

RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT BONN
Landwirtschaftliche Fakultät

Masterarbeit

Im Rahmen des Masterstudiengangs

Naturschutz und Landschaftsökologie

zur Erlangung des Grades eines

„Master of Science“

Der Schlosspark Brühl in Zeiten des Klimawandels

-

Analyse der Vegetation und Vitalität des Parkwaldes

vorgelegt von:

Svenja Ines Rudow

Matrikelnummer: 2959743

vorgelegt am: 05.07.2024

Erstprüfer: Dr. Lutz Kosack

Zweitprüfer: Dr. André Hamm

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Bonn, 05.07.2024

Unterschrift der/des Studierenden

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	3
2.1 Schlosspark Brühl	3
2.2 Geographische Lage	3
2.3 Boden	4
2.4 Klimatische Verhältnisse.....	5
2.5 Heutige potentiell natürliche Vegetation.....	5
3. Material und Methoden	7
3.1 Kartiergrundlage.....	7
3.2 Vegetationsaufnahmen	7
3.3 Vitalitätsuntersuchungen	8
3.4 Auswertung	9
4. Ergebnisse	11
4.1 Vegetationsaufnahmen	11
4.1.1 Überblick.....	11
4.1.2 Vegetationstypen.....	12
4.1.3 Zeigerwerte.....	14
4.1.4 post-hoc-Analyse.....	15
4.1.5 Weitere Vegetationsaufnahmen	16
4.2 Vitalität.....	18
4.2.1 Überblick.....	18
4.2.2 Statistische Auswertung	20
4.2.3 Vitalität der Wuchsklassen und Arten.....	21
4.2.4 Vitalität der Wuchsklassen in den Teilflächen.....	24
4.2.5 Anzahl der Wuchsklassen in den Teilflächen	28
5. Diskussion	29
5.1 Vegetation des Parkwaldes.....	29
5.2 Weitere Vegetationsaufnahmen	39
5.3 Vitalität.....	41
5.4 Fazit.....	48
6. Zusammenfassung	50
Literaturverzeichnis.....	52
Anhang	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Untersuchungsflächen im Schlosspark Brühl.	3
Abbildung 2: Bodentypen im Schlosspark Brühl gemäß der Forstlichen Bodenkarte 1:5.000 (GD NRW, 2010).....	5
Abbildung 3: Heutige potentielle natürliche Vegetation des Untersuchungsgebietes (BFN, 2015)	6
Abbildung 4: Lage und Nummerierung der Vegetationsaufnahmen im Untersuchungsgebiet.	11
Abbildung 5: Zuordnung der Vegetationstypen der Aufnahmeflächen anhand der dominierenden Baumart.	14
Abbildung 6: Darstellung der gewichteten Zeigerwerte nach ELLENBERG aller Vegetationsaufnahmen.	15
Abbildung 7: Ergebnisse der post hoc-Analyse von Ordination, Vegetationstypen und Zeigerwerteauswertung.	16
Abbildung 8: Verteilung der Wuchsklassen innerhalb der acht häufigsten Arten. Die Balken zeigen den prozentualen Anteil der jeweiligen Wuchsklasse, die Zahlen über den Balken die absolute Anzahl. ..	19
Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der Vitalitätsstufen der acht am häufigsten untersuchten Arten in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“. Die Zahlen innerhalb der Balken geben die absoluten Zahlen an.	22
Abbildung 10: Prozentuale Verteilung der Vitalitätsstufen der acht am häufigsten untersuchten Arten in der Wuchsklasse „mittleres Baumholz“. Die Zahlen innerhalb der Balken geben die absoluten Zahlen an.	23
Abbildung 11: Prozentuale Verteilung der Vitalitätsstufen der acht am häufigsten untersuchten Arten in der Wuchsklasse „starkes Baumholz“. Die Zahlen innerhalb der Balken geben die absoluten Zahlen an.	24
Abbildung 12: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ in jeder Teilfläche.....	25
Abbildung 13: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ in jeder Teilfläche.....	26
Abbildung 14: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „starkes Baumholz“ in jeder Teilfläche.....	27
Abbildung 15: Anzahl der erfassten Wuchsklassen auf jeder Teilfläche.....	28
Abbildung 16: Zuordnung der Vegetationstypen anhand der dominierenden Baumart in Verbindung mit dem vorhandenen Bodentyp.....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Vegetationsschichten nach ihrer Wuchshöhe.....	7
Tabelle 2: Einteilung der Wuchsklassen nach LANUV NRW (2021)	8
Tabelle 3: Bewertungsschema der Vitalitätsstufen nach ROLOFF (2018)	9
Tabelle 4: Mittlere Zeigerwerte nach ELLENBERG der Vegetationsaufnahmen auf einer Grünfläche. 17	
Tabelle 5: Ergebnisse der Vitalitätsuntersuchung. Dargestellt sind die erfassten Arten, die Anzahl der Individuen jeder Vitalitätsstufe, die Gesamtzahl der Individuen jeder Art, die Häufigkeit jeder Vitalitätsstufe (VS) insgesamt und die Anzahl insgesamt angesprochenen Individuen.....	18
Tabelle 6: Ergebnisse des Wilcoxon-Rang-Tests mit Bonferroni-Korrektur in der post-hoc-Analyse des Kruskal-Wallis-Tests.....	21

