sehr differenziert wider.

Für das aktuelle Schadereignis und im Hinblick auf künftige Störungen lassen sich aus den Projektergebnissen im Abgleich mit gesichertem waldbaulichem Wissen im Wesentlichen folgende Erkenntnisse ableiten:

- Im Gegensatz zum Sturmschadensereignis „Kyrill“ beeinflusst mittlerweile zunehmend Sommertrockenheit in ganz erheblichem Ausmaß die Vitalität von Waldbeständen und hat ganz entscheidend zum aktuellen Schadgeschehen beigetragen. Der Standortwasserbilanz muss daher bei der Baumartenwahl eine herausragende Bedeutung beigemessen werden. Die derzeitige Empfehlung zur „Klimaangepassten Baumartenwahl“ berücksichtigt das gestiegene Trockenstressrisiko (Böckmann et al. 2019). In Anlehnung an die verschiedenen Klimaprojektionen werden die Baumartenempfehlungen aber regelmäßig überprüft und angepasst.

- Für die Wiederbewaldung von Freiflächen ist ein Netz vitaler Samenbäume wichtig, um Verjüngungspotenziale zu schaffen (Tiebel et al. 2019). Initiale können v.a. über früh fruktifizierende, weit aussamende Pionierbaumarten, aber auch durch Linde, Berg- und Spitzahorn sowie Hainbuche gesetzt werden. Auch Gruppen, Trupps und Einzelbäume älterer, vitaler Samenbäume (auch von Buchen und Eichen) sollten langfristig gehalten werden.
- Bei investiven Maßnahmen sollten Flächenanteile einzelner Baumarten insgesamt nicht zu groß gewählt werden. Eine Beteiligung mehrerer standortsgerechter Baumarten dient der Risikostreuung. Bei den Anteilsflächen von Mischbaumarten ist zu beachten, dass diese, auch im Hinblick auf den großen Gesamtpflegeaufwand nicht zu klein gewählt werden.
- Begleitbaumarten sind ein weiterer wichtiger Bestandteil der Waldentwicklungstypen, die es gezielt zu integrieren gilt. Neben ihrem Beitrag zur Baumartenvielfalt können sie zudem Ausfälle der Hauptbaumart kompensieren. Auch bei den Begleitbaumarten ist im Zuge der Bestandespflege eine räumliche Entzerrung sinnvoll.
- Auf Freiflächen und bei hohem Risiko eines vorzeitigen, unplanmäßigen Schirmverlusts sind zumindest in der ersten Generation die Ausgangsbedingungen für einen wertholzorientierten Buchenvoranbau ungünstig. Vorrangiges Ziel ist hier die Steigerung der Resistenz und Resilienz der Waldökosysteme gegenüber Störungen und damit eine höhere Flexibilität der Waldbewirtschaftung. Die Konsequenz wären von vornherein geringere Pflanzenzahlen bei einer künstlichen Begründung.
- Zur Abmilderung des Freiflächenklimas können Pionierbaumarten als Vorwaldstrukturen die Begründung von Schattbaumarten wie Buche und Weißtanne aber auch der Halbschattbaumart Douglasie unterstützen. Hier besteht aktuell Forschungsbedarf bezüglich der Schutzwirkung von Vorwäldern und ihrer waldbautechnischen Umsetzung (Zeitpunkt, Art der Begründung und dies abhängig von Ziel- und Vorwaldbaumart).
- Das bekannte Wissen, dass eine gute Pflanzen- sowie Pflanzungsqualität für das Gelingen einer Kultur entscheidend ist, gilt in besonderem Maße bei der Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen, v.a. vor dem Hintergrund eines zunehmenden Trockenstresses im Zuge des Klimawandels. Die Wahl einer geeigneten Herkunft ist zu beachten. Die Nutzung von Samenplantagenmaterial ist eine sinnvolle Ergänzung, durch die breitere genetische Basis und Entwicklung genetische Anpassungsmuster kann die Anpassung an Klimawandel verbessert werden. Die Wahl des Sortimentes „Container“ oder „wurzelnackte Pflanzen“ sollte in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Die vorgegebene Mindestpflanzenzahl sollte bei der Anlage von Kulturen nicht unterschritten werden. Desweiteren ist es wichtig, dass die Pflanzungen durch Fachkräfte durchgeführt werden. Ein klarer Arbeitsauftrag, in dem auch das Pflanzgerät vorgegeben wird, ist ebenso unabdingbar wie eine enge Kontrolle der Arbeiten um Pflanzfehler zu vermeiden.
- Bei der weiteren Entwicklung der Bestände wird eine aktive Steuerung vielfach erforderlich sein, um das im jeweils geplanten Waldentwicklungstyp (WET) angestrebte Verjüngungsziel zu erreichen. Dies gilt insbesondere bei vorgesehenem Baumartenwechsel und wenn investive Maßnahmen getätigt wurden. Steuernde Maßnahmen betreffen die Baumartenmischung auf den Flächen bzw. bei Fichte die Stabilisierung von Einzelbäumen durch Stammzahlreduktion. Im Einfluss auf die Bestandesstruktur effektive und ergonomisch günstige Zeitfenster der Steuerung müssen konsequent genutzt werden.
- Angepasste Wildbestände sind ein wichtiges Steuerungselement für das Gelingen einer zielgerichteten Wiederbewaldung. Hierzu muss jagdliche Infrastruktur wie Schneisen, Mulchgassen und Äsungsstreifen im Rahmen der Wiederbewaldung geplant werden, um Bewegungsjagden durchführen zu können.
- Eine flächenscharfe Dokumentation (GIS-basiert) von natürlicher und investiver Verjüngung sowie auf diesen Flächen durchgeführter Schutz- und Pflegemaßnahmen

ist als Grundlage für ein nachhaltiges waldbauliches Qualitätsmanagement unerlässlich.

## 5. Zusammenfassung

Die extremen Witterungsereignisse der vergangenen Jahre, eingeleitet durch den Sturm *Friederike* Anfang 2018 und fünf anschließende Dürrejahre, haben in Niedersachsen zu kalamitätsbedingten Freiflächen in einer Größenordnung von mindestens 33.000 ha geführt. Waldeigentümer stehen vor der großen Herausforderung, im Zuge der Wiederbewaldung von Schadflächen in angemessener Zeit alle Waldfunktionen nachhaltig zu sichern. Gleichzeitig bestehen sehr gute Chancen, durch eine standortgerechte Baumartenwahl strukturreiche, vielfältige und anpassungsfähige Wälder mit hoher Klimaresilienz zu begründen. Aufgrund der Komplexität der Wiederbewaldung besteht für die Wiederbewaldung ein akuter Bedarf an Entscheidungshilfen, die vorhandene praktische Erfahrungen systematisieren und darüber hinaus auf wissenschaftlich abgesicherten Erkenntnissen aufbauen. Einen wichtigen Beitrag zu solchen Entscheidungshilfen kann die wissenschaftliche Analyse von Wiederbewaldungsmaßnahmen nach früheren großen Schadereignissen leisten. Ziel des Projektes „WieWaKa“ war eine systematische Evaluierung des Erfolges der Wiederbewaldung nach dem Schadereignis des Orkans „Kyrill“ im Jahr 2007 nach objektiven und reproduzierbaren standorts- und bestandesbezogenen Kriterien. Wichtige Erfolgsfaktoren sowohl für die natürliche als auch die investive Wiederbewaldung sollten identifiziert werden. Im Rahmen einer Stichprobeninventur wurden Kenntnisse über die Wiederbewaldung von Störungsflächen, insbesondere deren Baumartenzusammensetzung, der Baumdimensionen und -qualitäten sowie an den Bäumen aufgetretene abiotische und biotische Schäden gewonnen. Kern des Untersuchungsansatzes war eine stratifizierte Stichprobe auf Störungsflächen, die mit Hilfe der Luftbilder aus dem Jahr 2007, also unmittelbar nach dem Schadereignis Kyrill, identifiziert wurden. Auf den ausgewählten Flächen wurden an den Schnittpunkten eines 50 x 50 m Rasters in Probekreisen Metadateninformationen sowie an allen Bäumen und Sträuchern mit einer Mindesthöhe von 50 cm die Art, Dimensionen, Qualität und Schäden erfasst.

Die Ergebnisse spiegeln den aktuellen Zustand der ausgewählten Störungsflächen sehr differenziert wider. Sie zeigen 17 Jahre nach dem Schadereignis „Kyrill“, dass eine Wiederbewaldung auf allen untersuchten Schadflächen stattgefunden hat. Da die durch Pflanzung begründeten Haupt- und teilweise Mischbaumarten sich durch natürliche Verjüngung verschiedener Baum- und Straucharten ergänzt haben, häufig in inniger Mischung, haben sich sehr differenzierte Waldbilder entwickelt. Aufgrund unterschiedlicher Wuchsdynamiken der etablierten Baumarten ist der Pflegebedarf zum Erhalt und zur Förderung der getätigten Investitionen (Zielbaumart/WET) und zur Erhaltung vitaler Anteile natürlich angekommener Baumarten allerdings oft erheblich.

Auf den Untersuchungsflächen erfasste gepflanzte Buchen entstammen Freiflächenkulturen nach Kyrill oder abgedeckten älteren Voranbauten. Die Pflanzendichten sind überwiegend gering, ihre zum gegenwärtigen Zeitpunkt schlechte Qualität bestätigt Literaturangaben zu ähnlichen Ausgangssituationen. Bei hohem Risiko eines vorzeitigen, unplanmäßigen Schirmverlusts sind die Ausgangsbedingungen für einen wertholzorientierten Buchenvoranbau ungünstig. Ein realistisches Ziel für die Buchenanteile aus Voranbauten nach raschem Schirmverlust bzw. auf der Freifläche liegt daher eher in der Steigerung der Resistenz und Resilienz der Waldökosysteme gegenüber Störungen und einer höheren Flexibilität der Waldbewirtschaftung.

