



NW-FVA

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

**Inventur und Weiterentwicklung des WeltWald Arboretum Bad
Grund zur Identifikation klimatoleranter und anpassungsfähiger
eingeführter Baumarten für Niedersachsen (WeltWaldZukunft)**

Datum der Veröffentlichung:

20. Dezember 2024

Autor:innen:

Cornelius Strauss, Dr. Martin Hofmann

Zuwendungsempfänger:

**Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,
Abteilung Waldgenressourcen**

Projektlaufzeit:

01.08.2022 – 31.12.2024

Förderung:

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



GESELLSCHAFTSVERTRAG
Stadt.Land.Zukunft.

Inhalt

Vorbemerkung.....	3
Projektziele/Zusammenfassung	3
1 Einleitung.....	3
2 Grundlagen.....	6
2.1 Lage	6
2.2 Klima – Geologie – Boden.....	6
2.3 Geschichte	7
3 Methodik	9
3.1 Datenaufnahme.....	9
3.2 Datenverarbeitung und Kartenerstellung	9
3.3 Flächengliederung	10
3.4 Herkünfte.....	11
3.5 Gefährdungsstatus der Arten	12
4 Ergebnisse.....	12
4.1 Kartierung.....	12
4.2 Herkünfte.....	14
4.3 Übersicht und Kartenwerk	15
4.3.1 Auszug Kartenwerk.....	17
4.4 Gefährdungsstatus	20
5 Diskussion.....	21
5.1 Wissenschaftliche Schwerpunktsetzung	21
5.2 Herkunftssicherung	22
5.3 Ex-Situ Generhaltung – Gefährdete Arten	23
5.4 Öffentlichkeitsarbeit.....	24
6 Literaturverzeichnis.....	25

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht stellt den Arbeitstand zum 20.12.2024 dar und umfasst im Wesentlichen die im Zuge der Projektbewilligung zugesagten Maßnahmen. Dennoch handelt es sich um einen vorläufigen Abschlussbericht, da sich im Zuge der Bearbeitung Möglichkeiten eröffnet haben, die perspektivische Weiterbehandlung des Arboretums auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse weiter zu konkretisieren. Das Ziel ist eine Verstärkung der dendrologischen und waldökologischen Aspekte bei der Pflege und Ergänzung der „WeltWaldgesellschaften“. Dazu sind noch weitere Abstimmungen mit dem Forstamt Riefensbeek sowie den übrigen Stakeholdern erforderlich, die im ersten Quartal 2025 durchgeführt werden. Weiterhin werden teilflächenbezogene Empfehlungen näher aufgeschlüsselt. Das überarbeitete und erweiterte Abschlussdokument soll 2025 der Öffentlichkeit vorgestellt werden.

Projektziele/Zusammenfassung

Der fortschreitende Klimawandel stellt den Wald und die Forstwirtschaft vor wachsende Herausforderungen. Alternativbaumarten stellen einen Baustein im Rahmen der durchzuführenden Anpassungsmaßnahmen dar. Um die Anbauwürdigkeit dieser Arten beurteilen zu können, sind aufwendige forstliche Anbauversuche notwendig, welche allerdings nur für einen Bruchteil der in Frage kommenden Arten existieren. Zur ersten Orientierung im Hinblick auf Eignung bzw. Standortangepasstheit und Wuchseigenschaften seltener, potentieller Alternativbaumarten können Anbauten in Arboreten dienen. Das Arboretum in Bad Grund wurde 1975 angelegt und besitzt eine große Zahl an fremdländischen Arten. Ziele des aus dem Förderprogramm „Stadt.Land.Zukunft“ des Landes Niedersachsen geförderten Vorhabens „WeltWaldZukunft“ waren die Durchführung einer Inventur des gesamten Baumbestandes im Arboretum mit Kartierung der Kleinflächenstrukturen und Einzelindividuen und die Auswertung vorhandener Daten und Datenbanken. Weiterhin sollten die Chancen und das Potential aufgezeigt werden, welche das Arboretum im Hinblick auf die Suche nach fremdländischen Alternativbaumarten bietet.

1 Einleitung

Der Klimawandel stellt die Wälder in Deutschland vor wachsende Herausforderungen. Steigende Temperaturen und zunehmender Trockenstress gefährden die Widerstandsfähigkeit heimischer Baumarten und machen sie anfälliger für Schädlinge und Krankheiten. Gleichzeitig beeinflussen längere Trockenperioden die Regenerationsfähigkeit und Stabilität der Ökosysteme. Nach den letzten Jahren, die durch Trockenheit, extremer Hitze und Extremwetterereignisse gekennzeichnet waren, herrscht Konsens darüber, dass es den Wäldern in Deutschland und in weiteren Teilen Mitteleuropas nicht gut geht. So zeigt die vierte Bundeswaldinventur, dass auf 19 % des Holzbodens Kalamitäten beobachtet wurden (BMEL, 2024a). Als Ursachen gelten die Dürre der Jahre ab 2018 und die damit verbundene Borkenkäfermassenvermehrung (BMEL, 2024a). Auch die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2023 unterstützen diese Erkenntnisse, wonach der Flächenanteil mit deutlicher Kronenverlichtung insbesondere im Jahr 2019 stark angestiegen ist (BMEL, 2024b). Besonders betroffen von den Extremwetterereignissen ist die Fichte, aber auch die häufigen Arten Kiefer und Buche (BMEL, 2024b; NW-FVA & NMELV, 2024), insbesondere auf Standorten mit geringen Niederschlagssummen und geringer Wasserspeicherkapazität. Und auch wenn das Vegetationsjahr 2023/24 zwar rekordwarm, aber auch rekordnass und die Wasserverfügbarkeit gegeben war, bleibt der Anteil stark geschädigter Bäume auf einem, im Vergleich zum langjährigen Mittel, hohen Niveau (NW-FVA & NMELV, 2024).

Aufgrund der Klimaprognosen ist es sehr wahrscheinlich, dass der Klimawandel auch in Zukunft einen großen Einfluss auf Waldökosysteme haben wird und die Forstwirtschaft vor große Herausforderungen stellt (Seidl et al., 2017). Mögliche Klimaentwicklungen werden derzeit durch die RCP Klimaszenarien

beschrieben (IPCC, 2023). Während die „optimistischen“ Prognosen (SSP2-2.6) von einer Erwärmung der mittleren globalen Oberflächentemperatur bis Ende des Jahrhunderts (2081 – 2100) gegenüber dem vorindustriellen Referenzzeitraum (1850-1900) von etwa 1,8 °C ausgehen, schätzen die „wärmsten“ Szenarien (SSP5-8.5) den Anstieg auf ca. 4,4 °C (IPCC, 2023).

Unter diesen sich rasch verändernden Umweltbedingungen steht die Forstwirtschaft vor der Herausforderung, widerstandsfähige und anpassungsfähige Waldökosysteme zu erhalten bzw. wiederherzustellen, um die Aufrechterhaltung der vielfältigen Ökosystemdienstleistungen, wie der Klimaschutz-, Erholungs- und Naturschutzleistung, sowie der Rohholzproduktion, gewährleisten zu können (Messier et al., 2019). Entsprechende Anpassungskonzepte sind in den meisten europäischen Ländern deutlich weiterentwickelt worden (Forest Europe, 2020). Waldbaukonzepte in Deutschland sehen unter anderem vor, dort wo es möglich und sinnvoll erscheint auf eine natürliche Waldverjüngung zu setzen (z.B. NLF, 2018) und insbesondere einschichtige Reinbestände zu Mischwäldern umzubauen, da Mischbestände auf vielen Standorten als produktiver und resilienter gegenüber biotischen Schäden gelten (Madrigal-González et al., 2020; Pretzsch et al., 2015). Dementsprechend wurde in der vierten Waldinventur im Vergleich zum vorangegangenen Inventurzeitraum ein höherer Laubholzanteil, sowie eine höhere Naturnähe in deutschen Wäldern festgestellt (BMEL, 2024a). Weiterhin ist die Auswahl klima- und standortangepasster Baumarten entscheidend (Bolte et al., 2009). In Deutschland wird auch in Zukunft auf den meisten Flächen auf heimische Baumarten gesetzt, denn trotz der umfangreichen Schäden in jüngster Vergangenheit ist das vorhandene genetische Potential der heimischen Arten sehr groß und kann für zukünftige Anpassungsprozesse genutzt werden (Höltken et al., 2021). Dennoch besteht die Sorge, dass durch die rasante Geschwindigkeit des Klimawandels die Anpassungsfähigkeit heimischer Baumarten vielerorts überschritten wird bzw. ein Warten auf die natürliche Anpassung nicht mit den gesellschaftlichen Anforderungen an den Wald als Holzlieferant vereinbar ist (Köhl et al., 2023). Angesichts dessen steigt das Interesse an fremdländischen Alternativbaumarten weiter an (Avila et al., 2021; Liesebach et al., 2021; Lieven et al., 2022; Vor et al., 2015), in der Hoffnung, dass einige dieser Arten aufgrund ihrer natürlichen Verbreitung besser an Trockenstress angepasst sein könnten.

Der Anbau von fremdländischen Gehölzen ist schon seit längerer Zeit ein kontrovers diskutiertes Thema in der Forstwelt. Dies liegt daran, dass mit der Baumartenwahl nicht nur der Holzertrag der Forstbetriebe über einen langen Zeitraum wesentlich beeinflusst wird, sondern damit auch die Bereitstellung weiterer Ökosystemdienstleistungen und Risiken verbunden sind (Vor et al., 2015). Um die Invasivität und die sogenannte Anbauwürdigkeit einer Baumart präzise bewerten zu können, sind daher lange Versuchsreihen nötig. So sind bis heute mit der Küstentanne (*Abies grandis*), der Roteiche (*Quercus rubra*), der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), der Japanlärche (*Larix kaempferii*) und der Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) nur wenige fremdländische Arten für die Forstwirtschaft in Deutschland von überregionaler Bedeutung (Vor et al., 2015). Die Douglasie ist ein Musterbeispiel für die gelungene Einführung einer fremdländischen Baumart und besitzt die längste Anbaugeschichte in Deutschland (Vgl. Ganghofer, 1884). Für ihre vergleichsweise hohe Trockenstressresistenz und ihren enormen Zuwachs bekannt, ist sie heute die fremdländische Art mit der größten Fläche, sowie die Art mit dem höchsten prozentualen Flächenzuwachs (BMEL, 2024a). Doch trotz dieser Bilanz bleiben gewisse Unsicherheiten. So ist beispielsweise nicht auszuschließen, dass mit zunehmender Anbaudauer und stärkerer Verbreitung der Douglasie heimische Schadinsekten oder Pilze die Baumart stärker nutzen (Möller & Heydeck, 2009) oder neue Schädlinge nach Deutschland gelangen, die auf die Douglasie spezialisiert sind (Vor et al., 2015). Weiterhin könnten die Erwartungen an fremdländische Arten möglicherweise zu hoch gesteckt sein. So gilt beispielsweise die Orient-Buche (*Fagus orientalis*) als mögliche Alternativbaumart, welche die Rotbuche insbesondere auf kritischen Standorten ersetzen könnte

(Mellert & Šeho, 2022). Neuste Untersuchungen legen allerdings nahe, dass die Orientbuche nicht wesentlich trockentoleranter ist und die geringen Unterschiede die Einführung der Art nicht rechtfertigen würde (Kohler et al., 2024). Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass einzelne gebietsfremde Arten die Baumartenpalette erweitern können und ihr Anbau in bemessenem Umfang zum Erhalt einer nachhaltigen Rohholzversorgung und weiterer Ökosystemdienstleistungen beitragen kann, während naturschutzfachliche Interessen ebenfalls berücksichtigt werden.

Faszination und Interesse für fremdländische Baumarten bestehen allerdings schon länger. Bereits zu Zeiten der Römer wurden etwa Arten wie die Esskastanie (*Castanea sativa*) oder die Walnuss (*Juglans regia*) nach Deutschland eingeführt. Diese werden daher als Archäophyten bezeichnet (Lieven et al., 2022). Der forstliche Anbau eingeführter Baumarten begann etwa Mitte des 18. Jahrhunderts, um der allgemeinen Holznot entgegenzuwirken und die Leistungsfähigkeit der Wälder wieder zu erhöhen (Vor et al., 2015). Weniger aus ökonomischen, sondern aus ästhetischen Gründen fanden wenig später, zur Blütezeit des englischen Landschaftsparks in Europa, immer mehr Baumarten ihren Weg in Baumsammlungen, Parks, Botanischen Gärten oder Arboreten (Rudolf, 2023). Insbesondere Arboreten könnten aufgrund ihres Waldcharakters und der hohen Artenvielfalt ein guter Ausgangspunkt sein, um in Zukunft potentielle klimatolerantere und anpassungsfähige fremdländische Baumarten zu identifizieren. Aus der Forstpraxis werden schnelle Entscheidungshilfen und eine Erweiterung der Empfehlung für alternative Baumarten gefordert. Umfassende, zeit- und kostenintensive Anbauversuche, welche nötig wären um belastbare Aussagen über die Anbauwürdigkeit einer Art geben zu können, sind allerdings nur für einen kleinen Teil der Arten vorhanden. Für einige Arten können bislang nur Literaturrecherchen erste Orientierung bieten (Bsp. Avila et al., 2021), für besonders seltene fremdländische Spezies gibt es nicht einmal dies. Mit ebendiesen Arten bepflanzte Flächen könnten, auch wenn sie ohne wissenschaftlichen Anspruch angelegt wurden, als Orientierungshilfe und Grundlage zur Beurteilung der Wuchseigenschaften und Standortangepasstheit der jeweiligen Arten dienen (Lieven et al., 2022).