1. Einleitung

Der fortschreitende Klimawandel macht sich in den letzten Jahren immer mehr bemerkbar und geht mit teilweise schwerwiegenden Wetterextremen einher. Es kommt mitunter zu Hitzesommern mit langen Trockenphasen, aber auch zu Stürmen mit Starkregenfällen und Überschwemmungen. Dies hat gravierende Auswirkungen auf die Vegetation Mitteleuropas, die bisher auf Sommer mit regelmäßigen Niederschlägen und ohne längere Dürren angepasst ist (KÖLLING & ZIMMERMANN, 2007; STEINECKE, 2021). Auch in öffentlichen Gärten und Parks leidet die Vegetation, wodurch sich nicht nur das Erholungsempfinden in diesen meist städtischen Grünflächen verringert, sondern auch das kulturelle Erbe der oftmals historisch wertvollen Parkanlagen verloren geht. Daher hat sich ein Initiativbündnis solcher Gärten und Parks aus ganz Deutschland zusammengeschlossen, mit dem Ziel, ein Netzwerk zu bilden und Maßnahmen zum Schutz und zur Aufbesserung der vorhandenen Vegetation zusammenzutragen (IHGIK, 2022). Zudem gibt es das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) aufgelegte Förderprogramm „Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel“, in dessen Rahmen Projekte zum Thema Klimaschutz und Klimaanpassung gefördert werden können (BBSR, 2022).

Der Schlosspark in Brühl ist mit dem Projekt „Gestalterische Anpassung einer historischen Anlage an die Auswirkungen des Klimawandels - Schlösser Augustusburg und Falkenlust in Brühl“ daran beteiligt. Auf dem Gebiet des Schlossparkes befinden sich zwei Schlösser mitsamt Parkanlagen. Das Schloss Augustusburg, unmittelbar am Stadtrand Brühls gelegen, wurde als Sommerresidenz der Kölner Kurfürsten genutzt. Zusätzlich wurde wenige Kilometer südöstlich des Schlosses Augustusburg das Schloss Falkenlust im Auftrag von Kurfürst Clemens August als Jagdschloss erbaut. Der im Schlosspark vorhandene Wald wurde für die Falkenjagd genutzt. Die Parkanlagen der Schlösser wurden im 19. Jahrhundert von Peter Joseph Lenné zu einem Englischen Landschaftsgarten umgestaltet. In diesem Zuge wurde auch der Wald umstrukturiert (LÖHMANN, 2000). Seit 1984 sind die Schlösser und ihre Parkanlagen als UNESCO-Weltkulturerbestätte anerkannt. Daher ist es von Bedeutung, diese historisch bedeutsamen Strukturen in ihrer derzeitigen Form zu erhalten

Der Parkwald hat jedoch in den letzten Jahren stark gelitten, insbesondere durch die Dürre der Jahre 2018-2020. Der Baumbestand zeigt mittlerweile deutliche Vitalitätsmängel, auch bei vergleichsweise jungen Bäumen. Dadurch wurden in den letzten Jahren vermehrt Eingriffe und Baumfällungen zum Zwecke der Verkehrssicherung notwendig. Die hier vorliegende