Die Douglasie zeigt eine gute Selbstdifferenzierung, durch Naturverjüngung wurden die Flächen erfreulich mit Mischbaumarten (i.W. Weichlaubbbäumen) angereichert. Eine Mischungsregulierung und weitere Stabilisierung der Douglasien bleiben erforderlich. Die Fichte ist auf den untersuchten Störungsflächen nahezu durchweg als Naturverjüngung mit tlw. hohen Dichten vertreten. In ihrer sozialen Stellung ist sie derzeit überwiegend zurückbleibend, eine Steuerung ist also zum jetzigen Zeitpunkt noch möglich und im Rahmen der klimastabilen Wiederbewaldung auch dringend notwendig. Erfahrungen zeigen ein Aufholpotenzial der Fichte in der weiteren Bestandesentwicklung. V.a. bei sehr dichten Naturverjüngungspartien ist ihre konsequente Stammzahlreduktion erforderlich, um die Fichte zu stabilisieren, Trockenstress zu reduzieren und frühzeitig verwertbare Dimensionen zu erzielen.

Auf fast allen untersuchten Flächen haben sich erfreulicherweise Pionierbaumarten, vorrangig Birke und Eberesche, in der Regel in höherer Dichte eingefunden. Dies ermöglicht ihre Einbindung in das Bestandesgefüge bei der mit dem Ziel der Entwicklung naturnaher, standortgerechter und stabiler Mischwälder. Zur Abmilderung des Freiflächenklimas können Pionierbaumarten als Vorwaldstrukturen auch eine spätere Begründung von Schattbaumarten wie Buche und Weißtanne, aber auch der Halbschattbaumart Douglasie unterstützen. Zum Thema der Anlage von Vorwäldern und der waldbaulichen Steuerung von Vorwäldern und vorwaldartiger Strukturen aus natürlicher Entstehung besteht weiterer Forschungsbedarf.

Das bekannte Wissen, dass eine gute Pflanzen- sowie Pflanzungsqualität sowie eine abgestimmte Logistik des Gesamtprozesses aus Bodenvorbereitung, Pflanzentransport und -behandlung sowie angepassten Arbeitsverfahren entscheidend sind für das Gelingen einer Kultur. Dies gilt in besonderem Maße bei der Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen, v.a. vor dem Hintergrund eines zunehmenden Trockenstresses im Zuge des Klimawandels. Angepasste Wildbestände sind ein wichtiges Steuerungselement für das Gelingen einer zielgerichteten Wiederbewaldung. Da in den Jahren nach Kyrill noch keine GIS-basierte Verortung von Kultur- und Pflegemaßnahmen erfolgte, war eine eindeutige Zuordnung der betrieblichen Verbuchung zu den Ergebnissen in der Fläche überwiegend nicht möglich. Die Herleitung von Erfolgsfaktoren aus der betrieblichen Verbuchung war deshalb nur eingeschränkt möglich. Eine flächenscharfe Dokumentation (GIS-basiert) von natürlicher und investiver Verjüngung sowie auf diesen Flächen durchgeführter Schutz- und Pflegemaßnahmen sind als Grundlage für ein nachhaltiges waldbauliches Qualitätsmanagement unerlässlich.

Im Hinblick auf das derzeitige Schadereignis und v.a. zukünftige, spielt bei der Wiederbewaldung der Faktor Trockenstress eine größere bzw. zunehmende Rolle, der durch die Beachtung künftiger Standortwasserbilanzen im Rahmen der klimaangepassten Mischbestandswahl berücksichtigt wird.

## 6. Literatur

- Ammer C., Schall P., Goßner M., Fischer M. (2017): Waldbewirtschaftung und Biodiversität: Vielfalt ist gefragt! AFZ-DerWald 17/2017 21-25.
- Ammer C. (2003): Growth and biomass partitioning of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. seedlings in response to shading and small changes in the R/FR-ratio of radiation. *Annals of Forest Science* 60 (2), 163–171.
- Ammer C., Brang P., Knocke T., Wagner S. (2004): Methoden zur waldbaulichen Untersuchung von Jungwüchsen. *Forstarchiv* 75, 83–110.
- Arnold J. (2024): ggthemes: Extra Themes, Scales and Geoms for 'ggplot2'. R package version 5.1.0.9000, <https://github.com/jrnold/ggthemes>, <http://jrnold.github.io/ggthemes/>, <https://jrnold.github.io/ggthemes/>.
- Auguie B., Antonov A. (2022): *Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics*. R package version 2.3, 2017.
- Aussenac G. (2000): Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science* 57, 287–301.
- Bartsch N., Röhrig E. (2016): Waldökologie-Einführung für Mitteleuropa. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 417 S.
- Bartsch N., Lüpke B. von, Röhrig, E. (2020): Waldbau auf ökologischer Grundlage. Eugen Ulmer KG, Stuttgart. 676 S.
- Beck P., Caudullo D., Rigo D. de, Tinner W. (2016): *Betula pendula*, *Betula pubescens* and other birches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: European Atlas of Forest Tree Species (J San-Miguel-Ayanz, D de Rigo, G Caudullo, T Houston Durrant, A Mauri eds). Publication Office of the European Union, Luxembourg.
- Bergel, D. (1986a): Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 157, 49-59.
- Bergel, D. (1986b): Der Wertertrag von Douglasienreinbeständen in Abhängigkeit von Durchforstungsstärke, Umtriebszeit und Ertragsniveau. *Forstarchiv* 57, 129-134.
- Böckmann T., Hansen J., Hauskeller-Bullerjahn K., Jensen T., Nagel J., Nagel R.-V., Overbeck M., Pampe A., Petereit-Bitter A., Schmidt M., Schröder M., Schulz C., Spellmann H., Stüber V., Suttmöller J., Wollborn P. (2019): Klimaangepasste Baumartenwahl in den Niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde-Schriftenreihe Waldentwicklung in Niedersachsen, Bd. 61. 170 S.
- Böckmann T., Buresch M., Evers J., Hamkens H., Nagel R.-V., Suttmöller J. (2024): Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Schleswig-Holstein. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt. 57 S.
- Brown J. M. B. (1952): Influence of shade on the height growth and habit of beech. *Report on Forest Research*, 62–67.
- Brunner A., Huss J. (1994): Die Entwicklung von Bergmischwaldkulturen in den Chiemgauer Alpen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 113, 194–203.
- Burschel P., El Kateb H., Huss J., Mosandl R. (1985): Die Verjüngung im Bergmischwald – Erste Ergebnisse einer Untersuchung in den ostbayerischen Kalkalpen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 104, 65–100.
- BWaldG (2021): Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), zuletzt geändert durch Artikel 112 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436).
- Cao K.-F. (2001): Morphology and growth of deciduous and evergreen broadleaved saplings under different light conditions in a Chinese beech forest with dense bamboo undergrowth. *Ecological Research* 16, 509–517.
- Carlson D. W., Groot A. (1997): Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 87, S. 313–329.

- Collet C., Lanter O., Pardos M. (2002): Effects of canopy opening on the morphology and anatomy of naturally regenerated beech seedlings. *Trees* 16 (4–5), 291–298.
- Daamen R. (2009): Hilfsprogramme zur Bewältigung der Sturmkatastrophe Kyrill. *Natur in NRW* 2/2009, 14 – 16.
- DVFFA (Hrsg.) (2019): Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA), 7 S.
- DWD (2017): Orkan Kyrill – Rückblick auf den 18. Januar 2007. [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20170111\\_10jahrekyrill\\_news.html](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20170111_10jahrekyrill_news.html) Stand: 02.04.2025.
- Fiedler F. (1960): Zum Begriff „Vorwald“. *Forst und Jagd* Nr. 3.
- Franke D. (2015): Vorwald – eine waldbauliche Alternative? *Waldpost*: 17–18.
- FVA (Ed.) (2021): Alternative Baumarten im Klimawandel - Eine Stoffsammlung. Artensteckbriefe 2.0. FVA, Freiburg, 246 S. Retrieved from <http://www.fva-bw.de>
- Gauer J., Aldinger E. (2005): Waldökologische Naturräume Deutschlands – Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke – mit Karte 1:1.000.000, Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, 324 S.
- Gockel H. A. (1994): Soziale und qualitative Entwicklungen sowie Z-Baumhäufigkeiten in Eichenjungbeständen – Die Entwicklung eines neuen Pflanzschemas „Die Trupppflanzung“. Dissertation. Universität Göttingen.
- Grier, C. G., Running, S. W. (1977): Leaf area of mature northwestern coniferous forests: relation to site water balance. *Ecology* 58(4): 893–899. <https://doi.org/10.2307/1936225>.
- Hansen J., Spiecker H. (2016): Conservation of Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) Forest in Europe. In: *Restoration of Boreal and Temperate Forests* (J Stanturf ed). Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Hessen-Forst (2008): Hessische Waldbaufibel – Grundsätze und Leitlinien zur naturnahen Wirtschaftsweise im hessischen Staatswald. Kassel: Landesbetrieb Hessen-Forst (Hrsg.), 97 S.
- Hauskeller H.M. (2024): Wiederbewaldung im Harz - Ziele, Vorgehen und Instrumente zur planvollen Umsetzung, *Waldi*, August 2024, 3
- Kätzel R., Löffler S., Winter S., Kallweit R. (2004): Untersuchungen zur Lichtanpassung von Buchen-Voranbauten bei unterschiedlicher Überschirmung. In: *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 38 (2), 74–80.
- Karlsson, M., Nilsson, U., Örländer, G. (2002): Natural Regeneration in Clear-cuts: Effects of Scarification, Slash Removal and Clear-cut Age. *Scand. J. For. Res.*, 17: 131–138.
- Klinck C., Paar U. (2023): WZE-Ergebnisse für alle Baumarten. In: *Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz* (Hrsg.), *Waldzustandsbericht 2023 für Niedersachsen*, 8–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10082927>.
- Kramer H., Akca A. (2002): Leitfaden zur Waldmesslehre. 4. Auflage. Frankfurt a. M: J. D. Sauerländer's.
- Küssner R. (1997): Sukzessionale Prozesse in Fichtenbeständen (*Picea abies*) des Osterzgebirges: Möglichkeiten ihrer waldbaulichen Beeinflussung und ihrer Bedeutung für einen ökologisch begründeten Waldbau. *Forstwiss. Cent.*, 116: 359–369.
- Leder B. (1992): Weichlaubhölzer-Verjüngungsökologie, Jugendwachstum und Bedeutung in Jungbeständen der Hauptbaumarten Buchen und Eiche. Schriftenreihe der Landesanstalt für Forstwissenschaft Nordrhein-Westfalen, Sonderband. 416 S.
- Leder B. (1996): Weichlaubhölzer in Eichen- und Buchen – Jungbeständen. *Forst und Holz* 51. Jahrgang, 340 – 344.
- Leder B., Hillebrand K. (2001): Überlegungen zur Charakterisierung der Qualitätsentwicklung in Buchen-Jungwüchsen. In: *Forst und Holz* 56 (2), 44–49.
- Leder B. (2005): Entwicklung eines Salweiden-Vorwaldes aus Naturverjüngung: Dokumentation der Entwicklungsprozesse über einen Zeitraum von 18 Jahren. *LÖBF-Mitteilungen*, 3: 49–52.