Das Arboretum in Bad Grund wurde 1975 angelegt und besaß im Gegensatz zu vielen anderen Arboreten in Deutschland schon früh auch eine wissenschaftliche Zielsetzung. Dieser Anspruch ging allerdings in den letzten Jahrzehnten verloren, die Aufnahme von Daten wurde eingestellt und festgelegte Grundsätze gerieten in Vergessenheit. So dient das Arboretum heute vor allem als Besucherattraktion am westlichen Harzrand. Ziel des Projektes war die Durchführung einer Inventur des gesamten Baumbestandes im Arboretum mit Kartierung der Kleinflächenstrukturen und Einzelindividuen, sowie die Auswertung vorhandener Daten und Datenbanken. Weiterhin sollten die Chancen und das Potential aufgezeigt werden, welche das Arboretum im Hinblick auf die Suche nach fremdländischen Alternativbaumarten bietet.

2 Grundlagen

2.1 Lage



Abbildung 1: Umriss und Lage des WeltWald Harz innerhalb Niedersachsens. (Quelle Grenzen: © GeoBasis-DE (BKG, 2024))

Das Arboretum „WeltWald Harz“ liegt am Nord-West-Rand des Harzes nahe der Gemeinde Bad Grund im Landkreis Göttingen. Das ca. 80 Hektar große Gebiet ist nahe der A 7 gelegen und wird nördlich von der B 242 und östlich von Randgebieten Bad Grunds begrenzt. Der „Heuweg“ teilt das Arboretum in einen Nordwest- und einen Südostteil. Der Nordwestteil umfasst den Höhenrücken des Rabentalberges, sowie das Markau- und das Rabental (Hoß, 1986). Der südöstliche Teil wird zum größten Teil vom Königsberg gebildet, welcher mit etwa 454 m NHN (Normalhöhennull) den höchsten Punkt im Arboretum bildet (Google Earth, 2024). Der tiefste Punkt liegt mit etwa 308 m NHN dort, wo die Markau das Gebiet verlässt (Google Earth, 2024). Der „WeltWald“ ist Teil des Forstamts Riefenbeek und gehört zur Revierförsterei Grund. Er wird von Revierleiter Jan-Ole Kropla betreut (NLF, 2024).

2.2 Klima – Geologie – Boden

Im geologischen Sinne gehört das Arboretum vollständig zum Oberharz, d.h. zum nordwestlichen Teil des Mittelgebirges Harz. Das Gebiet liegt in der Clausthaler Kulmfaltenzone, deren Gesteine als Ablagerungen eines sich allmählich abflachenden Meeresbeckens aus der Zeit des Mississippium von vor etwa 320 Mio. Jahren gedeutet werden (Krieger, 2002). Es dominieren die Ausgangsgesteine Grauwacke, Kieselschiefer und Tonschiefer (NIBIS, 2024). Aus diesen Silikatgesteinen haben sich vorwiegend Braunerden oder Pseudogley-Parabraunerden gebildet. Der Standort ist überwiegend frisch bis vorratsfrisch und die Nährstoffversorgung mäßig (NIBIS, 2024). Einzig die Talsole im nördlichen Bereich des Arboretums bildet einen grundnassen, sehr gut mit Nährstoffen versorgten Sonderstandort (NIBIS, 2024).

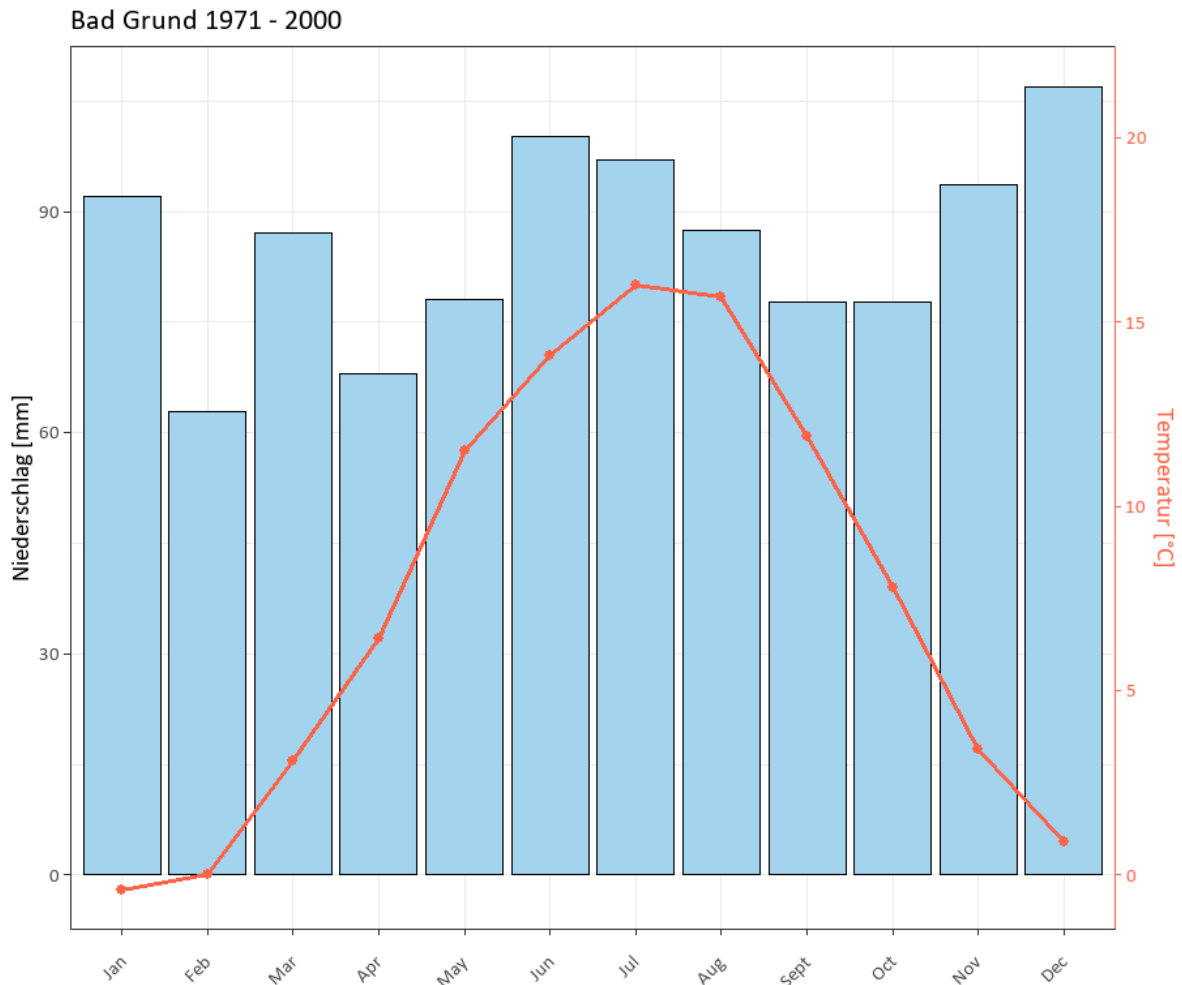


Abbildung 2: Klimadiagramm der Wetterstation Bad Grund (Stations-ID 1873; geogr. Breite /geogr. Länge: 51.795553 / 10.237956; 300 m NHN). langjährige Monatsmittelwerte der Jahre 1971 – 2000.

Aufgrund seiner exponierten Lage nimmt der Harz eine klimatische Sonderstellung ein. Er ist den von Nordwest und Norden ankommenden Winden direkt ausgesetzt, wodurch ein raues, regenreiches Klima verursacht wird. Bad Grund nimmt aufgrund seiner Harzrandlage klimatisch eine Stellung zwischen Harzvorland und innerem Harz ein. Jahresmitteltemperaturen und Mitteltemperatur der Forstlichen Vegetationszeit zeigen deutlich Harzrandcharakter, während die Niederschläge gegenüber dem Harzvorland bereits auffällig erhöht sind. Betrachtet man das langjährige Mittel der Jahre 1971 – 2000, beträgt die jährliche Niederschlagssumme etwa 1030 mm, während die Monate Juni und Dezember mit über 100 mm am regenreichsten sind (DWD, 2024). Die durchschnittliche Temperatur liegt bei etwa 7,6 °C, in der forstlichen Vegetationszeit zwischen den Monaten Mai bis Oktober bei ca. 12,8 °C. Der wärmste Monat ist der Juli mit 16 °C im Durchschnitt, während der Januar mit -0,6 °C am kältesten ist (DWD, 2024). Die Wetterstation Bad Grund (Stations-ID 1873; geogr. Breite /geogr. Länge: 51.795553 / 10.237956) liegt auf 300 m NHN. Da die Wetterstation nicht mehr aktiv betrieben wird, sind keine aktuelleren Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für diesen Standort vorhanden. Die nächste aktuell betriebene Station befindet sich nahe Seesen, hier sind die klimatischen Unterschiede allerdings schon relativ groß.

2.3 Geschichte

Die Idee zur Anlage des Arboretums Bad Grund wurde 1971 vom Landforstmeister Dr. Kiesekamp in Zusammenarbeit mit dem Staatlichen Forstamt Grund ins Leben gerufen. Nachdem durch den später

als Jahrhundert-Orkan bezeichneten Sturm Quimburga im Jahr 1972 Kalamitätsflächen von etwa 20 ha entstanden waren, begannen im Jahre 1975 die ersten großflächigen Anpflanzungen (Hoß, 1986). Anfangs bestand das vornehmliche Ziel in der Anlage des Arboretums darin, für den zunehmenden Erholungsverkehr eine forstbotanische Attraktion am Eingang des Harzes zu schaffen. Mit der Zusammenarbeit der Forstlichen Versuchsanstalt Escherode ab dem Jahre 1982 und der Verwendung herkunftsgesicherten Pflanzgutes wurde die Zielsetzung um die Fragestellung, wie sich fremdländische Gehölze unter den hiesigen Bedingungen entwickeln, erweitert. Weiterhin wurden schon früh folgende Grundsätze zur Anlage und Entwicklung des Arboretums aufgestellt:

- „Das Arboretum dient der Durchführung von Anbauversuchen mit herkunftsgesicherten, einheimischen und fremdländischen Gehölzen in Gesellschaften, wie sie in ihren natürlichen Verbreitungsgebieten vorkommen.
- Es sollen keine Reinbestände mit einzelnen Baumarten, sondern ganze Waldgesellschaften einschließlich Nebenbaumarten und Strauchvegetation aus den verschiedenen Klimaregionen Amerikas, Asiens und Europas angepflanzt werden.
- Von jeder Art sind möglichst eine Mindestzahl und verschiedene Herkünfte aus dem jeweiligen Verbreitungsgebiet zu pflanzen. Einzelbaumpflanzungen sind zu vermeiden.
- Die Anlage des Arboretums hat so zu erfolgen, dass die wissenschaftliche Beobachtung und züchterische Bearbeitung der Baumarten möglich ist.
- Es ist ausschließlich autochthones Saatgut und Pflanzmaterial mit definierter Herkunft zu verwenden, welches durch die Versuchsanstalt beschafft wird. Ausgeschlossen ist die Verwendung von Saatgut aus Arboreten (Gefahr der Hybridisierung). Aus Baumschulen wird nur zugekauft, wenn ein für die Pflanzen gesicherter Herkunftsnachweis vorliegt.
- Ein Höchstmaß an Wirkung für den Fremden- und Erholungsverkehr ist anzustreben. Hierzu ist es erforderlich, dass durch optimale Erschließung mit Schaffung von Durchblicken, Ruhebänken, lockerer Anlage der Bepflanzung, einwandfreie Beschilderung usw. das Arboretum für interessierte Besucher attraktiv gestaltet wird.
- Die Pflanzungen unterliegen der üblichen forstlichen Behandlung, d.h. Jungwuchspflege, Läumterung, Durchforstung bis zum Einschlag.
- Alle Pflanzungen sind in ein langfristig konzipiertes Beobachtungs- und Messungsschema einbezogen. Die Höhe jeder Pflanze wird alle 5 Jahre gemessen. Biotische und abiotische Schäden werden erfasst, ebenso wie die phänologischen Daten, z.B. Austrieb, Blühbeginn und Vegetationsabschluss.“ (Oberbeck, 1989)

Im Jahr 2000 wurde die Infrastruktur des Arboretums noch einmal ausgebaut und die Öffentlichkeitsarbeit verstärkt. Das Arboretum erhielt eine vollständig neue Beschilderung, verbunden mit einem Leitsystem für drei Rundwanderwege (Unbekannt, 2002). Eine kontinuierliche Datenaufnahme und wissenschaftliche Begleitung, wie sie in den Grundsätzen von Oberbeck (1989) festgehalten wurde, hat aufgrund des Kostenaufwands, sowie in Folge von Haushaltseinsparungen nicht stattgefunden. Stattdessen ist der Aspekt des Erholungsverkehrs im Laufe der Zeit deutlich in den Vordergrund gerückt. Da das Arboretum sich aufgrund der abwechslungsreichen Waldbilder zu einem beliebten Ausflugsziel entwickelt hat, wurde etwa das Wegenetz weiter ausgebaut. So erhielt der WeltWald im Frühjahr 2012 den Walderlebnispfad „Wälder Nordamerikas – Heimat der Indianer“. Weiterhin soll im Jahre 2024 der Douglasien-Rundweg eröffnet werden (Niemann, 2024).

3 Methodik

3.1 Datenaufnahme

Für die Erhebung des Ist-Zustandes des Arboretums Bad Grund („WeltWald Harz“) wurde die gesamte etwa 80 Hektar große Fläche kartiert. Dafür wurden die Baumarten bestimmt. Die Datenaufnahme wurde truppweise bzw. einzelstammweise durchgeführt. Die Bestimmung der Arten erfolgte mithilfe von Bestimmungsschlüsseln bzw. –Literatur und der Bestimmungsapplikation „Flora incognita“ (Flora incognita, 2024). Eine neueste wissenschaftliche Untersuchung ermittelte für diese App eine Bestimmungsgenauigkeit von 98,8 % (Rzanny et al., 2024). Die Bestimmungen konnten abschließend mit einer älteren Kartierung des Arboretums, welche vom Anfang der 2000er Jahre stammte, verglichen werden. Die Datenaufnahme erfolgte mittels Tablet und QGIS (QGIS, 2024). Die Datenpunkte wurden in einen Punktlayer eingetragen. Anstelle des gesamten Artnamens wurde ein Kürzel eingetragen, welches sich meist aus den Anfangsbuchstaben des Gattungsnamens und einer Nummer zusammensetzt. Parallel wurden Fotos der Gehölze aufgenommen. Weiterhin wurden allgemeine Informationen, Besonderheiten und Informationen zum Zustand der Teilflächen, sowie die Positionen von Schildern und Bauwerken/Stationen notiert.