Untersuchung soll nun einen Überblick über die zurzeit im Parkwald vorhandene Vegetation und den Vitalitätszustand des Baumbestandes schaffen. Ziel der Untersuchung ist es, das Arteninventar der Vegetation des Parkwaldes abzubilden sowie die Waldbestände pflanzensoziologisch einzuordnen. Um auch die Vegetation auf den nicht bewaldeten Flächen des Schlossparkes zu erfassen, soll zudem beispielhaft die Vegetation einer offenen Grünfläche kartiert werden. Hinsichtlich des Vitalitätszustandes soll erfasst werden, ob es Bereiche gibt, die sich hinsichtlich ihrer Vitalität besonders gut oder besonders schlecht darstellen. Weiterhin soll untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Vegetation und der Vitalität vorliegt.

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

2.1 Schlosspark Brühl

Der Brühler Schlosspark liegt am östlichen Stadtrand Brühls und besteht aus den Bereichen Augustusburg und Falkenlust. Beide Bereiche sind durch eine Lindenallee miteinander verbunden. Die bewaldeten Bereiche des Schlossparkes sind Naturschutzgebiete (NSG Brühler Schlosspark und NSG Falkenluster Allee und Schloss Falkenlust) und haben insgesamt eine Fläche von ca. 62 ha. Der Bereich Augustusburg wird durch die Poppelsdorfer Allee, welche die Sichtachse auf das Schloss Augustusburg bietet, in einen östlichen und westlichen Parkbereich geteilt. Im Bereich der Falkenlust ist es die Falkenluster Allee mit der Sichtachse auf das Schloss Falkenlust, die den Park in einen nördlichen und einen südlichen Bereich unterteilt.

2.2 Geographische Lage

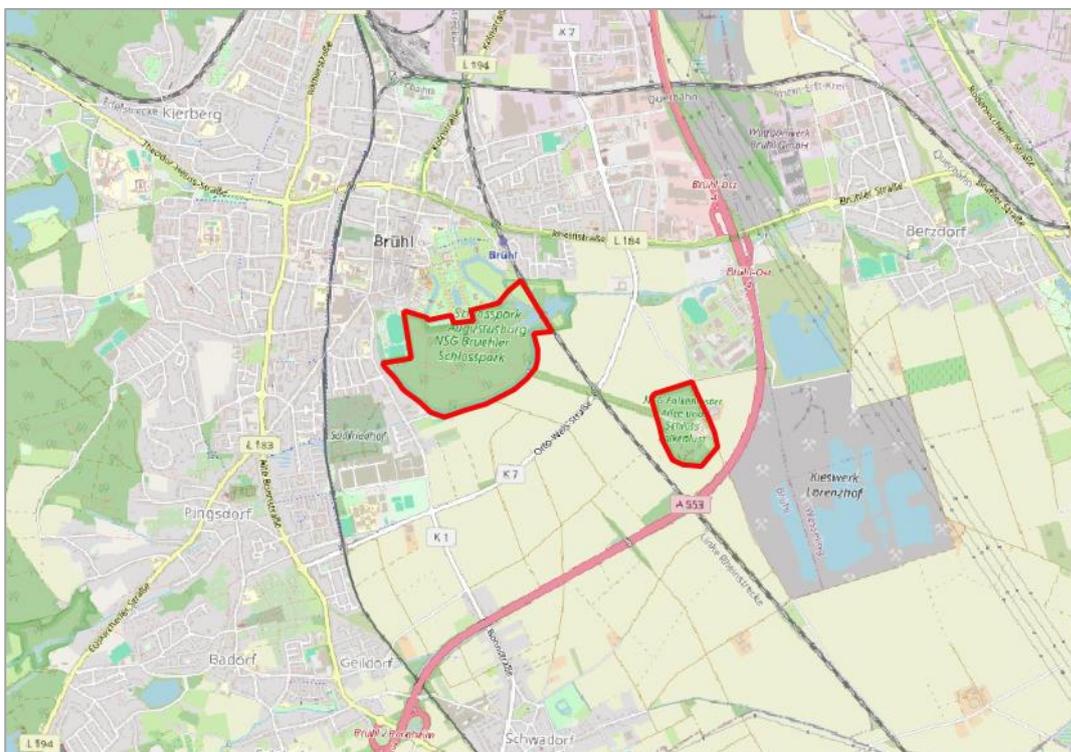


Abbildung 1: Lage der Untersuchungsflächen im Schlosspark Brühl.