- Leonhardt B., Wagner S. (2006): Qualitative Entwicklung von Buchen-Voranbauten unter Fichtenschirm. In: Forst und Holz 61 (11), 454–457.
- Le Tacon F. (1985): Die Pflanzung auf der Freifläche – Einer der Gründe für die schlechte Form der Buche im Nordosten von Frankreich. Der Forst- und Holzwirt 12, 339–342.
- Löf M., Bergquist J., Brunet J., Karlsson M., Torkel W. (2010): Conversion of Norway spruce stands to broadleaved woodland-regeneration systems, fencing and performance of planted seedlings. Ecological Bulletins 53: 165–174.
- Lüpke N. von, Petersen R. (2020): Sind Containerpflanzen bei der Douglasie die bessere Wahl? AFZ-DerWald 75(22): 22–26.
- Meyer P., Ackermann J. (2004): Lückendynamik in Buchen-Naturwäldern Nordwestdeutschlands. In: LWF Wissen 46, 10–14.
- Niedersächsische Landesforsten (1997): Entscheidungshilfen zur Behandlung und Entwicklung von Douglasienbeständen. Merkblatt Nr. 36, 19 S.
- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2020): Aktualisiertes Niedersächsisches Programm zur langfristigen ökologischen Waldentwicklung in den Niedersächsischen Landesforsten (LÖWE+) Programm der Landesregierung durch Beschluss vom 26.09.2017 ergänzt durch Vereinbarung zum Niedersächsischen Weg, Stand 28.08.2020. 44 S.
- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2023): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen im Land Niedersachsen, RdErl. d. ML v. 1. 12. 2020 — 406-64030/1-2.6/2 — 1 i. d. F. der Änderung durch RdErl. d. ML v. 1. 2. 2023 — 406-64030/1-2.6/2-2 — VORIS 79100 —
- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2024): Der Wald in Zahlen - Ergebnisse der Bundeswaldinventur 4 für Niedersachsen. 72 S.
- Mölder A., Sennhenn-Reulen H., Fischer C., Rumpf H., Schönfelder E., Stockmann J., Nagel R.-V. (2019a): Success factors for high-quality oak forest (*Quercus robur*, *Q. petraea*) regeneration. Forest Ecosystems 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0206-y>
- Mölder A. (2019b): „QuerCon“ - Forschung zur Sicherung von Eichenwäldern. AFZ-DerWald 74(10): 65.
- Nebe W. (1995): Zur Ernährung von Salweiden-, Aspen-, Birken- und Ebereschen-Aufwüchsen im Erzgebirge. In: LÖBF (Hrsg.), Weichlaubhölzer und Sukzessionsdynamik in der naturnahen Waldwirtschaft. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen. 61–68.
- NFP (2007): Konzept für eine Inventur und Planung auf den Sturmflächen Kyrill. 2 S.
- NFP, LLUR (2009a): Forstliche Standortaufnahme. Geländeökologischer Schätzrahmen. Anwendungsbereich: Bergland. Niedersächsisches Forstplanungsamt (NFP), Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt u. Ländliche Räume (LLUR), 14 S.
- NFP, LLUR (2009b): Forstliche Standortaufnahme. Geländeökologischer Schätzrahmen – Varianten. Anwendungsbereich: pleistozänes (diluviales) Tiefland, Mittelgebirge, Berg- und Hügelland. Niedersächsisches Forstplanungsamt (NFP), Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt u. Ländliche Räume (LLUR), 5 S.
- Nicollini E., Caraglio Y. (1994): L'influence de divers caractères architecturaux sur l'apparition de la fourche chez le *Fagus sylvatica*, en fonction de l'absence ou de présence d'un couvert. In: Canadian Journal of Botany 72, 1723–1734.
- NLF, LGLN (2023): Orthodienste NW-FVA Niedersachsen: 2007, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2015-2018 Forsteinrichtungsdaten (Geometrie- und Sachdaten), Waldmaske NI.
- NLF (2024): Wiederbewaldung und Waldumbau, Waldstück-Sonderausgabe. 29 S.
- NWaldLG (2022): Niedersächsisches Gesetz über den Wald und die Landschaftsordnung (NWaldLG) vom 21. März 2002 (Nds. GVBl. S. 112 - VORIS 79100 -), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 17. Mai 2022 (Nds. GVBl. S. 315).
- Ott B., Goldmann I., Bartsch N. (2003): Qualität von Buchenkulturen auf Windwurfflächen. In: AFZ-Der Wald 58 (5), 265–267.

- Ott B., Lüpke B. von (2006): Erfolg von Buchenpflanzungen auf Sturmwurfflächen von 1990 im hessischen Vogelsberg. *Forstarchiv* 77, 119–126.
- Petersen R., Schuller S., Ammer C. (2009): Einfluss unterschiedlich starker Birkenkonkurrenz auf das Jugendwachstum von Traubeneichen: Ergebnisse einer 8-jährigen Beobachtungsreihe. *Forstarchiv* 80: 208–214.
- Pretzsch H., Spellmann H. (1994): Leistung und Struktur des Douglasien-Durchforstungsversuchs Lonau 135. *Forst und Holz*, 49, 64–69.
- Prien S. (1997): Die Bedeutung der Vogelbeere für freilebende Vögel und Säugetiere. *AFZ/DerWald* 10/1997, 551 – 553.
- QGIS Development Team (2023): QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project R Core Team (2024) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- R Core Team (2019): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Renaud V.; Innes J.; Dobbertin M.; Rebetez M. (2011): Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland for different types of forests over 10 years (1998–2007). *Theor Appl Climatol.*, 105: 119–127.
- Ribbens E., Silander J. A., Pacala S. W. (1994): Seedling recruitment in forests: calibrating models to predict patterns of tree seedling dispersion. In: *Ecological Society of America* 75 (6), 1794–1806.
- Ritz C., Streibig, J. C. (2016): Bioassay Analysis Using R. *Journal of Statistical Software*, 12(5), 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v012.i05>
- Rohde M., Hurling R., Langer G., Bußkamp J., Plašil P. (2023a): Insekten und Pilze. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), *Waldzustandsbericht 2023 für Niedersachsen*. 23 – 26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10083014>
- Rohde M., Hurling R., Langer G., Bußkamp J., Plašil P. (2023b): Insekten und Pilze. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), *Waldzustandsbericht 2023 für Niedersachsen*. 23 – 26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10083014>
- Roloff A. (1986): Morphologie der Kronenentwicklung von *Fagus sylvatica* L. (Rotbuche) unter besonderer Berücksichtigung möglicherweise neuartiger Veränderungen. *Berichte des Forschungszentrums Waldökologie/Waldsterben*. Universität Göttingen, Institut für Forstbotanik.
- Roloff A., Pietzarka U. (2014): *Betula pendula* ROTH, 1788. In: *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie* (A Roloff, H Weisberger, U Lang, B Stimm eds). Wiley-VCH Verlag, Weinheim. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9783527678518.ehg2000031>
- Schütt P., Stimm B. (2014): *Salix caprea* LINNÉ, 1753. In: *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie* (Roloff A., Weisberger H., Lang U., Stimm B. eds). Wiley-VCH Verlag, Weinheim. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9783527678518.ehg2001054>
- Schütz J. P., Pommerening A. 2013. Can Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) sustainably grow in complex forest structures? *Forest Ecology and Management* 303, 175–183
- Seiler M., Arenhövel, W., Profft I. (2007): Waldbauliche Konsequenzen für Thüringen. Klimaschutz und Klimawandel – Rolle der Forstwirtschaft. In: *Mitteilungen aus der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei* (29), S. 28–41.
- Spellmann H., Weller A., Brang P., Michiels U., Bolte A. (2015): Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). In: Vor T., Spellmann H., Bolte A., Ammer C. (Hrsg.), *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung*, Göttinger Forstwissenschaften, Bd. 7. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, 187–217.
- Sutmöller J. (2022): Witterung und Klima. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), *Waldzustandsbericht 2022 für Niedersachsen*. S. 18–22. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7303437>