3.2 Datenverarbeitung und Kartenerstellung

Die weitere Verarbeitung der Daten erfolgte in QGIS (QGIS, 2024). Mithilfe der Datenpunkte wurden Polygone erstellt. Dazu wurden nahe beieinander liegende Datenpunkte mit derselben Artbezeichnung miteinander verbunden. Die fertigen Polygonlayer wurden abschließend im Feld stichprobenartig auf Ihre Richtigkeit überprüft.

Bei der Erstellung der Polygonlayer war die richtige Auswahl der Snapping-Optionen von großer Wichtigkeit, um invalide Geometrien, Lücken oder Überschneidungen zu vermeiden. Bearbeitungen von Attributtabelle wurden zum größten Teil in R-Studio durchgeführt (RStudio Team, 2024). Dazu wurden die Attributtabelle als .csv-Dateien exportiert, in R importiert und bearbeitet und anschließend durch die join-Funktion wieder mit dem entsprechenden Layer verknüpft. Die so entstandenen Ausgangsdaten dienten dann der Erstellung des Kartenwerks. Die genaue Aufteilung der Fläche in Teilflächen, um das Gebiet in Form von Detailkarten darstellen zu können ist nachfolgend beschrieben (3.3). Für die Erstellung wurde die Atlas-Funktion in QGIS genutzt, welche eine teilautomatisierte Erstellung der Detailkarten ermöglichte. Um detaillierte, aber dennoch übersichtliche Karten zu erhalten, wurde selbe Maßstab mit der Größe 1:900 für alle Detailkarten festgesetzt. Weiterhin war die Symbolisierung, also die Auswahl einer Farbpalette, Labelsymbolisierung, usw. wichtig um übersichtliche und gleichzeitig ansprechende Karten zu erhalten. Das Arbeiten mit der Atlas-Funktion ermöglichte einen iterativen Arbeitsprozess, bei dem während der Kartenerstellung die Symbolisierung, die Ausgangsdaten, etc. parallel angepasst werden konnten. Die erhobenen Daten konnten weiterhin dafür genutzt werden um Flächenanteile einzelner Arten für die jeweiligen Teilflächen zu berechnen. Aus diesen Daten wurden dann etwa entsprechende Diagramme angefertigt, um die häufigsten Arten auf einzelnen Flächen anteilig darzustellen. Weiterhin konnte durch Hinzunahme älterer Daten Hinweise dazu gesammelt werden, welche Arten in den letzten 20 Jahren abgängig waren oder abgestorben sind.

3.3 Flächengliederung

Aufgrund der Größe des Arboretums war es für die Erstellung des Managementplanes und des Kartenwerks zwingend notwendig, die Fläche in Teilflächen zu unterteilen. Die erstmalige und bis dahin bestehende Einteilung des Gebiets in Pflanzbereiche erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich für Landespflege der Universität Hannover, welche die zu berücksichtigenden Faktoren Landschaftsstruktur, Exposition/Klima und Bodenverhältnisse festlegte (Hauberg, 1996). Die Unterteilung und Zu-

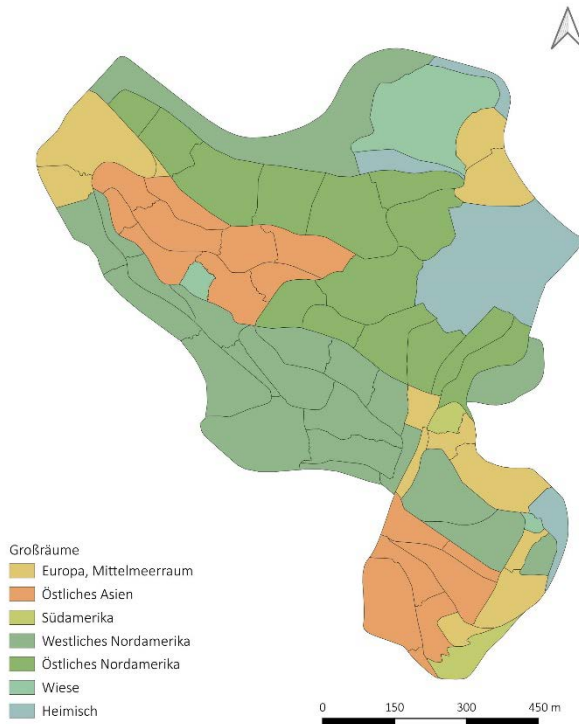


Abbildung 3: Flächeneinteilung des Arboretums. Farbliche Einteilung nach Großraumgebieten und heimischen Gehölz. Weitere Einteilung in Teilflächen.

ordnung dieser Pflanzflächen zu den einzelnen Erdteilen und Klimasektionen erfolgte in Anlehnung an Untersuchungen von Schenk (1939), welche somit eine wichtige Grundlage bei der Planung des Arboretums bildeten (Hauberg, 1996; Hoß, 1986). Im Jahre 1987 wurden diese Flächen nach Schroeder (1976) mit dreistelligen Flächennummern versehen, wobei die erste Ziffer das Großraumgebiet, die zweite Ziffer die Vegetationszone und die dritte Ziffer eine weitere Aufteilung in kleinere regionale Gebiete beschreiben sollte.

Im Arboretum herrscht eine starke Dynamik. Es sterben Arten ab, Freiflächen entstehen, neue Arten werden nachgepflanzt und schlussendlich ändert sich das ganze Bestandesbild. Diese Dynamik hat sich im Zuge des Klimawandels und den damit verbundenen Wetterextremen noch ver-

stärkt und im Laufe der Zeit haben einige der alten Flächennummern ihre inhaltliche Richtigkeit verloren. Daher wurde im Rahmen dieses Projekts eine neue Unterteilung vorgenommen und neue Flächenbezeichnungen vergeben, welche sich dennoch an der alten Unterteilung orientieren.

Die Unterteilung erfolgte, wie schon die Vorherige, in drei Ebenen. Die erste Stufe der Unterteilung entspricht den fünf Großräumen Europa/Mittelmeerraum (E), Östliches Asien (A), Südamerika (S), Westliches Nordamerika (W) und Östliches Nordamerika (O). Die entsprechenden Großräume erhalten einen Großbuchstaben. Die Zuordnung ändert sich im Vergleich zur vorherigen Einteilung nicht, ist aber an einigen Stellen nicht ganz eindeutig (siehe Detailkarten). Anschließend wurden die nicht zusammenhängenden Teilflächen dieser Großräume nummeriert, was der zweiten Ebene, den Großraumabschnitten entspricht. Die Anzahl der Abschnitte variiert zwischen den Großräumen und reicht von 1 (Östliches Nordamerika) bis 5 (Westliches Nordamerika). Abschließend wurde der Großraumabschnitt in weitere Teilflächen unterteilt und ebenfalls durchnummeriert, was der dritten Unterteilungsebene entspricht. Kriterien für die kleinflächige Unterteilung waren vor allem Straßen und Wege, Hauptbaumarten, Unterschiede im Bestandesbild und die verschiedenen Waldgesellschaften. Es wurde sich außerdem an den alten Flächennummern orientiert. Die Unterteilung wurde im Feld vorgenommen und ist subjektiver als bei den vorherigen Ebenen. Falls die entsprechende Teilfläche zu groß war und eine detaillierte Abbildung der Fläche aufgrund des kleinen Maßstabes nicht möglich war, wurde sie ein weiteres Mal unterteilt.

- Beispiel:
1. Ebene: Großraum Östliches Asien (A)
 2. Ebene: Großraumabschnitt 2 (A 2)
 3. Ebene: Teilfläche (A 2.1)

3.4 Herkünfte

Der Begriff Herkunft bezeichnet in diesem Zusammenhang den geografischen Ursprung der Ausgangspopulation. Sie gibt folglich Auskunft darüber, aus welchem natürlichen oder künstlichen Verbreitungsgebiet das Saatgut stammt. Nicht gemeint ist etwa die Angabe einer Baumschule ohne die Nennung des Ursprungsgebietes.

Die Herkunft der einzelnen Baumgruppen und Anpflanzungen wurde während der Kartierung nicht notiert. Entsprechende Kürzel stehen zwar auf Schildern, welche vereinzelt an den Gehölzen hängen, allerdings waren viele der Schilder nicht mehr auffindbar. Um dennoch Rückschlüsse auf die Herkunft ziehen zu können, wurde die Daten der älteren Kartierung genutzt, die Herkunftsangaben enthalten.

Dazu musste der Polygonlayer mit den Altdaten auf die richtige Position gebracht werden. Zuerst wurde der Layer in ein Raster konvertiert. Anschließend konnte mithilfe des Georeferenzierungswerkzeuges in QGIS der Layer entzerrt werden und an den neuen Layer bzw. das Koordinatensystem angepasst werden. Anschließend wurde der Layer wieder in einen Polygonlayer konvertiert.

Nun konnten die neuen Kartierungsdaten mithilfe der Join-attributes-by-nearest Funktion um die Herkunftsdaten des alten Layers erweitert werden. Dieser Funktion findet für jedes Feature im ersten Layer das nächstgelegene Feature im zweiten Layer, basierend auf der räumlichen Nähe. Dazu wurden beide Layer im Vorfeld gefiltert, sodass nur Features derselben Art berücksichtigt wurden. Die maximale Distanz zwischen den zu verknüpfenden Layern wurde auf 30m gesetzt. Dadurch sollten Ungenauigkeiten berücksichtigt werden, die trotz der neuen Positionierung des Altdaten-Layers nicht vollständig beseitigt werden konnten und die bei beiden Kartierungen entstanden waren. Andererseits sollte die Distanz nicht zu groß gewählt werden, um keine Features zu verknüpfen, die zu weit voneinander entfernt liegen. Der Iterative Prozess wurde mithilfe des Python-Plugins in QGIS durchgeführt. Bei der Verknüpfung der Herkünfte wurden teilweise mehrere Herkünfte der Altkartierung einer neu kartierten Baumgruppe zugeordnet, wenn mehrere Altdaten-Features sich in einem 30-m-Umkreis vom neuen Feature befanden. Die maximale Anzahl wurde im Vorfeld auf 3 begrenzt. Dennoch wurde anschließend eine weitere Filterung durchgeführt und es wurden innerhalb der Mehrfachzuweisungen solche Zuordnungen entfernt, deren Distanz vom Zielfeature nicht größer als 5 m plus die Distanz des am nächsten zum Zielfeatures gelegenen Features war.

Um abschließend eine leichtere Beurteilung zur Verfügbarkeit der Herkunftsangaben einer kartierten Baumgruppe zu geben, wurden diese in die Kategorien 1 bis 4 eingeteilt. Bei der ersten Kategorie gibt es eine einzelne Zuweisung zu einer Herkunft und somit ist eine Auskunft zu sehr hoher Wahrscheinlichkeit möglich. Kategorie 2 beschreibt die Klasse, bei denen mehrere Herkünfte zugeordnet wurden und somit eine Angabe nur eingeschränkt möglich ist. Hier könnte auch die Betrachtung der Entfernung der zugeordneten Features eine Rolle spielen. Bei Kategorie 3 ist keine Herkunftsangabe möglich. Dennoch konnte ein Herkunfts-Kürzel zugeordnet werden. Es besteht also noch die Möglichkeit, dass entsprechende Dokumente zu der Herkunft existieren, allerdings noch nicht digitalisiert wurden. In Kategorie 4 sind solche Features enthalten, denen keine Herkunft und kein Kürzel zugeordnet werden konnte, was eine Auskunft zur Herkunft sehr unwahrscheinlich macht.

3.5 Gefährdungsstatus der Arten

Der Verlust von Tier- und Pflanzenarten sowie deren Lebensräumen schreitet weltweit in hohem Maße voran und bedroht die Stabilität und Funktionalität von Ökosystemen. Dies macht das weltweite Artensterben zur vielleicht größten Bedrohung und Herausforderung unserer Zeit. Botanische Gärten und Arboreten können aktiv zum Erhalt der biologischen Vielfalt und (forstlicher) Genressourcen beitragen, indem im Rahmen von Ex-situ-Maßnahmen fremdländische Gehölze kultiviert werden, die in ihrer Existenz bedroht oder gefährdet sind. Um das schon vorhandene Potential in dieser Hinsicht für das Arboretum Bad Grund einschätzen zu können, musste der Gefährdungsstatus der vorhandenen Arten klassifiziert werden. Als Quelle diente hier die Rote Liste gefährdeter Arten der IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) (IUCN, 2024a). Die Artenliste wurde gefiltert, indem alle Regionen, außer Antarctic, Caribbean Islands, Oceania und Sub-Saharan Africa und davon alle Bäume und Sträucher aller Größen ausgewählt wurden. Die daraus erhaltene Liste mit 36 180 Arten und 730 Unterarten und Varietäten wurden dann mit den Kartierungsdaten verknüpft. Die IUCN teilt die Arten in die Gefährdungskategorien ausgestorben (EX), in der Natur ausgestorben (EW), vom Aussterben bedroht (CR), stark gefährdet (EN), gefährdet (VU), potenziell gefährdet (NT), nicht gefährdet (LC) und solche mit unzureichender (DD) oder nicht ausgewerteter Datengrundlage (NE) ein. Weiterhin werden Populationstrends mit den Kategorien abnehmend, zunehmend, stabil und unbekannt, bereitgestellt. Die Rote Liste der IUCN beinhaltet zwar eine sehr große Anzahl an Arten, bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind dennoch einige Pflanzenarten in der Liste nicht vorhanden (IUCN, 2024b). Somit gibt es auch bei der vorliegenden Beurteilung eine Datenlücke.