Brühl liegt nordwestlich von Bonn und südlich von Köln auf 65 m über NN. Die Naturräumliche Haupteinheit ist die **Köln-Bonner Rheinebene** und innerhalb dieser befindet sich das Untersuchungsgebiet auf der **Linksrheinischen Lössterrassenplatte**. Die Landschaft ist reliefarm und besteht aus teils meterhohen Lössablagerungen, weshalb die Böden sehr fruchtbar sind und intensiv landwirtschaftlich genutzt werden (LANUV NRW, 2022). Dadurch ist die Köln-Bonner Rheinebene weitestgehend entwaldet. Noch vorhandene Waldbestände wie der des Schlosspark Brühls bilden daher wichtige Biotope in der ansonsten ausgeräumten Landschaft (Abbildung 1).

2.3 Boden

Die Böden im Untersuchungsgebiet bestehen aus tonigen Schluffen. Die Bodenkarte 1:50.000 des GEOLOGISCHEN DIENSTES (GD) NRW (2023) gibt für diesen Standort Kolluvisol-Pseudogleye und Pseudogley-Kolluvisole sowie Parabraunerden als Bodentypen an. Pseudogleye sind durch Staunässe gekennzeichnete Böden, die jedoch in längeren niederschlagsfreien Phasen auch austrocknen können. Kolluvisole hingegen sind meist tiefgründige, humusreiche Böden. Im Schlosspark Brühl haben sich Übergangsformen dieser beiden Bodenarten entwickelt, die staunässeempfindlich, aber dennoch humusreich sind. Parabraunerden neigen durch Tonverlagerungen aus dem Oberboden in den Unterboden zu Staunässe, sind aber im Gegensatz zu Pseudogley-Böden noch gut durchwurzelbar (AMELUNG ET AL., 2018).

Eine genauere Einordnung der Bodentypen liefert die Forstliche Bodenkarte 1:5.000 (Abbildung 2). Laut dieser setzt sich der Boden in dem Parkwaldbereich bei Augustusburg zum überwiegenden Teil aus Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden zusammen. Kleinere Bereiche bestehen zudem aus Podsol-Braunerden im Nordosten sowie Braunerde- und Parabraunerde-Pseudogleyen im südöstlichen Bereich und einer weiteren Fläche im Westen. Im nördlichen, östlichen und südlichen Randbereich befinden sich Böden, die durch anthropogene Aufschüttungen nur schlecht entwickelt sind. Sie haben dennoch eine tiefe Gründigkeit von über 20 m (BOTSCHKEK & LAUER-UCKERT, 2023).

In dem Parkbereich bei Falkenlust befinden sich ebenfalls hauptsächlich Pseudogley-Parabraunerden. Der zentrale Bereich wird von Böden gebildet, die aufgrund anthropogener Aufschüttungen schlecht entwickelt, aber dennoch tiefgründig sind. Zudem gibt es im Südwesten einen Bereich mit Braunerden.

Die Böden im Untersuchungsgebiet sind in der von Pflanzenwurzeln erreichbaren Tiefe nicht mit dem Grundwasser verbunden (BOTSCHKEK & LAUER-UCKERT, 2023).