- Tamm Ü. (2014): *Populus tremula* L., 1753. In: Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie (Roloff A., Weisberger H., Lang U., Stimm B. eds). Wiley-VCH Verlag, Weinheim. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9783527678518.ehg2001009>
- Tiebel, K., Huth, F., Wagner, S. (2018): Soil seed banks of pioneer tree species in European temperate forests: a review. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 11 (1): 48–57.
- Tiebel K.; Leinemann, L.; Hosius, B.; Schlicht, R.; Frischbier, N.; Wagner, S. (2019a): Seed dispersal capacity of *Salix caprea* L. assessed by seed trapping and parentage analysis. *Eur. Journal For. Res.*, 138: 495–511.
- Tiebel K., Wehnert A., Huth F., Erefur C., Bergstens U., Wagner S. (2019b): Fruktifikation der Salweide am Beispiel Nordschwedens. *AFZ-Der Wald*, 12: 25–27.
- Tiebel K., Huth F., Frischbier N., Wagner S. (2020a): Restrictions on natural regeneration of stormfelled spruce sites by silver birch (*Betula pendula* Roth) through limitations in fructification and seed dispersal. *Eur. Journal For. Res.*, 139: 731–745.
- Tiebel K., Huth F., Wagner S. (2020b): Samenbäume und Naturverjüngungspotenziale von Pionierbaumarten zur Stärkung der Resilienz von Fichtenwäldern. In: ThüringenForst-AöR (Hrsg.), Beiträge aus der angewandten Forschung in Thüringer Wäldern und deren Bewirtschaftung, Erfurt. 39–54.
- Tiebel K. (2020c): The ability of pioneer tree species to mitigate the effects of site disturbance by fast and effective natural regeneration. Technische Universität Dresden, Tharandt. 211 S.
- Tiebel K. (2021a): Which factors influence the density of birch (*Betula pendula* Roth) seeds in soil seed banks in temperate woodlands? *Eur. Journal For. Res.*, 140: 1441–1455.
- Tiebel K., Huth F., Wagner S. (2021b): Is there an effect of storage depth on the persistence of silver birch (*Betula pendula* Roth) and rowan (*Sorbus aucuparia* L.) seeds? A seed burial experiment. *iForest*, 14: 224–230.
- Tiebel K., Dahlmann J., Karge A. (2023a): Global warming could shorten the seed lifespan of pioneer tree species and thus natural regeneration window of damaged areas. *Eur. Journal For. Res.*, <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01633-1>
- Tiebel K., Karge A., Wagner S. (2023b): Does shading and ground cover of moss and litter improve germination and establishment of *Betula pendula* Roth, *Salix caprea* L. and *Populus tremula* L. seedlings during drought stress in climate change? – A greenhouse study. *For. Ecol. Manag.*, 544: 121212.
- Tiebel K. (2023c): Natürliches Wiederbewaldungspotential von Schadflächen im Klimawandel mittels Pionierbaumarten. *AFZ-Der Wald* 17: 26.
- Tiebel K, Karge A, Wagner S. (2023d): Ist das Etablierungspotential der Pionierbaumarten im Klimawandel gefährdet? Wald- und Holzforschung zwischen Klimawandel, Bioökonomie und gesellschaftlichen Umbrüchen. Forstwissenschaftliche Tagung 2023, Dresden, 11. bis 13. September 2023.
- Tiebel K. (2024a): Praxisleitfaden: Waldbauliche Empfehlungen zur Erhaltung einer sukzessionsgestützten Wiederbewaldung von Störungsflächen mit Pionierbaumarten. Technische Universität Dresden, 64 S.
- Tiebel K. (2024b): Potentiale und Grenzen der Naturverjüngung von Pionierbaumarten auf Freiflächen: Praxisrelevante Erkenntnisse zur Wiederbewaldung größerer Schadflächen. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 75, 7-17.
- Wagner S., Röker B. (2000): Birkenanflug in Stieleichenkulturen: Untersuchungen zur Dynamik der Konkurrenz über 5 Vegetationsperioden. *Forst und Holz* 55:18–22
- Wagner, S. (2004): Klimawandel – Einige Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. *Forst und Holz* 59 (8), 394–398.
- Wagner, S. (2007): Rationaler Waldbau – Fragen und Anregungen. *Forst und Holz* 62 (8), 12–17.
- Wagner, S. (2008): Klimawandel – Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. *AFZ-DerWald* 63 (20), 1104–1107.

- Wagner S., Collet C., Madsen P., Nakashizuka T., Nyland R., Sagheb-Talebi K. (2010): Beech regeneration research – From ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management* 259, 2172–2182.
- Weidig J. (2016): Qualitätsentwicklung von Buchenvorانبauten (*Fagus sylvatica* L.) nach unplanmäßigem, sturmbedingtem Verlust des Fichtenschirms. Dresden. Internet: [http://tud.qucosa.de/landing-page/?tx\\_dlf\[id\]=http%3A%2F%2Ftud.qucosa.de%2Fapi%2Fqucosa%253A29666%2Fmets](http://tud.qucosa.de/landing-page/?tx_dlf[id]=http%3A%2F%2Ftud.qucosa.de%2Fapi%2Fqucosa%253A29666%2Fmets) (17.04.2019).
- Weidig J., Wagner S. (2021): Growth response of advanced planted European beech (*Fagus sylvatica* L.) after storm-caused loss of shelterwood. In: *European Journal of Forest Research*. Internet: <https://link.springer.com/10.1007/s10342-021-01376-x> (19.04.2021).
- Weihls U. (1995): Aufforstung von Extremstandorten mit Vogelbeere. *AFZ/DerWald* 10/1997. 542-547
- Whittaker R. H. (1972): Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2-3), 213-251.
- Whittaker R. H., Bormann F. H., Likens G. E., Siccama T. G. (1974): The Hubbard Brook ecosystem study: forest biomass and production. *Ecological monographs*, 44(2), 233-254.
- Wickham H., Chang W., Wickham MH (2016): Package 'ggplot2.' Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics Version 2:1-189.
- Wickham H., François R., Henry L., Müller K., Vaughan D. (2023): dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.1.4, <https://github.com/tidyverse/dplyr>, <https://dplyr.tidyverse.org>.
- Wickham H., Vaughan D., Girlich M. (2024): tidyr: Tidy Messy Data. R package version 1.3.1, <https://github.com/tidyverse/tidyr>, <https://tidyr.tidyverse.org>.
- Wohlgemuth T., Kull P., Wüthrich H. (2002): Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. *For. Snow Landsc. Res.*, 77: 17–47.
- Zerbe S. (2023): Restoration of Ecosystems – Bridging Nature and Humans A Transdisciplinary Approach. Springer-Verlag, Berlin, pp. 723.

## 7. Anhang

### 7.1. Glossar

#### Abundanz

Relative Häufigkeit der Arten

#### Altersstufe, natürliche

Die natürliche Alterststufe gibt den erreichten Entwicklungszustand eines Bestandes an, z.B. Stangenholz, Baumholz

#### Anwuchs

Jungwuchs aus Pflanzug bzw. Saat oder Naturverjüngung von Beginn der Begründung bis zum Abschluss der Nachbesserung

#### Astung

Waldbauliche Maßnahme zur Verbesserung der Holzqualität von → Zukunftsbäumen, insbesondere der Produktion von astfreiem Wertholz.

#### Aufforstung

Künstliche Begründung von Waldbeständen mit dem Ziel der Erhaltung (Wiederaufforstung nach Störung) oder der Verbreitung (Neuaufforstung) von Wald

#### Autochthon

Bezeichnung für Arten, die in einem Gebiet entstanden sind (vgl. allochthon)

#### Baumholz

Endklasse der natürlichen Altersstufen, in der der mittlere Bruthöhendurchmesser (BHD) der herrschenden Bäume über 20 cm (Grenze uneinheitlich, z.B. Niedersachsen ab 15 cm) erreicht. Geringes Baumholz: BHD bis 37,9 cm; mittleres Baumholz: BHD bis 49,9 cm; starkes Baumholz: BHD ab 50 cm

#### Baumklasse

Einteilung der Bäume eines Bestandes nach Merkmalen der relativen Baumhöhe und der sozialen Stellung im Verhältnis zu den Nachbarbäumen, z.B. vorherrschend, mitherrschend.

#### Bestand

Ein Kollektiv von in gegenseitiger Wechselwirkung stehenden Baumen von ausreichender Einheitlichkeit nach Artenzusammensetzung, Entwicklungsstand, Alter und Struktur – um es von anderen Beständen zu unterscheiden – und von ausreichender Ausdehnung, um ein typisches Waldinnenklima zu entwickeln. Der Bestand ist in der Forsteinrichtung die kleinste Einheit für Planung und Durchführung forstlicher Maßnahmen (Mindestfläche 0,5–1 ha).

**ausscheidender B.:** Teil des Bestandes, der bei einer Durchforstung bzw. Zielstärkennutzung entnommen wird oder der natürlich abstirbt.

**verbleibender B.:** der nach dem Hiebseingriff verbleibende Teil des Bestandes.

#### Bestandespflege

Die Bestandespflege umfasst die waldbaulichen Maßnahmen Läuterung, Durchforstung, Astung und Düngung. Diese fordern nach Abschluss der Bestandesbegründung bzw.-verjüngung die Entwicklung des Bestandes auf ein festgelegtes Ziel (z. B. Wertholzproduktion) hin.

#### Bestockung

Allgemeine Bezeichnung für den Baumbestand einer Fläche und waldbaulich die Grundfläche der Bäume einer Bestandesfläche (vgl. Bestockungsgrad).

#### Biodiversität

Vielfalt des Lebens auf allen Ebenen, d. h. der Moleküle, Gene, Populationen, Gemeinschaften, Ökosysteme und Landschaften.

$\alpha$ -Diversität=diskrete Artenzahl innerhalb einer Lebensgemeinschaft

### Biotop

Lebensraum einer Lebensgemeinschaft (Biozonose) von bestimmter Mindestgröße und einheitlicher, gegenüber seiner Umgebung abgrenzbarer Beschaffenheit, z. B. Buchenwald, Moor. Der Begriff kann sich auch auf kleinere besiedelte Raumeinheiten beziehen, sogenannte **Mikrohabitate** (Kleinlebensräume), z. B. Totholz, Stammhöhle, Pilzfruchtkörper.

### Bonitierung

Die forstliche Bonitierung ist die Einschätzung und Kennzeichnung der Produktivität bzw. Leistungsfähigkeit (Volumenertrag) eines Bestandes mithilfe von verschiedenen Bestandesmerkmalen (meist durch Alter und Höhe) oder indirekt über wachstumsbeeinflussende Standortsfaktoren. Die **Ertragsklasse** (angegeben in römischen Ziffern, wobei I die höchste Leistung bedeutet) stuft als **relative** Höhenbonität die Leistung auf dem gegebenen Standort als sehr gut bis schlecht ein. Die **absolute** Höhenbonität gibt an, welche Bestandeshöhe (Oberhöhe oder Mittelhöhe) ein Bestand in einem bestimmten Alter (meist 100 Jahre) erreicht.