Im Zuge der Arbeiten wurden ebenfalls die Artnamen der im Arboretum vorhandenen Arten aktualisiert. Der taxonomische Status und die aktuell akzeptierte Bezeichnung wurden auf der Internetseite „Catalogue of Life“ recherchiert (COL, 2024).

4 Ergebnisse

4.1 Kartierung

Das Arboretum Bad Grund ist etwa 80 ha groß. Der größte Teil der Fläche ist mit fremdländischen Arten bepflanzt. Schließt man Kleinflächenstrukturen mit ein, ist ein Anteil von etwa 35 % mit heimischen Gehölzen bestockt. Größere solcher Flächen beschränken sich allerdings auf den nordöstlichen Teil nahe der Bundesstraße, nördliche Bestände nahe des Markautalwegs, sowie Randbereiche. Sukzessions- und Freiflächen machen einen Anteil von etwa 5 % aus. Innerhalb der Fläche, welche mit fremdländischen Gehölzen bepflanzt ist, sind die Anteile je Großräumen recht ungleichmäßig verteilt. Mit weitem Abstand machen Flächen des Westlichen Nordamerika mit ca. 45 % den größten Anteil aus, gefolgt von Östliches Asien und Östliches Nordamerika mit jeweils etwa 20 %. Bestände mit Arten aus Europa/Kleinasien machen etwa 10 % aus und Südamerika ist mit gerade einmal 2 % am wenigsten vertreten. Einem kleinen Teil der Fläche wurde kein Großraum zugeordnet. Dies waren vorwiegend Pflanzungen, bei denen eine Bestimmung bis zur Art oder eine Zuordnung zur Heimatregion nicht möglich war und betraf vor allem Rhododendron-Flächen.

Insgesamt wurden 397 Arten bzw. Unterarten im WeltWald Harz kartiert. Die Flächenanteile der verschiedenen Arten variieren stark, so machen die häufigsten 20 Arten einen Anteil von etwa 40 % der mit fremdländischen Gehölzen bestockten Fläche aus. Es gibt also eine starke Ungleichverteilung zwischen sehr wenigen Arten mit einem sehr hohen Flächenanteil und sehr vielen Arten mit einem sehr niedrigen Anteil. Wenn man die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in die Rechnung mit einbezieht, wären es sogar 55 %. Da der gesamte nördliche Rand allerdings mit Douglasie-Buchen- bzw. Douglasie-Fichten-Mischwald bestockt ist, dieser Bestand aber als reine Douglasienfläche kartiert wurde, würde

dies nicht ganz den vorgefundenen Verhältnissen entsprechen. Lässt man *P. menziesii* außen vor, sind die 10 häufigsten Arten in absteigender Reihenfolge *Sequoiadendron giganteum*, *Abies grandis*, *Abies procera*, *Pinus ponderosa*, *Thuja plicata*, *Tsuga heterophylla*, *Acer rubrum*, *Quercus rubra*, *Picea orientalis* und *Abies nordmanniana subsp. equi-trojani*. Danach folgen *Cryptomeria japonica*, *Fraxinus chinensis*, *Betula ermanii*, *Abies veitchii*, *Juglans cinerea*, *Liriodendron tulipifera* und *Calocedrus decurrens*. Wie sich schon an der Nennung der häufigsten Arten unschwer erkennen lässt, überwiegen bezogen auf die Fläche die Nadelhölzer. Diese machen etwa 65 % aus, Laubhölzer dementsprechend etwa 35 %. Bezogen auf die Anzahl der vorhandenen Arten zeichnet sich allerdings ein anderes Bild. So bestocken Nadelhölzer zwar die größere Fläche, es sind aber häufig auch dieselben Arten. Insgesamt sind im Arboretum 112 NH-Arten (Nadelholz-Arten) vorhanden, d.h. ca. 28 % aller Arten sind Nadelhölzer. Demgegenüber stehen 280 LH-Arten (Laubholz-Arten) (etwa 70 %). Die mit den meisten Arten vertretenen Gattungen sind die Tannen (*Abies*) mit 26 Arten, die Fichten (*Picea*) mit 25 Arten, sowie die Ahorne (*Acer*) und Kiefern (*Pinus*) mit 20 bzw. 19 Arten.

Die Anzahl der Arten pro Großraum unterscheiden sich z.T. erheblich. Der artenreichste Großraum ist Östliches Asien mit 167 Arten, von denen fast 70 % Laubhölzer sind. Danach folgt das Östliche Nordamerika mit 83 Arten, hier ist der Anteil an Laubbaumarten mit fast 80 % sogar noch höher. Dagegen sind von den 45 Arten des Westlichen Nordamerika etwa die Hälfte Nadelbaumarten. Im Arboretum sind etwa 64 Arten aus Europa/Mittelmeerraum vertreten (die heimischen Arten nicht mit eingeschlossen) und auch hier fallen 70 % den Laubhölzern zu. Der Großraum Südamerika bildet mit nur 5 Arten das Schlusslicht.

Die Planfläche des Großraums Europa/Mittelmeerraum beträgt etwa 10 ha, davon sind etwa 4,4 ha mit fremdländischen Gehölzen bestockt. Die Arten mit dem größten Flächenanteil sind *Picea orientalis*, *Abies nordmanniana subsp. equi-trojani*, *Abies nordmanniana*, *Abies alba* und *Castanea sativa*. Größere *Picea orientalis*-Flächen sind in den nord- und südöstlich gelegenen Abschnitten vorhanden. Der hohe Anteil an *Abies*-Arten erklärt sich u.a. durch die Versuchsflächen im westlichen Großraumabschnitt. Von den insgesamt 64 Arten machen die 10 häufigsten Arten etwa 70 % der Fläche des Großraums aus (nicht bezogen auf die Planungsfläche, sondern die Fläche, die auch mit fremdländischen Gehölzen bestockt ist). Die Gattungen *Rosa*, *Abies*, *Lonicera* und *Pinus* sind mit den meisten Arten vertreten.

Die Planfläche des Großraums Westliches Nordamerika beträgt etwa 26 ha, davon sind etwa 18 ha mit fremdländischen Gehölzen bestockt. Die Arten mit dem größten Flächenanteil sind *Pseudotsuga menziesii*, *Sequoiadendron giganteum*, *Abies grandis*, *Abies procera* und *Pinus ponderosa*. Der Douglasienpfad führt, wie der Name schon sagt, durch Bestände mit *Pseudotsuga menziesii* und erstreckt sich über fast den gesamten nördlichen Randbereich. Größere Bestände mit *Sequoiadendron giganteum* sind hingegen im Süden des Westteils des Arboretums gleich am Eingang zu finden, was die hohen Anteile beider Arten erklärt. Von den insgesamt 45 Arten machen die 10 häufigsten Arten etwa 87 % der mit fremdländischen Gehölzen bestockten Fläche des Großraums aus. Die Gattungen *Abies*, *Pinus*, *Picea* und *Acer* sind mit den meisten Arten vertreten.

Die Planfläche des Großraums Östliches Nordamerika beträgt etwa 18 ha, davon sind etwa 8,4 ha mit fremdländischen Gehölzen bestockt. Die Arten mit dem größten Flächenanteil sind *Acer rubrum*, *Quercus rubra*, *Juglans cinerea*, *Liriodendron tulipifera* und *Betula papyrifera*. Während *Acer rubrum*, und *L. tulipifera* sich auf wenige größere Flächen verteilen, kommen *Quercus rubra* und *Juglans cinerea* kleinflächig fast im gesamten Gebiet vor. Von den insgesamt 83 Arten machen die 10 häufigsten Arten etwa 54 % der mit fremdländischen Gehölzen bestockten Fläche des Großraums aus. Die Gattungen *Quercus*, *Acer* und *Betula* sind mit den meisten Arten vertreten.

Die Planfläche des Großraums Östliches Asien beträgt etwa 13 ha, davon sind etwa 8,4 ha mit fremdländischen Gehölzen bestockt. Die Arten mit dem größten Flächenanteil sind *Cryptomeria japonica*, *Fraxinus chinensis subsp. rynchophylla*, *Betula ermanii* und *Abies veitchii*. Im südlichen Teil des Arboretums ist eine größere Fläche mit *C. japonica* zu finden, der *Fraxinus*-Bestand ist mittig des Arboretums gelegen. Von den insgesamt 167 Arten machen die 10 häufigsten Arten etwa 50 % der mit fremdländischen Gehölzen bestockten Fläche des Großraums aus. Die Gattungen *Picea*, *Abies* und *Acer* sind mit den meisten Arten vertreten.

Die Planfläche des Großraums Südamerika beträgt etwa 1 ha, etwa 0,2 ha sind mit fremdländischen Gehölzen bestockt. Die 5 vorhandenen Arten sind *Nothofagus antarctica*, *N. alpina*, *N. obliqua*, *Picea chihuahuana* und *Araucaria araucana*.

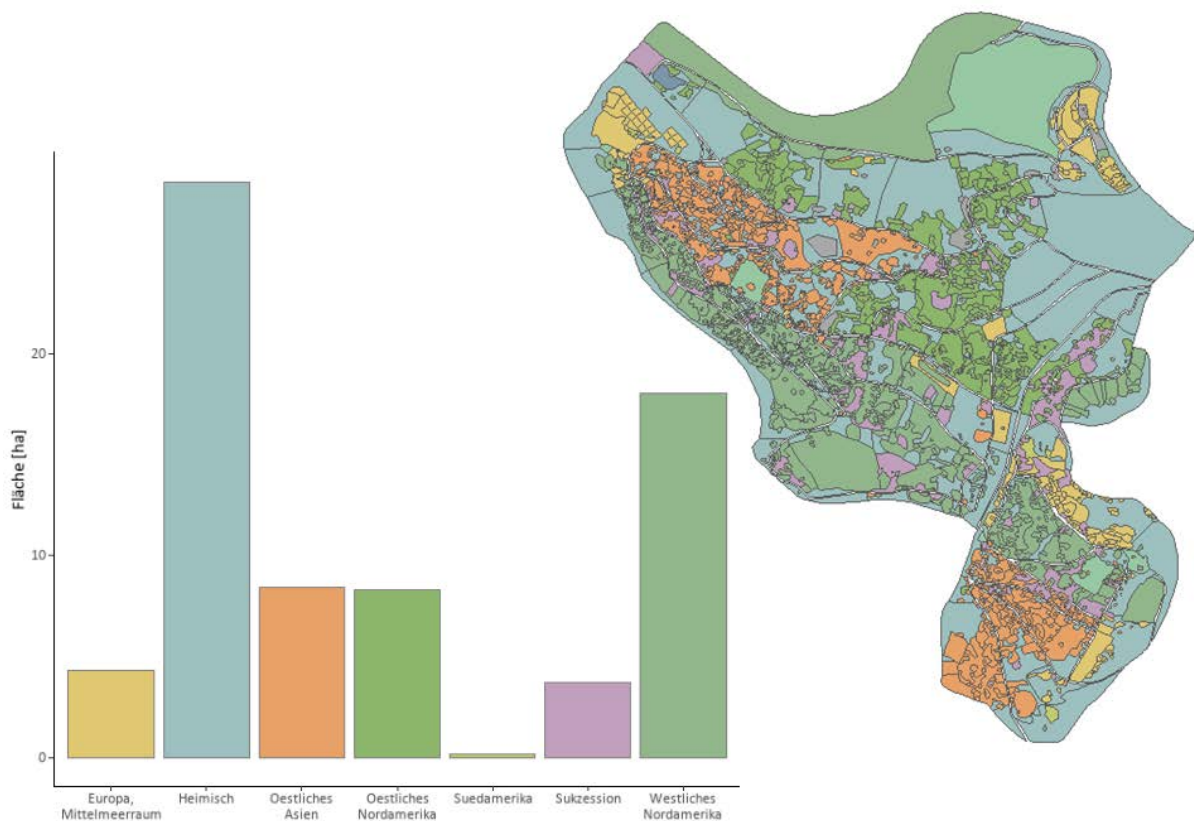


Abbildung 4: Verteilung der Flächengröße nach den Großräumen, sowie Sukzessionsflächen und heimisches Gehölz. Daneben die Karte des Arboretums mit den kartierten Kleinflächen.

4.2 Herkünfte

Die Herkunftsangaben sind in alten Datensätzen abgespeichert und können durch ein erweitertes Artenkürzel mit der früheren Kartierung bzw. entsprechenden Anpflanzungen verknüpft werden (siehe 3.4 Methodik Herkünfte). Im Vorfeld ist anzumerken, dass der beschriebene Prozess Fehler zulässt und eine eindeutige, fehlerfreie Zuweisung aus der Entfernung (durch eine alte Karte, eine Flächen-ID o.ä) nicht möglich ist. Um sicher zu gehen sollte die jeweilige Fläche im Feld besucht werden, um entsprechende Herkunftsschilder aufzusuchen und die hier angegebenen Herkunftsangaben sollten nur unter Vorbehalt betrachtet werden.

Allen 2764 kartierten Kleinflächenstrukturen bzw. Einzelindividuen wurden in eine Kategorie zur Beurteilung der Herkunfts-Verfügbarkeit eingeteilt. Bei etwa 38 % (1049 Kleinflächen) ist eine Angabe zu sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht möglich, da kein erweitertes Artkürzel zugeordnet werden konnte

(Kategorie 4). Bei weiteren 30 % (845 Kleinflächen) ist eine Angabe zu hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls nicht möglich, da zwar ein erweitertes Artkürzel zugeordnet werden konnte, aber keine Verknüpfung zur digitalisierten Herkunftsliste der Pflanzen der Kategorie 1 hergestellt werden konnte. Entsprechende Art gehört folglich nicht der Kategorie 1 an oder sie tut es, es findet sich aber keine Herkunftsangabe in entsprechender Liste. Es besteht theoretisch dennoch die geringe Wahrscheinlichkeit, dass in alten, nicht digitalisierten Dokumenten Herkunftsangaben vorhanden sind. Die restlichen etwa 32 % der Anpflanzungen wurden in Kategorie 1 bzw. 2 einsortiert, eine Herkunftsangabe ist hier also möglich. Bei knapp 26 % (713 Kleinflächen) konnte eine eindeutige Angabe zugeordnet werden (Kat. 1). Bei weiteren knapp 6 % (157 Kleinflächen) ist eine eingeschränkte Angabe möglich, da es mehrere Zuordnungen gibt (Kat. 2).