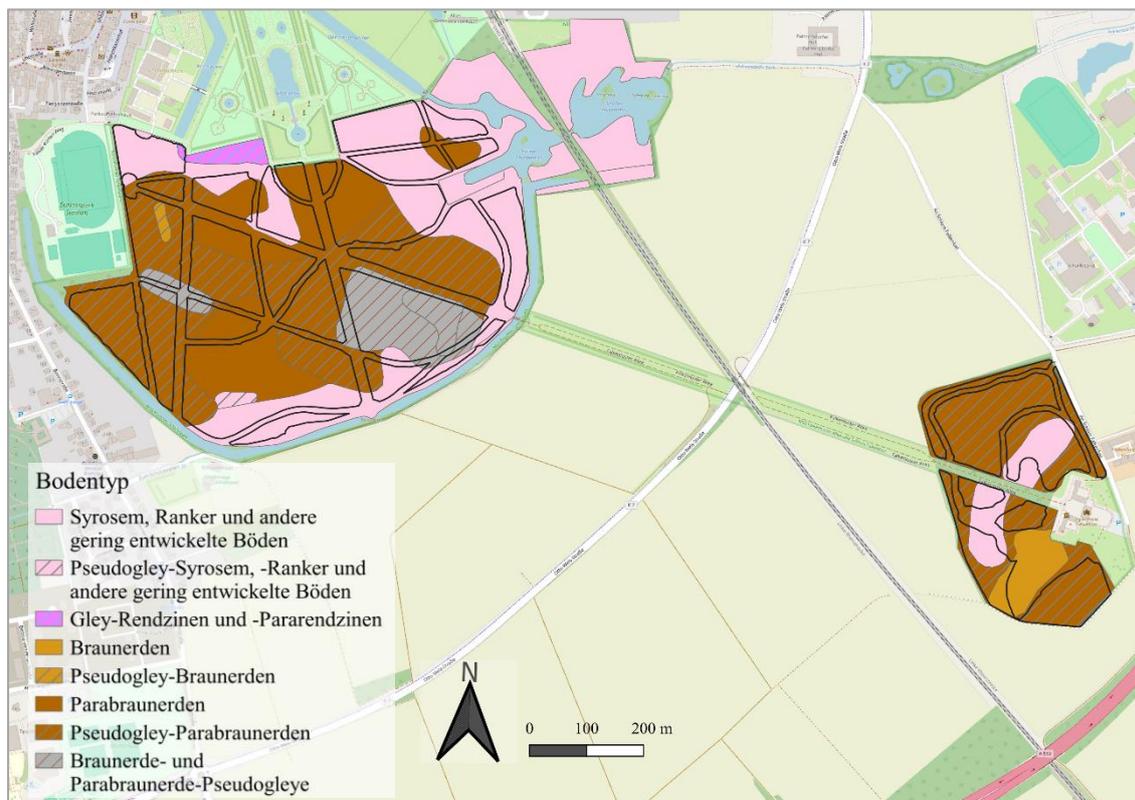


Abbildung 2: Bodentypen im Schlosspark Brühl gemäß der Forstlichen Bodenkarte 1:5.000 (GD NRW, 2010)

2.4 Klimatische Verhältnisse

Die Köln-Bonner Rheinebene ist durch ein gemäßigtes ozeanisches Klima mit milden Wintern und mäßig warmen Sommern gekennzeichnet. Die durchschnittliche Lufttemperatur in Brühl im Zeitraum von 1991 bis 2020 liegt bei 10,9 °C, die durchschnittliche Niederschlagssumme im selben Zeitraum beträgt 679 mm (LANUV NRW, 2024).

2.5 Heutige potentiell natürliche Vegetation

Die heutige potentiell natürliche Vegetation beschreibt die Vegetation, die sich unter den aktuellen ökologischen Bedingungen ohne anthropogene Beeinflussung einstellen würde. Die heutige potentiell natürliche Vegetation im Bereich Augustusburg ist der Waldziest-Eschen-

Hainbuchenwald (**Stellario-Carpinetum stachyetosum**). Dieser befindet sich auf wechselfeuchten bis feuchten Standorten, oft auf Pseudogleyböden. In der Baumschicht befinden sich neben *Carpinus betulus* auch Edellaubholzarten wie *Fraxinus excelsior* oder *Quercus robur*. Die Krautschicht ist durch Feuchte- und Nährstoffzeiger wie *Stachys sylvatica*, *Circaea lutetiana* oder *Aegopodium podagraria* charakterisiert (SUCK ET AL., 2013; SUCK ET AL. 2014). Im Bereich der Falkenlust ist die heutige potentiell natürliche Vegetation das **Galio odorati-Fagetum**. Dieses ist ein artenreicher Buchenwaldkomplex mit einem typischen Vorkommen im subozeanischen Klima. Dieser Vegetationstyp befindet sich auf nährstoffreichen, lehmigen Braunerden und zeichnet sich durch Arten wie *Melica uniflora*, *Galeobdolon luteum* und *Galium odoratum* aus, sowie im Frühjahr mit Geophyten wie *Anemone nemorosa* oder *Ficaria verna* (SUCK ET AL., 2013; SUCK ET AL. 2014) (Abbildung 3).