### Brusthöhendurchmesser

In der forstlichen Praxis wird der **Durchmesser** eines stehenden Baumes in 1,3 m Höhe gemessen und als Brusthöhendurchmesser (BHD, d1,3) bezeichnet.

### Derbholz

Der oberirdische Holzkörper (Stamm oder Ast) eines Baumes, dessen Durchmesser mit Rinde am dünneren Ende über 7 cm beträgt. Der Derbholzvorrat eines Baumes oder eines Bestandes wird angegeben in **Vorratsfestmeter** mit Rinde pro Hektar (Vfm m. R. ha<sup>-1</sup>) oder in Kubikmeter pro Hektar (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

### Dichte

Anzahl von Individuen einer Population oder Gesellschaft bezogen auf eine Flächeneinheit (z. B. pro Hektar = ha<sup>-1</sup>).

### Durchforstung

Hiebseingriff zur Bestandespflege im Stangen- und Baumholz. Hierbei steht im Gegensatz zur Läuterung die Forderung ausgewählter Bäume, die dem Wirtschaftsziel entsprechen (Zielbäume), im Vordergrund (positive Auslese). Die Konkurrenzsituation des Zielbaums wird verbessert durch die Entfernung bedrängender Nachbarbäume mit im Vergleich zum Zielbaum schlechterer Qualität (Standraumerweiterung), wodurch sich die Qualität des Bestandes insgesamt verbessert. Durchforstungen reduzieren die Baumzahl früher und starker als bei ungestörter natürlicher Dynamik.

### Durchmesserverteilung

Aus der Verteilung der Anzahl der Bäume auf Durchmesserklassen (Klassengröße oft 4 cm) lassen sich Rückschlüsse auf die natürliche Entwicklung oder die waldbauliche Behandlung des Bestandes ziehen.

### Edellaubbaum

Baumart mit meist wertvollem Hartholz mit ausgeprägter Befähigung zum Stockausschlag (Ahorn, Esche, Ulme, Linde, Wildkirsche, Elsbeere, u.a.).

### Eveness

Maß für die Gleichverteilung der Arten einer Lebensgemeinschaft.

### Feldkapazität, nutzbare

Unter Feldkapazität versteht man die Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden gegen die Schwerkraft nach 2 bis 3 Tagen noch halten kann. Die Feldkapazität hat eine hohe Bedeutung bei praxisorientierten Fragestellungen der forstlichen Standortskartierung, z. B. bei Fragen zur Wasserversorgung der Pflanzen, der Pflanzenverfügbarkeit von wasserlöslichen Nährstoffen sowie der Auswaschung wasserlöslicher Stoffe.

### Flora

Die Gesamtheit der Pflanzenarten eines Lebensraumes oder einer Region im Gegensatz zur Vegetation, der Gesamtheit der Pflanzengesellschaften

### Forsteinrichtung

Die mittelfristige, im Abstand von etwa 10 Jahren erstellte forstliche Planung und Vollzugsanalyse für einen Forstbetrieb. Die Ergebnisse der Zustandserfassung und Planung werden als Karten, Tabellen und Texte in einem Forsteinrichtungswerk (Betriebswerk) zusammengefasst.

### Fruktifikation

Fruchtbildung von der Bestäubung bis zur Samenreife.

### Grundfläche

Die Fläche des Stammquerschnittes in 1,3 m Höhe (Brusthöhe), auch als Kreisfläche bezeichnet. Die Bestandesgrundfläche ist die Summe der Grundflächen der Einzelbäume eines Bestandes je ha.

### Gruppe

Annähernd runde Kleinfläche mit einem Durchmesser von der halben bis zu einer ganzen Baumlänge des umgebenden Bestandes (> 15–30 m bzw. 0,04–0,1 ha).

### Habitat

Autökologischer Begriff für den Lebensraum (Wohnort, Standort) einer Art (vgl. Biotop).

### HD-Wert

Quotient von Baumhöhe [cm] und BHD [cm]

### Herkunft

s. Provenienz.

### Horst

Annähernd runde Kleinfläche mit einem Durchmesser von mehr als einer Baumlänge bis zu zwei Baumängen des umgebenden Bestandes (> 30–60 m, bzw. 0,11–0,5 ha).

### Jungwuchs

Natürliche Altersstufe einer Naturverjüngung oder Kultur (Saat, Pflanzung) von der Begründung bis zum Erreichen des Bestandesschlusses (etwa 2 m Höhe).

### Jungwuchspflege

Waldbauliche Maßnahmen in der Altersstufe des Jungwuchses zur Erreichung des Verjüngungsziels, v. a. Mischungsregulierung, Beseitigung von Konkurrenzvegetation.

### Klimatische Wasserbilanz

Die **klimatische Wasserbilanz** ist die Differenz zwischen der Niederschlagsmenge und der potenziellen Verdunstung (auch potenzielle Evapotranspiration genannt) in einem bestimmten Zeitraum und Gebiet. Sie gibt an, ob in einer Region Wasserüberschuss (positiv) oder Wassermangel (negativ) herrscht. Ein positiver Wert bedeutet, dass mehr Wasser verfügbar ist, als durch Verdunstung verloren geht, während ein negativer Wert auf eine Wasserknappheit hinweist. Die klimatische Wasserbilanz ist ein wichtiger Indikator für die Wasserversorgung von Böden, Pflanzen und Ökosystemen.

### Krone

Benadelter bzw. belaubter Teil des Baumes zwischen dem Kronenansatz (erster grüner Ast, ohne Berücksichtigung der Wasserreiser) und dem Baumgipfel.

### Kronenprozent

Verhältnis zwischen Kronenlänge und Baumlänge. Das Kronenprozent ist ein Weiser für die bisherige Bestandesbehandlung, den Pflegezustand und die Bestandessicherheit gegen Schnee- und Sturmgefährdung.

### Kronenschluss

Der Kronenschlussgrad als Anteil der Überschildung des Bodens durch die Baumkronen dient als Maß für die Bestandesdichte. Er ist ein wichtiger Weiser für waldbauliche Maßnahmen und ökologische Zustände. Er wird aus Luftbildern in Prozent oder allgemein bei der Bestandesbeschreibung terrestrisch in Stufen (gedrängt bis räumig) okular geschätzt.

### Kyrill

Orkan in weiten Teilen Europas am 18. und 19. Januar 2007, der in Böen Windgeschwindigkeiten bis zu 225 km/h erreichte.

### Läuterung

Hiebseingriff im Jungbestand zur Erhöhung der Wertleistung des Bestandes durch Aushieb von Bäumen, die deutlich schlechter und/oder konkurrenzkräftiger sind als die Nachbarbäume (negative Auslese), in Mischbeständen auch zur Regulierung der Baumartenanteile, selten auch zur reinen Dichterduzierung.

### Lichtbaumart

Baumarten, die zum Gedeihen viel Sonnenlicht benötigen. Sie besitzen ein rasches Wachstum in der Jugend, das aber mit zunehmendem Alter deutlich nachlässt (Bsp.: Eiche, Kiefer, Lärche, Birke).

### Lichtsättigung

Bei der Photosynthese der Pflanzen die Lichtintensität, oberhalb derer die Aufnahme von Kohlendioxid und damit die Nettophotosynthese nicht mehr zunehmen.

### Loch

Längerfristige Unterbrechung des Kronendaches bzw. Bestandesschlusses, die sich im Laufe der Bestandesentwicklung i.d.R. nicht mehr schließt.

### Lücke

Kurzfristige Unterbrechung des Kronendaches bzw. Bestandesschlusses, die sich im Laufe der Bestandesentwicklung wieder schließt.

### Mast

Die großen Früchte der Waldbäume, vor allem von Buche und Eiche, werden als Mast bezeichnet, Jahre starker Fruktifikation als Mastjahre. Der Begriff wird auch allgemein für die Fruktifikation von Waldbäumen verwendet.

### Mischbestand

Ein Bestand aus mindestens zwei Baumarten, die besonders im Zusammenwirken die Struktur und die ökologischen Verhältnisse des Bestandes wesentlich beeinflussen (vgl. Reinbestand).

### Mischungsanteil

Prozentanteil einer Mischbaumart an der Gesamtfläche einer Bestandesschicht. Der Mischungsanteil kann bei der Forsteinrichtung im Landeswald durch Schätzung des jeweiligen Deckungsgrades der Baumarten ermittelt werden. Bei der Forsteinrichtung in Betreuungswälder wird der Mischungsanteil der einzelnen Baumarten i. d. R. über die Berechnung ihrer Anteilflächen bestimmt. Hierzu werden die durch Vollkluppung, repräsentative Teilkuppung (Probekreise) oder Winkelzählproben ermittelten Grundflächen der Baumarten in Relation zu ihren entsprechenden Ertragstafelwerten gesetzt. Die so für die Baumarten ermittelten Werte werden aufsummiert und abschließend der Anteil der Baumarten an dieser Summe berechnet.

### Mischungsform

Verteilung der Mischbaumarten in einem Bestand.

Stammweise:	Einzelstamm-Mischung
Trupp:	Fläche bis 10 m Durchmesser
Gruppe:	Fläche von 10 - 20 m Durchmesser
Horst:	Fläche von 20 - 40 m Durchmesser
Flächenmischung:	Fläche über 40 m Durchmesser
Reihenmischung:	Reihen mit unterschiedlichen Baumarten

### Naturverjüngung

Reproduktion eines Bestandes durch eigene Samen oder Sameneintrag aus Nachbarbeständen (Selbstansamung), seltener auch durch vegetative Vermehrung (Stockausschlag, Wurzelbrut). Für die forstlich genutzten Baumarten wurden entsprechend ihrer Lichtbedürftigkeit unterschiedliche Verfahren zur Einleitung der natürlichen Verjüngung entwickelt, u. a. Schirmschlag, Femelschlag, Saumschlag. Heute entwickelt sich Naturverjüngung häufig ohne besondere fordernde Maßnahmen im Rahmen der Zielstärkennutzung.