Von Beginn an war zu erwarten, dass einer hohen Anzahl der Arten keine Herkunft zugewiesen werden konnte, da schon bei der Pflanzung keine Herkunft bekannt war. So gibt es zu allen Sträuchern keine Herkunftsangabe (Pflanzen Kat. 3), wie auch zu manchen Baumarten (Kat. 2). Nur zu Baumarten der Kategorie 1 bestanden entsprechende Informationen. An den Kategorien orientierte sich auch die Art und Weise und der Umfang damaliger Datenaufnahme-Arbeiten.

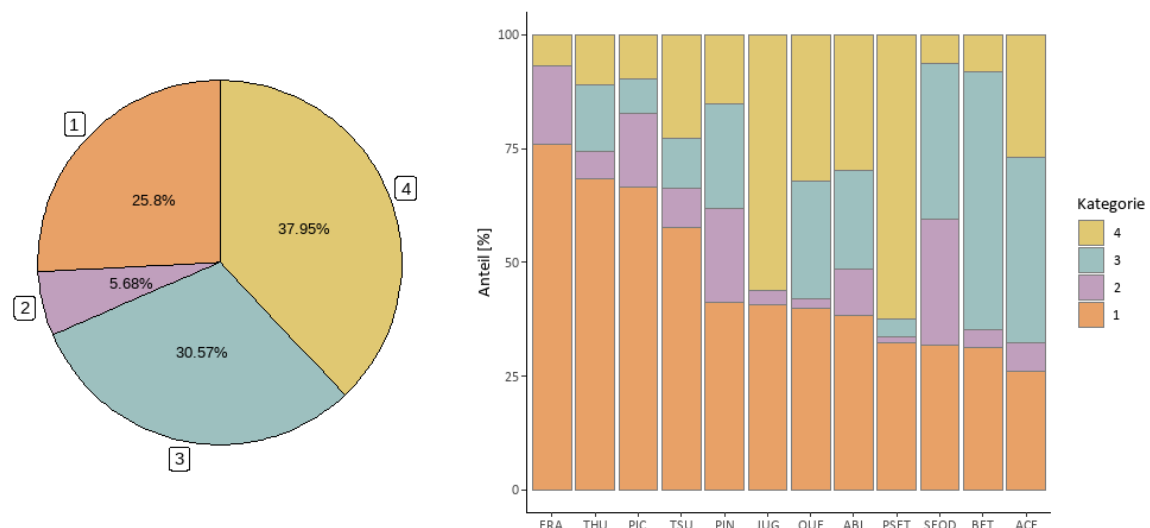


Abbildung 5: Verteilung der Herkunfts-Verfügbarkeit nach den Kategorien 1) Herkunftsangabe möglich, 2) eingeschränkt möglich, 3) unwahrscheinlich, 4) nicht möglich. Das Balkendiagramm zeigt diese Verteilung nach den 10 flächenmäßig häufigsten Gattungen. Kürzel: FRA = Fraxinus, THU = Thuja, PIC = Picea, PIN = Pinus, JUG = Juglans, QUE = Quercus, ABI = Abies, PSET = Pseudotsuga, SEQD = Sequoiadendron, BET = Betula, ACE = Acer.

So fällt die Herkunfts-Verfügbarkeit nach Gattungen recht unterschiedlich aus. Den Arten der häufigsten Gattungen können deutlich öfter Herkunft zugeordnet werden, als der durchschnittliche Wert von 32 % (Anteil aller Kleinflächen Kat. 1 und 2) auf den ersten Blick vermuten lässt. So fallen beispielsweise über 48 % der Kleinflächen der *Abies*-Arten in Kat. 1 oder 2. Bei den *Pinus*-Arten sind es sogar über 60 % und bei den *Picea*-Arten kann bei über 82 % der Flächen eine oder mehrere Herkunft zugeordnet werden.

4.3 Übersicht und Kartenwerk

Die Ergebnisse der Kartierung bestehen im Wesentlichen aus den innerhalb des Programms QGIS aufbereiteten Daten und einem Kartenwerk mit über 60 Detailkarten in DIN-A4-Größe. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und aufgrund des Umfangs des Kartenwerks (etwa 160 Seiten) befindet sich dieses

in einem separaten Dokument. Die Art der Aufbereitung der digitalen Daten soll eine schnelle Aktualisierung des Kartenwerks und beigefügter Informationen ermöglichen, falls Änderungen in den Ausgangsdaten vorgenommen werden.

Das QGIS-Projekt „WeltWald“ dient der Veranschaulichung und der Bearbeitung der erhobenen Daten. Mithilfe des Projekts „Kartenerstellung“ lassen sich die auch im Kartenwerk vorhandenen Detail-, Regionen-, Großraum- und Übersichtskarten reproduzieren und bei Änderungen in den Ausgangsdaten aktualisieren. Dazu kann, je nach gewünschtem Kartentyp, die jeweilige Gruppierung im Layerpanel angewählt (zusammen mit Wege- und Hintergrundlayern) und im Layoutmanager das passende Drucklayout ausgewählt werden. Mithilfe der Atlas-Funktion in QGIS werden so die gewünschten Karten automatisiert erstellt und sie können als PDF- oder Bild-Datei exportiert werden. Einen Überblick über vorhandene Dateien und Ordner bietet folgende Tabelle.

Tabelle 1: Überblick über die im GIS-Ordner vorhandenen Dateien.

Datei	Beschreibung
WeltWald.qgz	Kartierung als QGIS-Projekt / Bearbeitung
Kartenerstellung.qgz	QGIS-Projekt für die (teilautomatisierte) Erstellung sämtlicher Karten
Styles-Ordner	Backup-Dateien der Layerstyles (insb. wichtig für die teilautomatisierte Kartenerstellung)
Print-Layouts-Ordner	Backup-Dateien der Print-Layouts (notwendig für die teilautomatisierte Kartenerstellung)
Python-Ordner	Pythoncode (siehe Methodik: Herkünfte)
Data-Ordner:	Sämtliche Daten:
Hintergrundkarten-Ordner	Hintergrundkarten
Allgemeines.gpkg	Altes und neues Wegenetz
alt_Aufnahmen.gpkg	Alte Kartierungsdaten
aufnahmen_neu.gpkg	Neue Kartierungsdaten/Rohdaten
kartenerstellung.gpkg	Für Kartenerstellung genutzte Layer
regionenkarte.gpkg	Sämtliche Polygon-Layer (Großräume, Abschnitte, Teilflächen, Herkünfte, Kartierung: polygone_ges-Layer)

Das vollständige Kartenwerk befindet sich aufgrund des großen Umfangs in einem gesonderten Dokument. Das Arboretum ist unterteilt in die 5 Großraumregionen Westliches Nordamerika, Östliches Nordamerika, Östliches Asien, Südamerika und Europa, Mittelmeerraum. Während Östliches Nordamerika aus nur einem Abschnitt besteht, haben Östliches Asien und Südamerika zwei, Europa/Mittelmeerraum vier und Westliches Nordamerika fünf Großraumabschnitte. Die Abschnitte sind insgesamt in weitere 63 Teilflächen untergliedert. Das Kartenwerk besteht aus Detailkarten der Teilflächen im Maßstab 1:900 (um eine geeignete Darstellung auf DIN A4-Größe zu gewährleisten) und weiteren Regionen- und Übersichtskarten. Um einen genauen Überblick über die Teilflächen zu erhalten, sind neben den Detailkarten eine Liste mit allen auf der Fläche vorkommenden Arten aufgeführt, sowie eine Darstellung der Arten mit dem höchsten Flächenanteil und ein Begleittext. Der Text enthält eine kurze Bestandesbeschreibung und es werden abgestorbene oder abgängige Arten aufgeführt. Außerdem wird eine Empfehlung gegeben, welche Arten auf der Fläche in Zukunft angepflanzt werden könnten. Das Artenverzeichnis am Ende des Dokuments ermöglicht einen schnellen Zugriff auf alle im Kartenwerk genannten Arten. Auch die Karten im Kartenwerk-Dokument sind mit relativen Pfaden verknüpft. Wenn die Daten aktualisiert werden und die mithilfe des oben erwähnten QGIS-Projekts und der Drucklayouts veränderten Karten als Bilder in den vorgesehenen Dateienordner exportiert werden, werden die Karten im Kartenwerk-Dokument ebenfalls aktualisiert.

Weitere Datenblätter und Dateien befinden sich im R-Ordner, welcher ebenfalls im Ergebnis-Ordner zu finden ist. Mithilfe des dort vorhandenen R-Skripts lassen sich die oben genannten, zu den Detailkarten passenden Arttabellen und Plots erstellen und die Teilflächen analysieren. Einen Überblick über wichtige Datenblätter gibt folgende Tabelle.

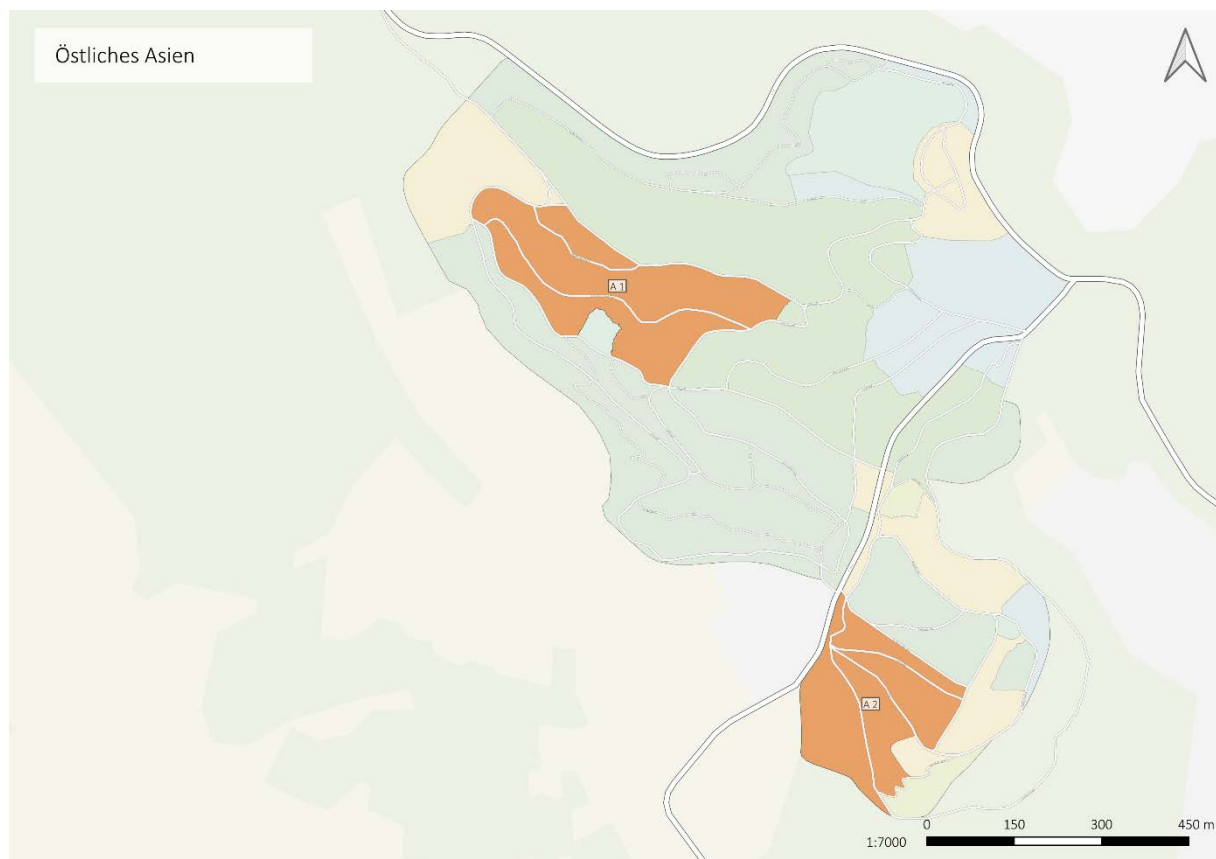
Tabelle 2: Überblick über die Datentabellen im R-Ordner.