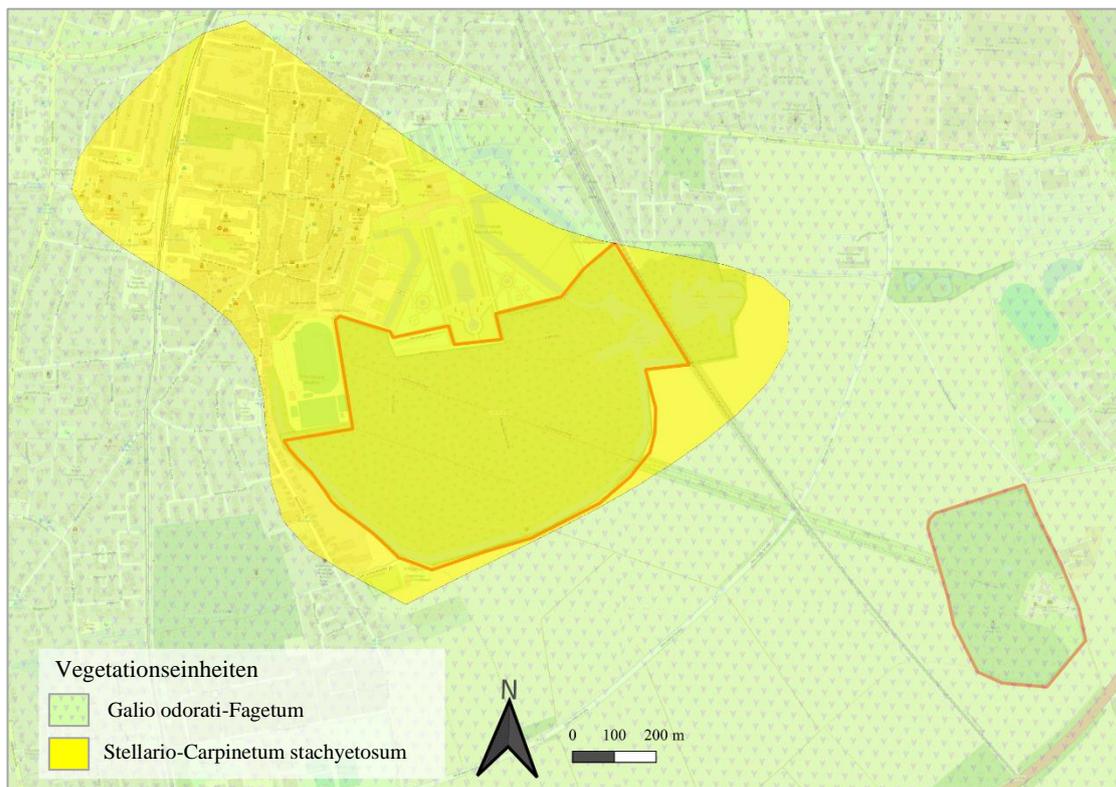


Abbildung 3: Heutige potentielle natürliche Vegetation des Untersuchungsgebietes (BFN, 2015)

3. Material und Methoden

3.1 Kartiergrundlage

Zur Vorbereitung der Kartierung wurde das Gebiet in QGIS (Version 3.22.12, 2022) bearbeitet. Als Hintergrundkarte wurde OpenStreetMap verwendet (OPENSTREETMAP, 2024). Ein Plan des Schlossparkgeländes lag von dem Vermessungsbüro STEDEN & MAGENDANZ (2022) vor. Daraus wurden 31 Teilflächen aufgearbeitet, davon 24 in Augustusburg und 7 in Falkenlust. Von den Teilflächen wurde eine Pufferzone von zwei Metern zum Rand der Fläche berechnet, in denen keine Vegetationsaufnahmen durchgeführt wurden. So sollte ausgeschlossen werden, dass Flächen untersucht wurden, bei denen äußere Einflüsse sich auf die Vegetation auswirken.