### Nische

Die **ökologische N.** ist ein funktioneller Begriff für die ökologische Rolle, die eine Art in einem Ökosystem einnimmt. Mit ihr werden die biotischen, abiotischen und evolutionären Faktoren in einem Ökosystem beschrieben, die das Überleben und das Wachstum einer Art bestimmen. Bei der ökologischen Nische wird unterschieden zwischen der **fundamentalen N.**, die alle Orte umfasst, die für die Art aufgrund der ökologischen Faktoren (u. a. Raum, Temperatur, Nährstoffe) physiologisch geeignet ist, und der **realisierten N.**, der unter dem Einfluss biotischer Interaktionen (u. a. Konkurrenz, Pflanzenfresser) begrenzter Lebensraum der Art.

### Oberhöhe

Die Oberhöhe ist die durchschnittliche Höhe der Bäume der oberen Bestandesschicht (z. B. der 100 höchsten Bäume), die im Vergleich zur **Mittelhöhe** (durchschnittliche Höhe aller Bäume eines Bestandes) von Durchforstungen weniger beeinflusst wird und daher zur Bonitierung geeigneter ist.

### Ökosystem

Beziehungsgefüge der Lebewesen untereinander (**Biozönose** = Lebensgemeinschaft) und mit ihrem Lebensraum (**Biotop**).

## Phänologie

Das aus dem Griechischen stammende Wort Phänologie steht für die Lehre von den Erscheinungen. Sie befasst sich mit Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Pflanzen und Tiere, die unter dem Einfluss von Klima und Witterung sowie anderen abiotischen und biotischen Faktoren im Jahresablauf periodisch wiederkehren, z. B. mit der Blattentfaltung oder Blütenbildung im Verhältnis zur Temperatur oder zur Tageslänge.

## Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)

Der auch als **Licht** bezeichnete Bereich im Spektrum der Sonnenstrahlung, der von photosynthetisch aktiven Lebewesen genutzt werden kann. Mit Wellenlängen zwischen 400 und 700 nm deckt sich dieser Bereich weitgehend mit der für den Menschen sichtbaren Strahlung (380–780 nm), dem Licht.

## Pionier

Pflanzenart, die zeitnah nach einer Störung vegetationsfreie Flächen besiedelt, v. a. nach Freilegung des Mineralbodens, und in späteren Sukzessionsphasen durch andere Arten abgelöst wird. Zu den **Pionierbaumarten** zählen Birke, Aspe, Weide und Vogelbeere.

## Provenienz

Provenienz ist die Bezeichnung für eine autochthone Population von Waldbäumen mit genetisch festgelegten Eigenschaften, die an ihrem Wuchsort heimisch ist; bei einer **Herkunft** handelt es sich hingegen um eine beliebige (auch allochthone) Population (oder deren Anbauort).

## Reinbestand

Bestand aus einer Baumart, d. h., die Baumart hat an der Bestandesgrundfläche mindestens einen Anteil von 80–90 %. Geringe Anteile eingemischter Baumarten, die keinen wesentlichen ökologischen Einfluss ausüben, verändern nicht den Charakter des Reinbestandes (vgl. Mischbestand).

## Resilienz

Im Zusammenhang mit der Stabilität von Ökosystemen bezeichnet der Begriff die Fähigkeit eines Ökosystems, nach einer Störung in den Ausgangszustand zurückzukehren (oder einen anderen stabilen Zustand zu erreichen). Maßeinheit ist die Geschwindigkeit (Dauer) des Zurückschwingens (= Elastizität).

## Resistenz

Widerstandsfähigkeit von Organismen und Ökosystemen gegen Störungen (abrupte Einwirkung kurzer Dauer, z. B. Sturm) oder Stressfaktoren (lang anhaltende Einwirkung, z. B. Schaderreger, extreme Umwelteinflüsse).

## Schattbaumart

Baumarten, die vor allem in der Jugend viel Schatten ertragen und dabei wachsen können. Sie haben ein langsames, über lange Zeit anhaltendes Höhenwachstum. Bsp.: Buche, Weißtanne, Eibe. Sie nehmen oft waldbauliche Schlüsselstellungen ein, da mit ihnen die Bestandesentwicklung durch die Beeinflussung der Bestandesbelichtung gesteuert werden kann.

## Schattentoleranz

Der Grenzwert der Lichtverfügbarkeit, bei dem eine Art noch lebensfähig ist, definiert die Schattentoleranz (Schattenerträgnis) der Art.

## Schirm

Das Kronendach von Bäumen, das u. a. dem Schutz von Verjüngungspflanzen (z. B. gegen Spätfrost) dient.

## Schlagabraum

Die bei der Holzernte nicht genutzten Teile der Bäume (v. a. Kronenreste), die auf der Schlagfläche (Fläche, auf der die Holzfällung stattgefunden hat) verbleiben oder bei der Flächenvorbereitung für eine Pflanzung bzw. Saat teilweise oder vollständig entfernt werden.

## Schlankheitsgrad

Der Schlankheitsgrad, auch h/d-Verhältnis oder h/d-Wert genannt, ist der Quotient aus Baumhöhe (h) und Brusthöhendurchmesser (BHD = d<sub>1,3</sub>); der reziproke Wert ist die **Abholzigkeit**, die Durchmesserabnahme je lfd. Meter Stammlänge. Der Stamm ist vollholzig, wenn die Durchmesserabnahme je lfd. Meter Stammlänge weniger als 1 cm, und abholzig, wenn sie mehr als 1 cm beträgt. Der Schlankheitsgrad ist ein Weiser für die Vitalität und Stabilität von Bäumen und Beständen. Er ist vor allem von der sozialen Stellung des Baumes und von seinem Wuchsraum abhängig.

### Schlussgrad

Der Schlussgrad (Bestandesschluss, Kronenschluss) gibt den Grad der Überschirmung des Bodens durch die Baumkronen eines Bestandes an (z. B.  $0,7 = 70\%$  des Bodens sind von Kronen überschirmt).

### Shannon-Weaver-Index

Diversitätsindex, der Artenzahl und Gleichverteilung der Arten beschreibt.

### Standort

Der forstliche Standort umfasst die Gesamtheit der für das Wachstum der Waldbäume bedeutsamen abiotischen Faktoren, wie sie im Gelände durch Lage, Klima und Boden – nicht durch den Wettbewerb der Bäume untereinander – bedingt sind, und soweit sie für längere Zeit einigermaßen konstant bleiben oder einem regelmäßigen Wechsel (z. B. periodische Überflutung) unterworfen sind.

### standortsgerecht

Eine Baumart ist standortsgerecht (standortsgemäß), wenn sie auf einem Standort ihr natürliches Lebensalter erreicht, ein arteigenes Wachstum zeigt, sich natürlich verjüngen kann und den Standort nicht nachhaltig verschlechtert.

### Standortswasserbilanz

Als Standortswasserbilanz wird das pflanzenverfügbare Wasser in der Vegetationszeit bezeichnet. Sie ist ein Maß für die Wasserversorgung eines forstlichen Standorts (Bodenwasser und Niederschlag) und ergibt sich aus der Summe von Klimatischer Wasserbilanz (KWB) in der Vegetationszeit und der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Die KWB beschreibt ein potenzielles Wasserdefizit bzw. einen Wasserüberschuss aus der Differenz von Niederschlag minus Transpiration und Interzeption. Die KWB wird durch den Bodenwasserspeicher, die nutzbare Feldkapazität (nFK), aufge bessert. Die nFK umfasst die pflanzenverfügbare Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden gegen die Schwerkraft zurückhalten kann. Durch die Verwendung von modellierten Niederschlagswerten für die Zukunft liegen neben der gegenwärtigen Standortswasserbilanz auch planungsrelevante Werte für künftige Verhältnisse vor.

### Störung

Im waldökologischen Sinn ein diskretes Ereignis, das nicht zum normalen Haushalt eines Waldökosystems gehört und Veränderungen in den Ökosystemeigenschaften bewirkt, z. B. Ressourcen freisetzt. Mit dem Begriff des Störungsregimes werden Störungen nach ihrer Art, ihrer Stärke (betroffene Biomasse je Flächeneinheit) sowie ihrem zeitlichen (Häufigkeit, Wiederkehr) und räumlichen Muster (Größe und räumliche Verteilung der betroffenen Fläche) charakterisiert.

### Sukzession

Ablösung einer Organismengemeinschaft durch eine andere, bedingt durch Klima, Boden, Störungen oder Lebenstätigkeit der Organismen selbst; in Waldökosystemen die zeitliche Abfolge von Sukzessionsstadien von der Pioniergesellschaft zur Schlusswaldgesellschaft.

### Trockenstressrisiko

Gefährdung hinsichtlich Vitalitäts- und Leistungseinbußen der Baumarten bei gegebener potenzieller Wasserversorgung in der Vegetationszeit (Standortswasserbilanz).

### Trupp

Wenige zusammenstehende, sich von den umgebenden Bäumen unterscheidende Bäume (bis etwa 5 Bäume im Baumholzalter). Bei der truppweisen Mischung sind Kleinflächen mit einem Durchmesser bis zur halben Baumlänge des umgebenden Bestandes (10–15 m bzw. 0,01–0,03 ha) jeweils mit einer Baumart bestockt.

### Umtriebszeit

Die Zeitspanne von der Begründung eines Bestandes bis zum Abschluss der Endnutzung der Bäume. Im Altersklassenwald ist die Umtriebszeit der mittlere, planmäßige Produktionszeitraum, in dem eine Baumart oder ein Bestandestyp das geplante Produktionsziel (Betriebsziel) erreichen kann.

### Verjüngung

Der **Vorgang** aller natürlichen Ereignisse und waldbaulichen Maßnahmen zur Erzielung und Forderung von Verjüngungspflanzen, auch der künstlich (Pflanzung, Saat) oder natürlich wiederbegründete **Bestand im jugendlichen Alter** und die **Population** der Verjüngungspflanzen von den Sämlingen, Jungpflanzen bis zur Dickung.