Datei	Beschreibung
ARTEN.csv	Gesamte Artenliste mit allen jemals im Arboretum vorhandenen oder geplanten Arten; wenn neue Art gepflanzt wird, kann hier das passende Artkürzel nachgeschlagen oder hinzugefügt werden
B_Herkunft_Kat1.csv	Bekannte Herkünfte der im Arboretum gepflanzten Arten der Kategorie 1 (alte Liste und Einteilung)
artenkorrektur.csv	Überarbeitung und Erneuerung der Artnamen
herkuenfte_duplicates.csv	Herkunftsangaben, die im Rahmen der neuen Kartierung zugeordnet werden konnten (z.T. Mehrfachzuweisungen)
polygone_ges_joined.csv	Attributtabelle des Polygonlayers (neue Kartierung)
tab.csv	Gesamttabelle (neue Kartierung) mit weiteren Informationen
alt_area.csv	Datenblatt alte Kartierung mit Flächenangaben
abgänge.csv	Liste mit allen abgestorbenen oder stark zurückgegangenen Arten

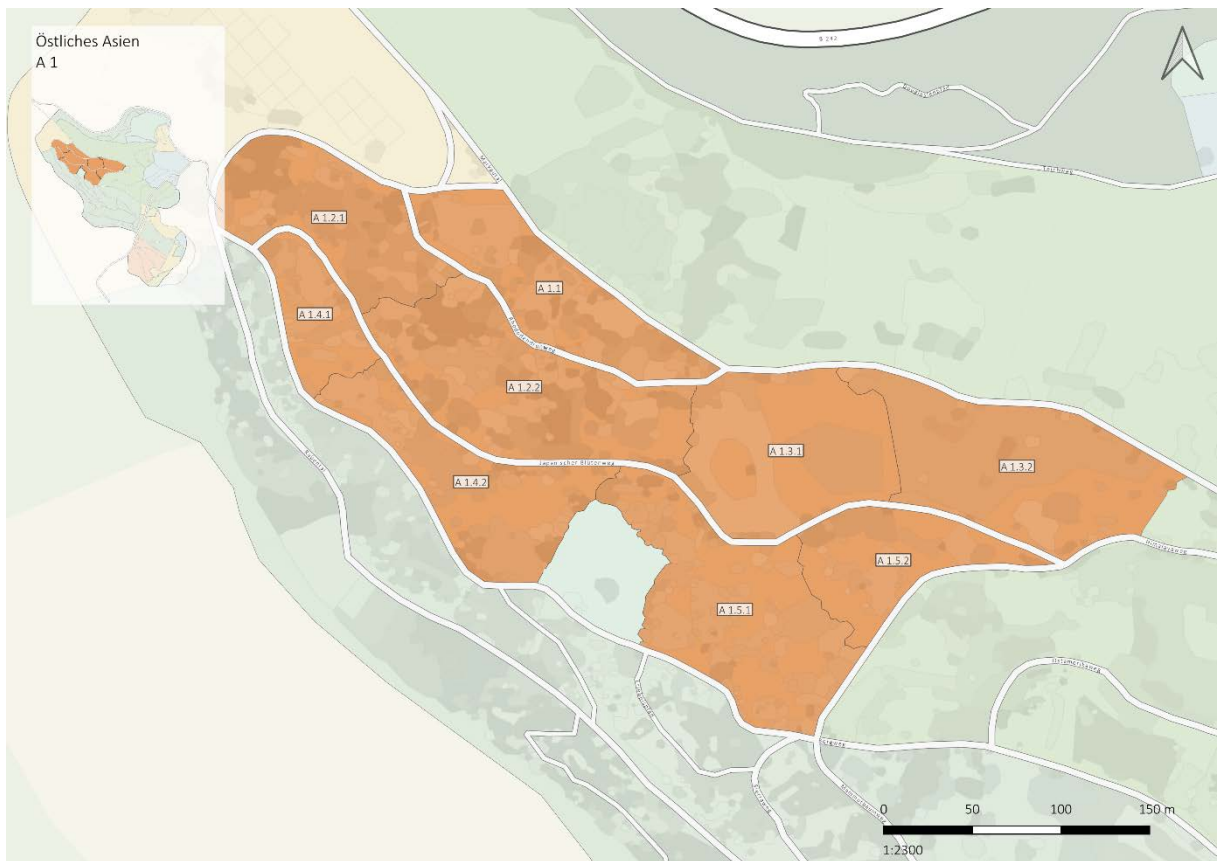
4.3.1 Auszug Kartenwerk

Im Folgenden zur besseren Verständlichkeit und Übersichtlichkeit beispielhaft ein Auszug aus dem Kartenwerk mit Großraum-, Großraumabschnitts- und Detailkarte, sowie Artenliste, Plot der flächenmäßig häufigsten Arten und dem Begleittext. Die Detailkarte ist im Kartenwerk im DIN-A4-Format abgebildet.

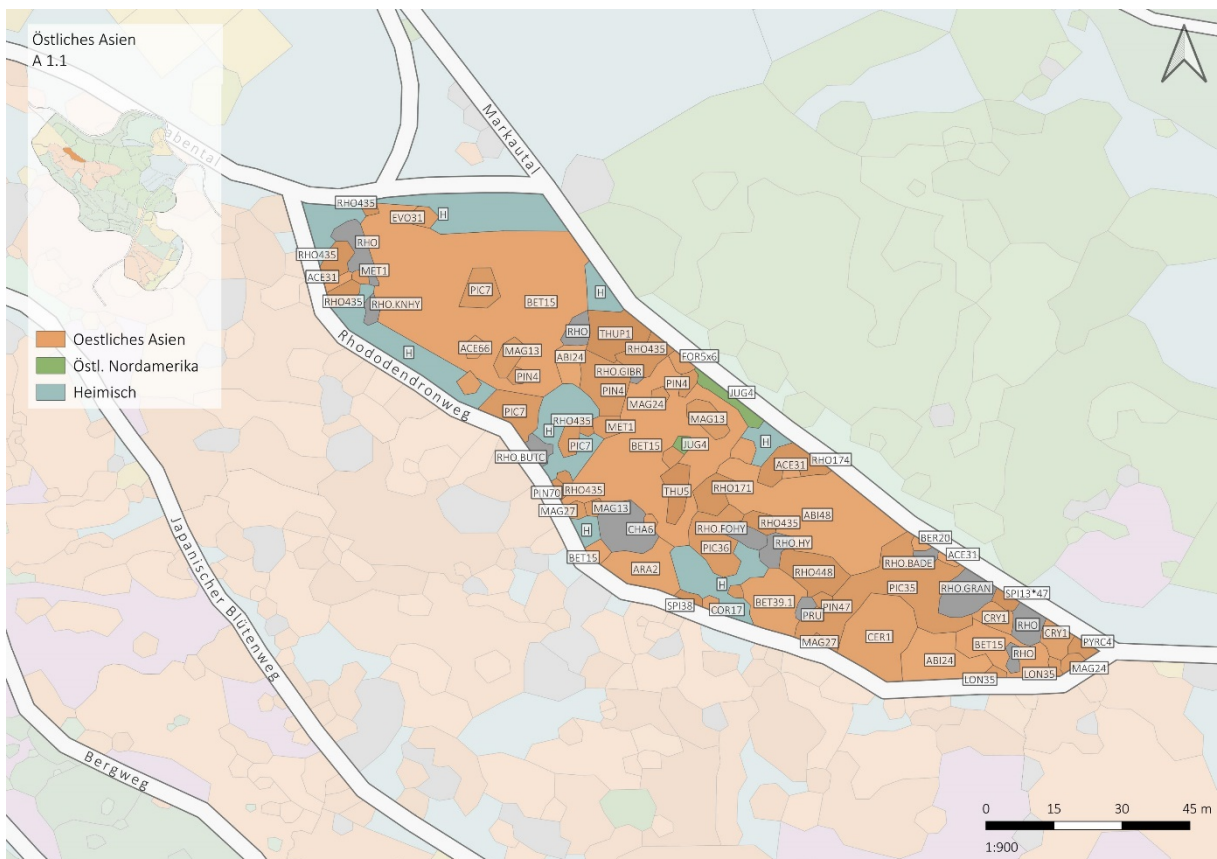
Großraum Östliches Asien



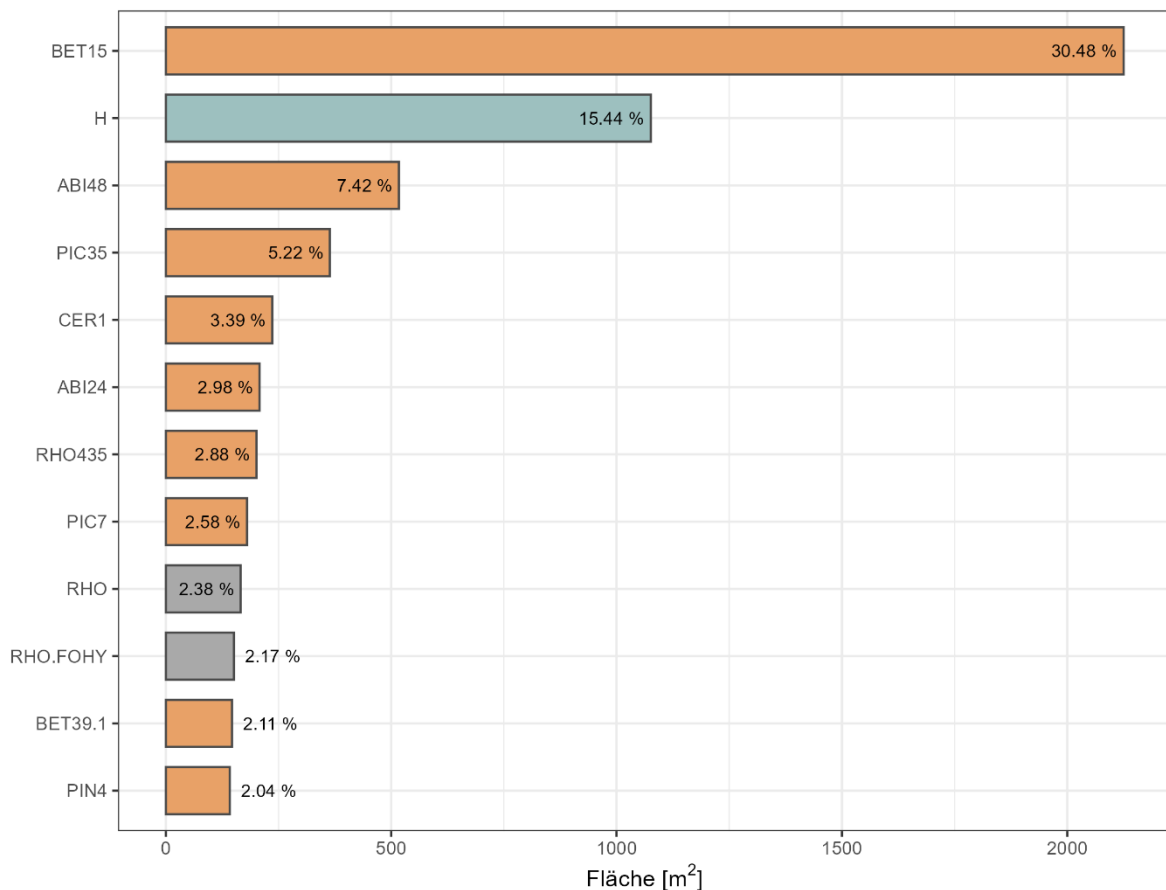
Großraumabschnitt



Detailkarte



ART	ARTNAME
ABI24	<i>Abies koreana</i>
ABI48	<i>Abies veitchii</i>
ACE31	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i>
ACE66	<i>Acer palmatum</i>
ARA2	<i>Aralia elata</i>
BER20	<i>Berberis candidula</i>
BET15	<i>Betula ermanii</i>
BET39.1	<i>Betula pendula</i> subsp. <i>mandshurica</i>
CER1	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>
CHA6	<i>Chamaecyparis pisifera</i>
COR17	<i>Cornus kousa</i>
CRY1	<i>Cryptomeria japonica</i>
EVO31	<i>Euonymus sachalinensis</i>
FOR5x6	<i>Forsythia x intermedia</i>
H	heimisches Gehölz
JUG4	<i>Juglans cinerea</i>
LON35	<i>Lonicera acuminata</i>
MAG13	<i>Magnolia kobus</i>
MAG24	<i>Magnolia sieboldii</i>
MAG27	<i>Magnolia stellata</i>
MET1	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>
PIC35	<i>Picea schrenkiana</i> subsp. <i>Tianschanica</i>
PIC36	<i>Picea wilsonii</i>
PIC7	<i>Picea crassifolia</i>
PIN4	<i>Pinus armandii</i>
PIN47	<i>Pinus koraiensis</i>
PIN70	<i>Pinus parviflora</i>
PIN93	<i>Pinus tabuliformis</i>
PRU	<i>Prunus spec.</i>
PYRC4	<i>Pyracantha fortuneana</i>
RHO	<i>Rhododendron spec.</i>
RHO.BADE	<i>Rhododendron forrestii</i> subsp. <i>forrestii</i>
RHO.BUTC	<i>Rhododendron</i> 'Buttercup'
RHO.FOHY	<i>Rhododendron</i> 'Rh.
RHO.GIBR	<i>Rhododendron calendulaceum</i>
RHO.GRAN	<i>Rhododendron</i> 'Granat'
RHO.HY	<i>Rhododendron hybriden</i>
RHO.KNHY	<i>Rhododendron</i> 'Knaphill-Hybride'
RHO171	<i>Rhododendron decorum</i>
RHO174	<i>Rhododendron fortunei</i>
RHO435	<i>Rhododendron luteum</i>
RHO448	<i>Rhododendron albrechtii</i>
SPI13*47	<i>Spiraea x vanhouttei</i>
SPI38	<i>Spiraea nipponica</i>
THU5	<i>Thuja standishii</i>
THUP1	<i>Thujopsis dolabrata</i>



Auf der 0.7 ha großen Fläche sind insgesamt ca. 45 Arten aus 24 Gattungen zu finden. Den größten Flächenanteil hat *Betula ermanii* mit etwa 30%. Es folgen *Abies veitchii*, *Picea tianschanica*, *Cercidiphyllum japonicum* und *Abies koreana*. Außerdem stehen viele Rhododendren auf der Fläche, diese ist mit 11 Spezies auch die artenreichste Gattung auf der Teilfläche. Die Arten sind einzelstammweise bis truppweise gemischt, der Bestandesschluss ist geschlossen bis locker. Es gibt vor allem im westlichen Teil ein paar wenige Flächen mit heimischen Gehölzen, vor allem mit alten Eichen. Größere Freiflächen sind nicht vorhanden. Die Strauchschicht besteht im Wesentlichen aus heimische Naturverjüngung mit *Acer pseudoplatanus*, *Sorbus aucuparia*, *Rosa canina* und *Salix spec.* Außerdem streut *Juglans nigra* oder *J. cinerea* aus der benachbarten Ost-Nordamerika-Fläche ein. Wenige Arten sind stark bis vollständig abgegangen, darunter *Picea purpurea* und *Pinus tabulaeformis*.