3.2 Vegetationsaufnahmen

Die Vegetationsaufnahmen erfolgten nach der Methode von BRAUN-BLANQUET mit einer Abschätzung der prozentualen Deckungsgrade jeder Art. Zusätzlich wurde die Vegetation in fünf Schichten unterteilt (Tabelle 1). Die Standortauswahl erfolgte nach einer zufälligen Stichprobenverteilung. In QGIS wurden dafür zufällig verteilte Punkte in die zu untersuchenden Flächen geplottet, um die Standorte der Vegetationsaufnahmen zu bestimmen. Die zufällig ausgewählten Punkte wurden dann mit Hilfe der vorbereiteten Karte und einem GPS-Gerät vor Ort aufgesucht. Die Flächen der einzelnen Vegetationsaufnahmen betragen jeweils 100 m². Auf jeder Aufnahmefläche wurden zwei Vegetationsaufnahmen durchgeführt, jeweils im Frühjahr und im Sommer. Im Frühjahr lag dabei der Fokus auf den Geophyten, im Sommer auf den Gehölzen und der übrigen Vegetation. Die Ergebnisse der beiden Aufnahmen einer Fläche wurden später zusammengefügt. Von Arten, die sowohl im Frühjahr als auch im Sommer erfasst wurden, wurde der jeweils höhere notierte Deckungsgrad übernommen. Die Größe von 100 m² ist für Vegetationsaufnahme im Wald eher klein und entspricht nach DIERBEN (1990) der Mindestgröße, die eine Vegetationsaufnahme in

Tabelle 1: Einteilung der Vegetationsschichten nach ihrer Wuchshöhe

Schicht	Wuchshöhe [m]
Krautschicht	0-1,5
Strauchschicht 1	1,5-3
Strauchschicht 2	3-5
Baumschicht 1	5-15
Baumschicht 2	>15

einem Wald haben sollte. Um möglichst viele Vegetationsaufnahmen auf den teilweise recht kleinen Teilflächen des Untersuchungsgebietes durchführen zu können, wurde sich dafür entschieden, die Fläche der einzelnen Vegetationsaufnahmen auf 100 m² festzusetzen.

Im Schlosspark Brühl befinden sich neben den bewaldeten Flächen auch andere, offene Vegetationsformen, beispielsweise die Säume entlang der Gräben oder Grünflächen. Um diese Vegetationstypen beispielhaft darzustellen und das Blühpotential dieser Flächen zu bestimmen, wurden Vegetationsaufnahmen auf einer Grünfläche entlang einer viel belauften Lindenallee durchgeführt. Diese Grünfläche wird normalerweise mehrmals im Jahr gemäht und kurzgehalten, sodass sich die Vegetation hier nicht vollständig ausbilden kann. Für die geplanten Vegetationsaufnahmen wurden zwei Flächen umzäunt, sodass sichergestellt werden konnte, dass diese für den Zeitraum der Untersuchung nicht gemäht wurden. Die Größe der Vegetationsaufnahmen dort betrug 16 m² und wurden ebenfalls nach der Methode von BRAUN-BLANQUET durchgeführt.

Die Bestimmung der Pflanzen erfolgte im Feld. Als Grundlage für die Nomenklatur der Arten wurde der ROTHMALER, 21. Auflage (JÄGER, 2017) verwendet.

3.3 Vitalitätsuntersuchungen

Zeitgleich mit den Vegetationsaufnahmen im Frühjahr wurde eine Vitalitätsansprache des Baumbestandes durchgeführt. Die Beurteilung erfolgte nach der Methode von ROLOFF (2018). Eine Einarbeitung in die Methodik erfolgte durch Herrn Dr. Arnold, einen im Schlosspark Brühl beschäftigten Baumgutachter. Die Vitalitätsansprache erfolgte an allen Bäumen, deren Kronen bis ins oberste Kronendach ragten und deren Stämme innerhalb einer Aufnahme­fläche oder leicht außerhalb standen, so dass deren Kronen noch in die Aufnahme­fläche hineinragten. Das Kronenbild der Bäume wurde bewertet und in die Stufen 0 – 4 eingeordnet (Tabelle 3).