### Verjüngungsart

Maßnahmen zur natürlichen oder künstlichen Bestandesbegründung. Bezeichnung der Verjüngungsmaßnahmen:

- Erstaufforstung (durch Saat, Pflanzung oder Steckhölzer nach Wechsel der Nutzungsart in Wald)
- Kultur (durch Saat, Pflanzung oder Steckhölzer auf Freifläche)
- Verjüngung übernehmen (gesicherter Nachwuchs)
- Naturverjüngung einleiten und/oder fortführen (durch Aufschlag, Anflug oder Stockausschlag)
- Verjüngung ergänzen (Pflanzung von Mischbaumarten in eine vorhandene Verjüngung).
- Voranbau (künstliche Vorausverjüngung unter dem Schirm des Vorbestandes)
- Nachanbau (nachträgliche Einbringung von Baumarten in einen mittelalten Bestand - ab Stangenholz - mit dem Ziel eines späteren gemeinsam zu nutzenden und zu verjüngenden Hauptbestandes)
- Unterbau (Begründung eines Unterstandes unter einem älteren Bestand zur Boden- und Stammpflege)

### Volumen

Inhalt eines stehenden Stammes (nur Derbholz), berechnet aus Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser und Formzahl. Das Bestandesvolumen gibt die Holzmasse eines Bestandes für eine Flächeneinheit an (s. Derbholz und Vorrat).

### Voranbau

Einbringung von Baumarten durch Pflanzung oder Saat, die einen Alters- und Wachstumsvorsprung benötigen, in einen Altbestand vor dessen allgemeiner Verjüngung, z. B. Buchen- oder Tannenvoranbau, oft im Rahmen eines Waldumbaus zur Begründung von Mischbeständen.

### Vorrat

Das auf der Bestandesfläche vorhandene Holzvolumen (Holzmasse) (s. Derbholz und Volumen).

### Vorverjüngung

Verjüngungspflanzen, die bereits aus Naturverjüngung vorhanden sind, bevor gezielt die Verjüngung eines Bestandes eingeleitet wurde (s. Voranbau).

### Vorwald

Schirm aus Pionierbaumarten (u. a. Birke, Aspe), der dem Schutz empfindlicher Baumarten gegenüber Gefahren in der Jugend dient (v. a. gegen Frost und Wasserverlust).

### Waldentwicklungstyp (WET)

Waldentwicklungstypen werden entsprechend den Standortverhältnissen festgelegt. Sie definieren die Mischungsanteile in der Verjüngung und im Endbestand, den Produktionszeitraum sowie die Zielsortimente und enthalten teilweise auch Anweisungen zu deren Realisierung. Im Gegensatz zum früher verwendeten Begriff „Betriebszieltyp“ berücksichtigt der WET stärker die natürliche Waldentwicklung.

### Waldschäden (abiotisch, biotisch)

Abiotische Waldschäden: Waldschäden, an denen Lebewesen nicht erkennbar beteiligt sind. Schäden durch Luftverschmutzung, aber auch durch Frost, Blitz, Hagel, Wind oder Sturm, Schnee, Dürre oder auch Hitze und Waldbrand.

Biotische Waldschäden: Waldschäden, an denen Lebewesen erkennbar beteiligt sind. Hierzu gehört der Befall von Bäumen mit Insekten, Pilzen sowie Verbißschäden durch Mäuse und Wild.

### Waldumbau

Umwandlung von nicht standortgemäßen und/oder gefährdeten Beständen in standortgemäße und risikoärmere Bestände, häufig von Reinbeständen in Mischbestände.

### Wassereinzugsgebiet

Ein Gebiet, das durch Wasserscheiden von angrenzenden Einzugsgebieten getrennt ist und durch ein Fließgewässer und seine Zuflüsse (Gewässernetz) entwässert wird. Für ein Wassereinzugsgebiet lassen sich relativ genau Bilanzen des Wasser- und Elementhaushaltes erstellen.

### Wertholz

Möglichst fehlerfreies starkes Stammholz, das für die Herstellung von Schnittholz und Furnieren geeignet ist, wird als **Qualitätsholz** bezeichnet. Von diesem sind die besonders hochwertigen Stämme das Wertholz, für dessen Einstufung neben starken Dimensionen die Astfreiheit entscheidend ist.

### Wuchsgebiet

Großlandschaft, die sich durch ihren geomorphologischen Aufbau (Gesteinscharakter und Geländeausformung), Klima und Landschaftsgeschichte von anderen Großlandschaften deutlich unterscheidet und im Inneren ähnliche Züge aufweist. Die Wuchsgebiete fallen häufig mit den Großlandschaften der Geographen und Pflanzengeographen zusammen. Sie setzen sich in der Regel aus mehreren Wuchsbezirken zusammen.

### Wuchsbezirk

Landschaftsbereich mit einem noch einheitlicheren physiographischen Charakter innerhalb eines Wuchsgebietes. Dominierende Abgrenzungskriterien können Klima, Ausgangssubstrate, Topographie, Vegetation oder Landschaftsgeschichte sein, wobei als Hauptmerkmal für die Abgrenzung vielfach das Großklima im Vordergrund steht.

### Wuchsleistung

Die forstliche Produktivität eines Standortes bzw. Waldbestandes zeigt sich in seiner Wuchsleistung. Die **Gesamtwuchsleistung** eines Bestandes ergibt sich aus der Summe des vorhandenen Holzvorrates und aller Vornutzungen (aus Durchforstungen) von der Bestandesbegründung bis zum Zeitpunkt der Aufnahme.

### Zukunftsbaum, Z-Baum

Der **Zukunftsbaum** (Z-Baum) ist ein ausgewählter Baum, der nach soziologischer Stellung (s. Baumklasse), Vitalität und Qualität zu den Wertträgern eines Bestandes gehört und daher bei der Bestandespflege durch Entnahme von Bedrängern gefordert wird.

### Zielstärke

Bei der Zielstärkennutzung (Zielstammwirtschaft) wird ein Baum eines Bestandes zu dem Zeitpunkt geerntet, an dem es ökonomisch vorteilhafter ist, ihn zu ernten, als ihn zu belassen.

Kriterium ist der erreichte Brusthöhendurchmesser, die Zielstärke, die sich mit Methoden der Investitionsrechnung unter Verwendung von Modellannahmen zur Zuwachs- und Qualitätsentwicklung herleiten lässt.

### Zuwachs

Die durch Wachstum bedingte Zunahme von Durchmesser, Grundfläche, Höhe und Volumen eines Baumes oder eines Bestandes in einer bestimmten Zeit. Der Volumenzuwachs eines Bestandes ist die wichtigste Kenngröße für seine Leistung. Bezogen auf ein Jahr und einen Hektar wird er **laufender Zuwachs** genannt. Der **durchschnittliche jährliche Gesamtzuwachs** (Gesamtwuchsleistung) ergibt sich aus dem Gesamtzuwachs je Hektar bis zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Division durch die Anzahl der Jahre seit Beginn der Zuwachsperiode.

### Zwiesel

Besondere Form des Stammwuchses, bei der sich der Stamm in zwei etwa gleich dimensionierte Triebe aufgabelt.

## 7.2. Abkürzungsverzeichnis der Baumarten

Abkürzung	Baumartengruppe	Baumart	botanische Bezeichnung
Bu Ei	Laubbäume	Buche Eiche	Fagus sylvatica Quercus
Ah Es Kir Hbu Bir	Andere Laubbäume mit hoher Umtriebszeit (Alh)	Ahorn Esche Kirsche Hainbuche Birne	Acer Fraxinus excelsius Prunus avium Carpinus betulus Pyrus pyraeaster
Bi EbEs Erl Pa	Andere Laubbäume mit niedriger Umtriebszeit (Aln)	Birke Eberesche Erle Pappel	Betula Sorbus aucuparia Alnus Populus
Dgl Fi Lä Ki	Nadelbäume	Douglasie Fichte Lärche Kiefer	Pseudotsuga menziesii Picea abies Larix Pinus sylvestris
Sho Fau Has Wdo Weid	Sträucher	Schwarzer Holunder Faulbaum Hasel Weißdorn Weide	Sambucus nigra Rhamnus frangula Corylus avellana Crataegus spec. Salix

## 7.3. Aufnahmeverfahren

### 7.3.1. Metainformationen an den Rasterpunkten

Die Eingabe der Metainformationen erfolgte in der Tabelle „Eingabe Rasterpunkt“. An den Rasterpunkten wurden nachfolgende Informationen erfasst:

- **fl\_id und rp\_id**
- **Aufnahmedatum und aufnehmende Personen**
- **Höhenlage** [m ü. NN]
- **Standortstyp** (Schlüssel der Niedersächsischen Standortkartierung)
- **Lage**

Für die Beschreibung des Oberflächenreliefs wurde auf die Bezeichnungen aus der Forstlichen Standortsaufnahme (ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG, 2016) zurückgegriffen. Im Rahmen der Aufnahmen stehen die in Tabelle 2 aufgelisteten Bezeichnungen zur Verfügung.