4.4 Gefährdungsstatus

Von den 397 Arten bzw. Unterarten sind bei 133 Arten keine Gefährdungsbeurteilungen vorhanden (NE – not evaluated) bzw. es konnte keine Verknüpfung zur Roten Liste der IUCN hergestellt werden. Bei weiteren 10 Arten gibt es nur eine ungenügende Datengrundlage (DD – Data Deficient), sodass insgesamt bei etwa 35 % der Arten keine Beurteilung des Gefährdungsstatus vorliegt. Die meisten Arten (210 Arten; ca. 53 %) sind nicht gefährdet (LC – Least Concern) oder wurden der Kategorie potentiell gefährdet (NT – Near Threatened) eingeordnet (14 Arten; ca. 3,5 %). Insgesamt sind 30 Arten (ca. 7 %; etwa 6 ha) im Arboretum vorhanden, welche in der Roten Liste der IUCN als gefährdet eingestuft worden sind. 9 Arten davon sind verletzlich (VU – Vulnerable), 17 Arten sind stark gefährdet (EN – Endangered) und 4 Arten sind akut vor dem Aussterben bedroht (CR – Critically Endangered). Weiterhin ist festzustellen, dass der Populationstrend dieser 30 Arten zum größten Teil abnimmt. Bei insgesamt etwa 11 % aller im Arboretum vorhandener Arten nehmen die Populationen weltweit ab, die meisten werden aber als stabil eingestuft (ca. 34 %).

Tabelle 3: Im Arboretum vorhandene Arten, die nach der Roten Liste der IUCN als gefährdet eingestuft wurden, also entweder die Kategorie Vulnerable (VU), Endangered (EN) oder Critically Endangered (CR) erhalten haben. Dazu der vom IUCN bereitgestellte Entwicklungstrend der Population, sowie die vorhandene Fläche im Arboretum.(IUCN, 2024a).

Art	Rote Liste - Kategorie	Trend	Fläche [m ²]
<i>Abies fraseri</i>	Endangered	Decreasing	1915
<i>Abies guatemalensis</i>	Endangered	Decreasing	133
<i>Abies koreana</i>	Endangered	Decreasing	867
<i>Abies nordmanniana subsp. equi-trojani</i>	Endangered	Decreasing	6716
<i>Abies pinsapo</i>	Endangered	Decreasing	444
<i>Abies recurvata</i>	Vulnerable	Decreasing	6
<i>Abies squamata</i>	Vulnerable	Stable	81
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Vulnerable	Decreasing	31
<i>Araucaria araucana</i>	Endangered	Decreasing	37
<i>Berberis candidula</i>	Vulnerable		129
<i>Castanea dentata</i>	Critically Endangered	Decreasing	1741
<i>Cedrus atlantica</i>	Endangered	Decreasing	659
<i>Cedrus libani</i>	Vulnerable	Decreasing	573
<i>Fraxinus americana</i>	Critically Endangered	Decreasing	2649
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Critically Endangered	Decreasing	851
<i>Fraxinus quadrangulata</i>	Critically Endangered	Decreasing	50
<i>Ginkgo biloba</i>	Endangered		49
<i>Gymnocladus dioicus</i>	Vulnerable	Decreasing	38
<i>Juglans cinerea</i>	Endangered	Decreasing	5899
<i>Magnolia stellata</i>	Endangered	Decreasing	108
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	Endangered	Decreasing	2473
<i>Picea asperata</i>	Vulnerable	Decreasing	352
<i>Picea brachytyla</i>	Vulnerable	Unknown	92
<i>Picea chihuahuana</i>	Endangered	Decreasing	536
<i>Picea likiangensis</i>	Vulnerable	Unknown	127
<i>Picea omorika</i>	Endangered	Decreasing	847
<i>Picea retroflexa</i>	Endangered	Decreasing	18
<i>Sequoia sempervirens</i>	Endangered	Decreasing	1864
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	Endangered	Decreasing	28518
<i>Ulmus americana</i>	Endangered	Decreasing	579

5 Diskussion

5.1 Wissenschaftliche Schwerpunktsetzung

In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat sich der WeltWald Harz zu einem stark frequentierten Ausflugsziel für Harzbesucher und –Bewohner entwickelt. Eine wissenschaftliche Zielsetzung wurde schon früh, kurz nach der Begründung des Arboretums, festgeschrieben. Die konsequente Umsetzung der festgelegten Grundsätze und die wissenschaftliche Begleitung des Gebiets endeten allerdings etwa zur Zeit der Auflösung der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Escherode (2006). Heute ist die Thematik der Alternativbaumarten aktueller denn je (Avila et al., 2021; Liesebach et al., 2021; Lieven et al., 2022; Vor et al., 2015). Die im Rahmen des Projekts vorgenommene Kartierung des Istzustandes deckte ein wertvolles Artinventar auf. All dies bietet Anlass und unterstreicht die Notwendigkeit, erneut eine Stärkung der wissenschaftlichen Schwerpunktsetzung des Arboretums vorzunehmen.

Aus der Forstpraxis werden schnelle Entscheidungshilfen und eine Erweiterung der Empfehlungen für alternative Baumarten gefordert. Um die Anbauwürdigkeit einer Art festzustellen sind kosten- und zeitaufwendige forstliche Anbauversuche unerlässlich, welche das Arboretum nicht ersetzen kann und soll. Doch im Vorfeld solcher Anbauversuche müssen die potentiellen Arten auf ihre grundsätzliche

Anbaueignung hin untersucht bzw. eingeschätzt werden (siehe Liesebach et al., 2021). Die Anbauerfahrungen im Arboretum können hier als Orientierungshilfe und als Zwischenglied zwischen aufwendigen Anbauversuchen und der reinen Literaturrecherche gesehen werden und so letztendlich eine wichtige Rolle bei der Identifikation von Alternativbaumarten spielen.

Arboreten sind für einen solchen Zweck besonders geeignet, da dort sehr viele Arten auf einem Standort vorkommen. Dies hat nicht nur Vorteile bei der Beurteilung einer Art, da so eine gewisse Vergleichbarkeit untereinander gegeben ist, sondern kann auch logistische und kommunikative Vorteile mit sich bringen. Das Arboretum Bad Grund unterscheidet sich von anderen Arboreten oder gar botanischen Gärten, da hier der forstliche Aspekt im Vordergrund steht und nicht der dendrologisch systematische Aspekt mit seinen Solitär-bäumen und Kleingruppenpflanzungen. Durch den Aufbau des Arboretums nach Beständen und Waldgesellschaften bildet sich der typische Waldcharakter aus, wodurch ebenfalls eine bessere Beurteilung stattfinden kann. Weiterhin besteht das Arboretum seit 1971, sodass man bei vielen Arten auf eine 50-jährige Anbauerfahrung zugreifen kann, dieser Wissensvorsprung sollte genutzt werden. Dies gilt auch für die aufgenommenen Daten zur Wuchsleistung und Mortalität. Die Aufnahme der Daten wurde zwar wie oben beschrieben eingestellt, könnten aber abgerufen, bzw. für einzelne Arten fortgesetzt werden.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung wissenschaftlicher Zielsetzungen sind unter anderem die kontinuierliche Aktualisierung der Kartenwerke, einschließlich detaillierter Artenlisten sowie weiterer relevanter Datensätze. Ebenso essenziell ist die Etablierung eines effektiven Kommunikationskanals, der den Austausch und die Zusammenarbeit zwischen allen im und am Arboretum tätigen Parteien sowie den beteiligten Stakeholdern fördert.

5.2 Herkunftssicherung

Alte Grundsätze legten fest, dass im Arboretum Bad Grund „von jeder Art [...] verschiedene Herkünfte aus dem jeweiligen Verbreitungsgebiet zu pflanzen [sind]“ und darüber hinaus „ausschließlich autochthones Saatgut und Pflanzmaterial mit definierter Herkunft zu verwenden [ist]“ (Oberbeck, 1989). Es stellte sich zwar heraus, dass in der Vergangenheit insbesondere bei Straucharten aber auch bei einigen Bäumen keine Herkunftssicherung stattfand, dennoch bei einem großen Teil der Arten eine Herkunft zugeordnet werden konnte. Der damalige Anspruch, immer gleich mehrere Herkünfte einer Art anzupflanzen scheint etwas zu hoch gesteckt und auch nicht zielführend, wenn man bedenkt, dass das Arboretum keine forstlichen Anbauversuche im eigentlichen Sinne ersetzen kann und wird. Auch in Zukunft erscheint allerdings eine Fortführung der Vorgabe nur Saatgut mit bekannter Herkunft zu verwenden wichtig und richtig. Aufgrund der standortangepassten Eigenschaften des Saatgutes, aus Gründen der Biodiversität und da neben der Frage nach den richtigen Baumarten für den Wald insbesondere die Frage nach der passenden Herkunft weiterhin eine zentrale Rolle in der Forstwirtschaft spielen wird. So sollte wenn möglich Vermehrungsgut, welches aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet der jeweiligen Art stammt, beschafft werden. Auf eine entsprechende Herkunftssicherung könnte verzichtet werden, bei Sträuchern, wenn zu Arten schon umfangreiche Anbauerfahrungen in Deutschland vorliegen (z.B. Douglasie *Pseudotsuga menziesii*, wobei eine Herkunftssicherung auch hier wünschenswert wäre), oder bei entsprechend seltenen Arten, bei denen eine Beschaffung herkunftsgesicherten Saatguts auf absehbare Zeit nicht möglich erscheint. Hier sollte allerdings Wildformen verwendet werden und nicht im Garten- und Landschaftsbau häufiger anzutreffende Sortenklone. Der damit verbundene Aufwand ist nur zu rechtfertigen, wenn gleichzeitig diese Herkunftsangaben sorgfältig notiert und dokumentiert werden.

5.3 Ex-Situ Generhaltung – Gefährdete Arten

Der Verlust von Tier- und Pflanzenarten sowie von deren Lebensräumen schreitet weltweit in hohem Maße voran und bedroht die Stabilität und Funktionalität von Ökosystemen (Cowie et al., 2022; Valiente-Banuet et al., 2015). Dies macht das weltweite Artensterben zur vielleicht größten Bedrohung und Herausforderung unserer Zeit. Weltweit sind 2 von 5 Pflanzenarten gefährdet (Antonelli et al., 2023). Es liegt in der Natur der Sache, dass Arboreten und Botanische Gärten aufgrund ihrer hohen Artenvielfalt und der gärtnerischen bzw. forstlichen Betreuung wie kaum eine andere Einrichtung dazu geeignet sind, bedrohte Pflanzenarten für eine begrenzte Zeit außerhalb ihres Lebensraumes (ex-situ) als lebende Pflanze zu erhalten und so zum Erhalt gefährdeter Arten beizutragen. Ein schönes Beispiel für die Wichtigkeit und den möglichen Erfolg solcher Maßnahmen ist die Wiederansiedlung des Toromiro. Der Toromiro (*Sophora toromiro*) ist die wohl bekannteste, einheimische Baumart der Osterinseln (Aldén & Zizka, 1989). In den 50er Jahren sah der norwegische Forschungsreisende Thor Heyerdahl den letzten Toromiro und sammelte einige Früchte, ab da galt die Art als ausgestorben. Bis im Jahre 1988 im Botanischen Garten in Bonn, und daraufhin auch in weiteren Botanischen Gärten weltweit, noch lebende Individuen entdeckt wurden (Aldén & Zizka, 1989). Nachdem die Pflanzen vermehrt wurden, wurden einige Setzlinge auf die Osterinseln gebracht und ein Wiederansiedlungsprogramm gestartet. Heute wachsen wieder einige Exemplare auf den Osterinseln (Unsleber, 2016).

Botanische Gärten erkennen auf der ganzen Welt zunehmend ihre Verantwortung für die Erhaltung der Pflanzenvielfalt und unternehmen dementsprechend Schritte um dieser gerecht zu werden (Sharrock et al., 2018). Der politische Rahmen bildet hier die Globale Strategie zum Schutz der Pflanzen (Global Strategy for Plant Conservation, GSPC), welche als Bestandteil des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Convention of Biological Diversity, CBD) auf der 6. UN-Vertragsstaatenkonferenz (COP-6) verabschiedet wurde (Sharrock et al., 2018). Auch in Deutschland sind die dort formulierten Ziele zum Teil Bestandteile entsprechender nationaler Konzepte und Strategien geworden (BMUB, 2007). Auch der WeltWald Harz trägt zum Erhalt der globalen Pflanzenvielfalt bei. Die Kartierung unterstreicht dies, denn es sind über 30 Arten im Arboretum vorhanden, die auf der Roten Liste der IUCN als gefährdet eingestuft wurden. Die Funktion des Arboretums gefährdete Arten ex situ zu erhalten wird mehr oder weniger automatisch durch das Betreiben des Arboretums erfüllt. Eine konzeptionelle Einarbeitung und eine konkrete Zielsetzung könnte hier aber die positiven Effekte verstärken und effizienter gestalten, insbesondere wenn es um den Schutz gefährdeter, heimischer Arten bzw. Kultursorten geht (z.B. Gattung *Malus*). Weiterhin könnten so den besonders gefährdeten Arten ein besonderer Stellenwert bei der Beobachtung oder waldbaulichen Pflege zu Teil werden.

In diesem Sinne sollte weiterhin eine (internationale) Zusammenarbeit mit anderen Arboreten und Botanischen Gärten aufgebaut werden. So bietet der unentgeltliche Austausch vielen botanischen Gärten die Möglichkeit an herkunftsgesichertes Saatgut zu gelangen. Ein solches Netzwerk ist etwa das 2002 gegründete International Plant Exchange Network (IPEN), welches botanischen Gärten weltweit ermöglicht, pflanzengenetische Ressourcen im Einklang mit den Richtlinien der CBD auszutauschen (BGCI, 2024). Einige botanische Gärten lagern daher auch keimfähige Samen über längere Zeiträume als alternative ex-situ-Methode ein. Als herausragendes Beispiel gilt hier die Millenium Seedbank des Londoner Kew Gardens (Kew gardens, 2024). Für das Arboretum Bad Grund kann diese Aufgabe der Einlagerung und Sammelns des Saatgutes die NW-FVA übernehmen. Es gibt nur wenige andere botanische Gärten, die sich auf Bäume und Sträucher als Sammelschwerpunkt konzentrieren. So etwa der botanische Garten der Georg-August-Universität Göttingen (Georg-August-Universität Göttingen, 2024), zu welcher die NW-FVA gute Kontakte pflegt.

5.4 Öffentlichkeitsarbeit

Der WeltWald Harz dient heute vor allem als Besucherattraktion am westlichen Harzrand. Das gut ausgebaute Wegenetz, die Themenpfade und die Beschilderung vieler Arten machen das Arboretum zu einem attraktiven Ausflugsziel. Viele nutzen die Möglichkeit den WeltWald und die fremdländischen Arten anhand einer Führung durch den Arboretums-Förster besser kennenzulernen.

Dennoch könnte ein stärkerer Fokus auf den Wissenstransfer durch Informationstafeln, insbesondere hinsichtlich der Alternativbaumarten-Thematik gesetzt werden. Weiterhin wird eine Beschilderung einzelner Arten oder Waldgesellschaften angeregt, die die Verbreitung auf einer Weltkarte zeigt, um so die räumliche Einordnung zu erleichtern und einen geografischen Bezug herzustellen. Durch die Auslage eines Flyers mit einer darin enthaltenen Karte könnte den Besuchern die Orientierung im Arboretum oder das Auffinden spezieller Arten oder Waldgesellschaften erleichtert werden. Um punktgenau Bäume bzw. Arten anzusteuern würde sich noch besser eine interaktive Karte innerhalb einer Navigationsapp oder einer Internetseite, bzw. einer Erweiterung des bestehenden Internetauftritts, anbieten. Sowohl für den Flyer, als auch die interaktive Karte könnte die im Rahmen dieses Projekts erarbeitete GIS-Karte als Ausgangspunkt dienen.

6 Literaturverzeichnis

Aldén, B., & Zizka, G. (1989). Der Toromiro (*Sophora toromiro*) – eine ausgestorbene Pflanze wird wiederentdeckt. *Natur und Museum*, 119, 145–152.

Antonelli, A., Fry, C., Smith, R. J., Eden, J., Govaerts, R. H. A., Kersey, P., Nic Lughadha, E., Onstein, R. E., Simmonds, M. S. J., Zizka, A., Ackerman, J. D., Adams, V. M., Ainsworth, A. M., Albouy, C., Allen, A. P., Allen, S. P., Allio, R., Auld, T. D., Bachman, S. P., ... Zuntini, A. R. (2023). *State of the World's Plants and Fungi, 2023*. Royal Botanic Gardens, Kew. <https://doi.org/10.34885/WNWN-6S63>

Avila, A. L. de, Häring, B., Rheinbay, B., Brüchert, F., Hirsch, M., & Albrecht, A. (with Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg). (2021). *Artensteckbriefe 2.0: Alternative Baumarten im Klimawandel: eine Stoffsammlung*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.

BGCI. (2024). The International Plant Exchange Network. *Botanic Gardens Conservation International*. <https://www.bgci.org/our-work/inspiring-and-leading-people/policy-and-advocacy/access-and-benefit-sharing/the-international-plant-exchange-network/>

BKG. (2024). *Verwaltungsgebiete 1:2 500 000, Stand 31.12*. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/verwaltungsgebiete/verwaltungsgebiete-1-2-500-000-stand-31-12-vg2500-12-31.html>

BMEL. (2024a). *Der Wald in Deutschland Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).

BMEL. (2024b). *Ergebnisse der Walzustandserhebung 2023*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).

BMUB. (2007). *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt* (4. Aufl.).

Bolte, A., Ammer, C., Löf, M., Madsen, P., Nabuurs, G.-J., Schall, P., Spathelf, P., & Rock, J. (2009). Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(6), 473–482. <https://doi.org/10.1080/02827580903418224>

COL. (2024). COL. Catalogue of Life. <https://www.catalogueoflife.org/>

Cowie, R. H., Bouchet, P., & Fontaine, B. (2022). The Sixth Mass Extinction: Fact, fiction or speculation? *Biological Reviews*, 97(2), 640–663. <https://doi.org/10.1111/brv.12816>

DWD. (2024). *Wetter und Klima—Deutscher Wetterdienst—CDC (Climate Data Center)*. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html

Flora incognita. (2024). *Flora Incognita | DE – Die Flora Incognita App – Interaktive Pflanzenbestimmung*. <https://floraincognita.de/>

Forest Europe. (2020). *Adaptation to Climate Change in Sustainable Forest Management in Europe*. Liaison Unit Bratislava.

Ganghofer, A. v. (1884). *Das forstliche Versuchswesen*. Schmid'sche Verlagsbuchhandlung.

Georg-August-Universität Göttingen. (2024). *Der Forstbotanische Garten als Naturschutzeinrichtung—Georg-August-Universität Göttingen*. Georg-August Universität Göttingen. <https://www.uni-goettingen.de/de/der+forstbotanische+garten+als+naturschutzeinrichtung/56044.html>

Google Earth. (2024). Google Earth. [https://earth.google.com/web/search/Bad+Grund+\(Harz\)/@51.82297115,10.2224878,324.85316982a,3652.00421661d,35y,10.28352065h,42.11559707t,0r/data=Cn8aURJLCiUweDQ3YTUzMDhhZjgzN2JhNWQ6MHg1M2Y1MTJmMzU4MzVmNmQ5GQM1xpGf6EIAITF8nwX8eSRAKhBCYWQgR3J1bmQgKE-hhcnopGAEGASImCiQJNmVAMIDcNEARNWVAMIDcNMAZb8MJfV0aRUAh-ARqYi49TsBCAggBOg-MKATBCAggASgOI_____ARAA](https://earth.google.com/web/search/Bad+Grund+(Harz)/@51.82297115,10.2224878,324.85316982a,3652.00421661d,35y,10.28352065h,42.11559707t,0r/data=Cn8aURJLCiUweDQ3YTUzMDhhZjgzN2JhNWQ6MHg1M2Y1MTJmMzU4MzVmNmQ5GQM1xpGf6EIAITF8nwX8eSRAKhBCYWQgR3J1bmQgKE-hhcnopGAEGASImCiQJNmVAMIDcNEARNWVAMIDcNMAZb8MJfV0aRUAh-ARqYi49TsBCAggBOg-MKATBCAggASgOI_____ARAA)

Hauberg, J. (1996). *Morphologie und Systematik der Fichtenarten (Gattung Picea) im Arboretum Bad Grund* [Diplomarbeit am Institut für Forstbotanik]. Georg-August-Universität Göttingen.

Höltken, A. M., Hardtke, A., & Steiner, W. (2021). *Anpassungspotenziale heimischer Baumarten*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5588798>

Hoß, C. (1986). *Temperatur- und Strahlungsklima als Standortfaktor im Arboretum Bad Grund* [Diplomarbeit am Institut für Bioklimatologie]. Georg-August-Universität Göttingen.

IPCC. (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IUCN. (2024a). *The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/en>

IUCN. (2024b). *The IUCN Red List of Threatened Species—Barometer of Life*. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/about/barometer-of-life>

Kew gardens. (2024). *Millennium Seed Bank | Kew*. Royal Botanic Gardens Kew. <https://www.kew.org/science/collections-and-resources/research-facilities/millennium-seed-bank>

Köhl, M., Gutsch, M., Lasch-Born, P., Müller, M., Plugge, D., & Reyer, C. P. O. (2023). Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel. In G. P. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöller (Hrsg.), *Klimawandel in Deutschland* (S. 249–262). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_19

Kohler, M., Gorges, J., Andermahr, D., Kölz, A., Leder, B., Nagel, R.-V., Mettendorf, B., Le Thiec, D., Skiadaresis, G., Kurz, M., Sperisen, C., Seifert, T., Csilléry, K., & Bauhus, J. (2024). A direct comparison of the radial growth response to drought of European and Oriental beech. *Forest Ecology and Management*, 572, 122130. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122130>

Krieger, S. (2002). *Erdgeschichte zum Anfassen: Die Geologie des Harzes, neu aufbereitet unter Einbeziehung geotouristischer Möglichkeiten und Einrichtungen am Beispiel der geologischen Lehrpfade im Harz*. diplom.de.

Liesebach, M., Wolf, H., & Beez, J. (2021). *Identifizierung von für Deutschland relevanten Baumarten im Klimawandel und länderübergreifendes Konzept zur Anlage von Vergleichsanbauten—Empfehlungen der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“ zu den Arbeitsaufträgen der Waldbaureferenten*. Johann Heinrich von Thünen-Institut. <https://doi.org/10.3220/WP1617712541000>

Lieven, S., Fasse, F., & Nagel, R.-V. (2022). *Alternative Baumarten – ein Lösungsbeitrag für die Klimaanpassung der Wälder in Sachsen-Anhalt?* (Version 1.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7152813>

Madrigal-González, J., Calatayud, J., Ballesteros-Cánovas, J. A., Escudero, A., Cayuela, L., Rueda, M., Ruiz-Benito, P., Herrero, A., Aponte, C., Sagardia, R., Plumptre, A. J., Dupire, S., Espinosa, C. I.,

- Tutubalina, O., Myint, M., Pataro, L., López-Sáez, J., Macía, M. J., Abegg, M., ... Stoffel, M. (2020). Climate reverses directionality in the richness–abundance relationship across the World’s main forest biomes. *Nature Communications*, 11(1), 5635. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19460-y>
- Mellert, K., & Šeho, M. (2022). Suitability of *Fagus orientalis* Lipsky at marginal *Fagus sylvatica* L. forest sites in Southern Germany. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 15(5), 417–423. <https://doi.org/10.3832/ifer4077-015>
- Messier, C., Bauhus, J., Doyon, F., Maure, F., Sousa-Silva, R., Nolet, P., Mina, M., Aquilué, N., Fortin, M.-J., & Puettmann, K. (2019). The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems*, 6(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>
- Möller, K., & Heydeck, P. (2009). *Risikopotenzial und aktue Gefährdung der Douglasie- biotische und abiotische Faktoren*. 43, 49–58.
- NIBIS. (2024). *NIBIS Kartenserver: Niedersächsisches Bodeninformationssystem*. <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=618>
- Niemann, H. (2024, Januar 15). *Neue Attraktion im Harz: Im Weltwald wird ein neuer Weg eröffnet*. Harzkurier. <https://www.harzkurier.de/harzkurier/bad-grund/article405519755/neue-attraktion-im-harz-im-weltwald-wird-ein-neuer-weg-eroeffnet.html>
- NLF. (2018). *Das LÖWE-Programm—25 Jahre langfristige, ökologische Waldentwicklung*. Niedersächsische Landesforsten.
- NLF. (2024). *Unsere Revierförstereien im Forstamt Riefensbeek*. Niedersächsische Landesforsten. <https://www.landesforsten.de/forstaemter/riefensbeek/forstamt-riefensbeek-wir/rfoes-riefensbeek/>
- NW-FVA & NMELV. (2024). *Waldzustandsbericht 2024 für Niedersachsen* (S. 48). Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13846347>
- Oberbeck, E. (1989). *Das Arboretum der Niedersächsischen Landesforstverwaltung im Staatlichen Forstamt Grund (Exkursionsführer)*. Piepersche Druckerei u. Vlg. GmbH.
- Pretzsch, H., Del Río, M., Ammer, Ch., Avdagic, A., Barbeito, I., Bielak, K., Brazaitis, G., Coll, L., Dirnberger, G., Drössler, L., Fabrika, M., Forrester, D. I., Godvod, K., Heym, M., Hurt, V., Kurylyak, V., Löf, M., Lombardi, F., Matović, B., ... Bravo-Oviedo, A. (2015). Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Research*, 134(5), 927–947. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0900-4>
- QGIS. (2024). *QGIS Geographic Information System* [Software]. QGIS Association. <https://www.qgis.org>
- RStudio Team. (2024). *RStudio: Integrated Development for R* (Version 2024.4.2.764) [Software]. RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
- Rudolf, H. (2023). *Weltwald Freising* (S. 154). Bayerische Staatsforsten AöR.
- Rzanny, M., Bebber, A., Wittich, H. C., Fritz, A., Boho, D., Mäder, P., & Wäldchen, J. (2024). More than rapid identification—Free plant identification apps can also be highly accurate. *People and Nature*, 6(6), 2178–2181. <https://doi.org/10.1002/pan3.10676>

Schenck, C. A. (1939). *Fremdländische Wald- und Parkbäume* (Vols. 1–3). P. Parey.

Schroeder, F. G. (1976). Arealformeln für Gehölze auf vegetationskundlicher Grundlage. *Mitteilungen der DDG*, 68, 7–21.

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M. J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A., & Reyer, C. P. O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6), 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>

Sharrock, S., Hoft, R., & Ferreira de Souza Dias, B. (2018). An overview of recent progress in the implementation of the Global Strategy for Plant Conservation—A global perspective. *Rodriguésia*, 69, 1489–1511. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869401>

Unbekannt. (2002). *Abteilung 4, Referat 403, Az. 403-64220-*.

Unsleber, M. (2016, Februar 5). *Chile: Wiederansiedlung des Toromiro auf der Osterinsel*. latinapress Nachrichten. <https://latina-press.com/news/214825-chile-wiederansiedlung-des-toromiro-auf-der-osterinsel/>

Valiente-Banuet, A., Aizen, M. A., Alcántara, J. M., Arroyo, J., Cocucci, A., Galetti, M., García, M. B., García, D., Gómez, J. M., Jordano, P., Medel, R., Navarro, L., Obeso, J. R., Oviedo, R., Ramírez, N., Rey, P. J., Traveset, A., Verdú, M., & Zamora, R. (2015). Beyond species loss: The extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology*, 29(3), 299–307. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12356>

Vor, T., Spellmann, H., Bolte, A., Ammer, C., & Herausgeber. (2015). *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten—Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung* (Bd. 7). Universitätsverlag Göttingen.