**Tabelle 1: Reliefbezeichnungen und deren Beschreibungen**

Bezeichnung	Beschreibung
Ebene	Sehr reliefschwache, ausgedehnte Landoberfläche, Neigung unter 2°
Plateau	Über die Umgebung hinausragende, reliefschwache Landoberfläche (kann schwach geneigt sein, bis 5°)
Tal	Langgestreckte Hohlform mit gleichsinnigem Gefälle mit oder ohne fließendes Gewässer
Talboden	Tiefster, mehr oder weniger ebener Teil eines Tales mit einer gewissen Breitenausdehnung
Talaue	Teil des Talbodens, der bei Hochwasser überflutet wird
Oberhang	Unterteilung eines Hangs nach Hangteilen, Hang = deutlich geneigte Fläche als Flanke einer Geländeerhebung oder als Einschnitt in eine mehr oder weniger ebene Fläche
Mittelhang	
Unterhang	
Kuppe	Rundliche, allseitig abfallende Erhebung

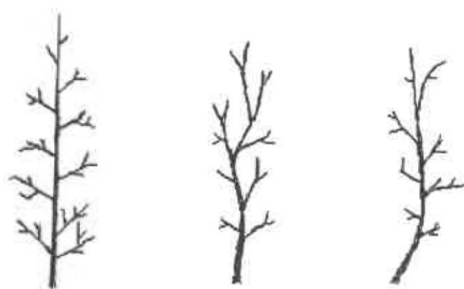
- **Flächenräumung und Bodenbearbeitung** (soweit erkennbar)  
Ja, nein oder nicht erkennbar
- **Pflegemaßnahmen** (soweit erkennbar)  
Freischneiden von verdämmender Vegetation, Entnahme bedrängender Gehölze
- **Wildschutz** (soweit erkennbar)  
Zaun, Freiwuchsgitter, Wuchshülle
- **Pflanzverband** (soweit erkennbar)  
Der ursprüngliche Pflanzverband von Pflanzungen erfolgt durch Nachmessen mehrerer Abstände sowohl zwischen den Reihen als auch in den Reihen. Neben dem Pflanzverband wurde in der Spalte „Pflanzverband\_Baumart“ die Baumart der Pflanzung dokumentiert.
- **Fotos**  
An jedem Rasterpunkt wurden Fotos angefertigt, die nach einem festgelegten Schlüssel (Codierung FI-ID+RP-ID) benannt wurden. Die Aufnahme erfolgte an jedem Rasterpunkt in Richtung Norden.

### 7.3.2. Messungen der Bäume innerhalb der Probekreise

Es wurden alle Baum- und Straucharten ab einer Höhe von 50 cm aufgenommen. Nachfolgend sind die Einzelparameter aufgeführt:

- **fl\_id** und **rp\_id**
- **Baum- bzw. Strauchart**
- **Entstehung** (Naturverjüngung, Pflanzung oder Saat)
- **BHD** [mm] aller Bäume und Sträucher
- **Höhe** [cm] eines Teilkollektives (jeder zweite Baum)
- **Qualität:** Schlüssel nach Gockel (1994), verändert (Bilder siehe nachfolgend)
  - **Stammform:** gerade, knickig, bogig

Die Orientierung erfolgte am „Stammstück“. Bei Buche wurde der Habitus in der Entwicklungsphase berücksichtigt. Stämme mit „Entenfüßen“ (häufig bei Douglasie) wurden als bogig bezeichnet, auch wenn der Stamm ansonsten gerade war.



Gerade

Knickig

Bogig

- **Krone:** wipfelschäftig, Zwieseligkeit, Mehrtriebigkeit

Einzelne Triebe wurden getrennt erfasst, wenn sich die Mehrtrieb- und Zwieseligkeit (Tiefzwiesel) in den unteren 20 cm eines Baumes/Strauches befindet. Mehrtrieb bedeutet mehr als zwei Triebe, zwieselig zwei Triebe. In diesem Fall wurde für jeden Trieb eine Zeile eingerichtet und die Triebe in der Spalte „u\_bnr“ fortlaufend durchnummeriert. Die Baumnummer wurde dem Baum-/Strauch-Individuum zugeordnet.

Bei **Mehrtriebigkeit** wurde der Durchmesser eines Triebes, der dem Durchschnitt aller Triebe entspricht (schätzen), gemessen und bei allen anderen Trieben übernommen. An diesem Trieb wurde die Qualität erfasst sowie die Höhe, wenn der Baum/Strauch zum Höhenmesskollektiv gehört. Die Parameter wurden auf die anderen Triebe übertragen. Schäden wurden am Einzeltrieb aufgenommen.

Bei **Tiefzwieseln** wurden die Durchmesser beider Triebe gemessen, sobald die Ansatzhöhe des Zwiesels zwischen 20 cm und 130 cm liegt. Ansonsten wurde analog verfahren wie bei Mehrtriebigkeit. Grundsätzlich wurde ein Zwiesel immer dann angesprochen, wenn Höhe und Durchmesser des zweiten Stammstückes mindestens 2/3 der Dimensionen des ersten Stammstückes betragen.



Wipfelschäftig



Zwiesel



Mehrtriebzig

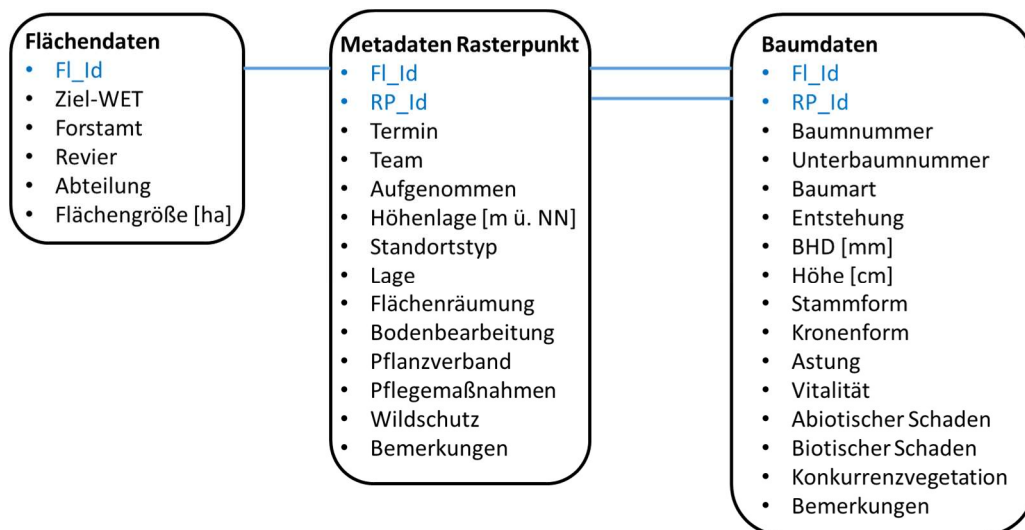
- **Wertastung:** ja oder nein
- **Vitalität, Schäden und Konkurrenzvegetation**
  - **Vitalität:** kein Schaden, tot  
Bei toten Bäumen wurde kein Schaden angesprochen.
  - **Abiotischer Schaden:** Trocknis, Pflanzfehler, Neuaustrieb aus Wurzelhals, mechanischer Schaden, sonstiger Schaden
  - **Biotischer Schaden:** Verbiss, Fegeschaden, Schältschaden, Blattfraß, Insekten, Pilze; Wird Blattfraß festgestellt, wird, wenn dies eindeutig zuzuordnen ist, als weiterer Schaden „Insekten“ erfasst.
  - **Konkurrenzvegetation:** grasige/krautige/verholzte Konkurrenz, Adlerfarn, Brombeere

Die Konkurrenzvegetation wurde nur erfasst, sofern von dieser für die Zielbaumart eine Gefährdung ausging oder ausgehen konnte. Dies war der Fall, wenn Pflanzen mindestens ebenso groß sind wie der Zielbaum und die Blätter über die "Krone" des Zielbaums reichten.

**Tabelle 2: Qualitäts-, Vitalitäts- und Schadschlüssel**

Astung		
ja		
nein		
Stammformen	Kronentypen	
gerade	Wipfelschäftig	
knickig	Zwiesel	
bogig	Mehrfachzwieseligkeit	
	Mehrtriebigkeit	
schadid	Vitalität	
0	kein Schaden	
11	tot	
12	Entnahme	
schadid_abs	abiotischer Schaden	Definition_abs
17	Neuaustrieb aus Wurzelhals	
83	Trocknis	Trockenschäden an der gesamten Pflanze; Diese wirkt insgesamt nicht vital - Beobachtung sollte die
89	Mechanischer Schaden	An der Stammachse und/oder an den Knospen sind Verletzungen nach einer mechanischen
96	Pflanzfehler	Pflanze wurde zu hoch oder zu niedrig gepflanzt, der Pflanzspalt ist nicht vollständig geschlossen
99	Sonstige Schaden	Die konkrete Benennung des Schadens erfolgt in den Bemerkungen.
schadid_bs	biotischer Schaden	Definition_bs
31	Verbiss	Die Pflanze ist stark an den Leittrieben und/oder an mehreren Grünästen auffällig stark verbissen
32	Fegeschaden	
33	Schältschaden	
50	Insekten	Schaden an Stamm und/oder Blättern
60	Pilze	Schaden an Stamm und/oder Blättern
schadid_konk	Konkurrenzvegetation	Definition_konk
71	krautige Konkurrenz	Krautige Pflanzen in direkter Konkurrenz zum Zielbaum. Die Pflanzen sind mindestens ebenso groß wie der Zielbaum und die Blätter reichen über die "Krone" des Zielbaums.
72	grasige Konkurrenz	Gras in direkter Konkurrenz zum Zielbaum. Das Gras ist mindestens ebenso groß wie der Zielbaum und die Blätter reichen über die "Krone" des Zielbaums und die Blätter reichen über die "Krone" des Zielbaums.
73	verholzende Konkurrenz	Verholzende Konkurrenz in direkter Konkurrenz zum Zielbaum. Die Konkurrenzpflanze ist mindestens ebenso groß wie der Zielbaum und die Äste reichen über die "Krone" des Zielbaums.
74	Brombeere	Brombeere in direkter Konkurrenz zum Zielbaum. Die Brombeere ist mindestens ebenso groß wie der Zielbaum und die Äste reichen über die "Krone" des Zielbaums.
75	Adlerfarn	Adlerfarn in direkter Konkurrenz zum Zielbaum. Der Farn ist mindestens ebenso groß wie der Zielbaum und die Farnblätter reichen über die "Krone" des Zielbaums.

### 7.3.3. Tabellenstruktur der Access-Datenbank



**Abbildung 3: Struktur der verwendeten Access-Datenbank mit den Aufnahmeparametern auf Flächen- und Rasterpunktebene und der Untersuchungs-Bäume innerhalb der Probekreise an den Rasterpunkten**