Tabelle 2: Einteilung der Wuchsklassen nach LANUV NRW (2021)

Wuchsklasse	Durchmesser [cm]
Stangenholz	7-14
geringes Baumholz	14-38
mittleres Baumholz	38-50
starkes Baumholz	50-80
sehr starkes Baumholz	80-100
mächtiges Baumholz	>100

Um eine detailliertere Auswertung der Vitalität zu ermöglichen, wurden die Bäume entsprechend ihres Durchmessers in sechs Wuchsklassen eingeteilt (Tabelle 2). Da bei den Untersuchungen der Umfang der Bäume gemessen wurde, wurde der Durchmesser aus diesem mathematisch errechnet.

Tabelle 3: Bewertungsschema der Vitalitätsstufen nach ROLOFF (2018)

Vitalitätsstufe	Bedeutung
0	keine Vitalitätsmängel, deutlicher Längenzuwachs, Triebe reichlich verzweigt
1	leichte Vitalitätsmängel, Längenzuwachs und Verzweigung abnehmend
2	deutliche Vitalitätsmängel, kaum Längenzuwachs und Verzweigung, Krone mit deutlichen Lücken
3	starke Vitalitätsmängel, kaum/kein Wachstum, komplette Kronenteile ausgefallen, Totholz vorhanden
4	abgestorben

3.4 Auswertung

Die Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen und der Vitalitätsansprache wurden in Microsoft-Excel festgehalten. Die Auswertung und Darstellung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm R (Version 4.3.1, 2023) und Juice (Version 7.1.24; Tichý, 2002), die Karten wurden mit QGIS (Version 3.22.12, 2022) erstellt.

Für die Auswertung der Vegetationsdaten wurde mittels einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) eine Ordination erstellt. Um Gruppen mit ähnlicher Vegetation zu ermitteln, wurde zudem eine Clusteranalyse nach dem average-linkage-Verfahren mit Chord-Distanz durchgeführt. Die Treue-Werte (Φ -Wert) der Arten wurden berechnet und eine Analyse der Indikator-Arten durchgeführt. Zusätzlich erfolgte eine TWINSPAN-Analyse in Juice.

Die Zeigerwerte nach ELLENBERG wurden für alle Arten der Krautschicht bestimmt und die gewichteten mittleren Zeigerwerte berechnet.

Die pflanzensoziologische Einordnung der Vegetationsaufnahmen erfolgte über die Arten der Krautschicht angelehnt an die Methoden von ELLENBERG (1996), OBERDORFER (1992) und POTT (1995) unter der Hinzunahme der Arten der Baumschicht (GEHLKEN, 2008).

Die Ergebnisse der Zeigerwerte sowie der pflanzensoziologischen Untersuchung wurden für eine nachträgliche Überprüfung (post hoc) auf Zusammenhänge der Vegetation und der Umweltvariablen mit der ordiellipse-Funktion des R-Pakets „vegan“ (OKSANEN ET AL., 2022) auf die eingangs erstellte Ordination übertragen.

Um die Frage beantworten zu können, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Umfang der Bäume und deren Vitalität gibt, wurden beide Parameter gegeneinander ausgewertet. Da es sich bei den Vitalitätsstufen um eine nicht-parametrische Ordinal-Skala mit fünf Gruppen (Vitalitätsstufen 0, 1, 2, 3, 4) handelt, wurde zur statistischen Auswertung zunächst ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau liegt bei 5%. Anschließend wurde ein paarweiser Wilcoxon-Rang-Test mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt, der die Gruppen einzeln untereinander vergleicht. Es galt das gleiche Signifikanzniveau wie bei dem vorangegangenen Kruskal-Wallis-Test.

Weiterhin wurde die Vitalität der Waldflächen in jeder Wuchsklasse beurteilt. Da die Anzahl der Bäume einer einzelnen Aufnahmefläche meist gering war, wurden dafür die angesprochenen Bäume aller Aufnahmeflächen innerhalb einer Teilfläche des Untersuchungsgebietes zusammengefasst und die durchschnittliche Vitalitätsstufe jeder Wuchsklasse innerhalb einer Teilfläche berechnet.

Als weiteres Maß für die Vitalität eines Waldes gilt die Altersstruktur des Bestandes. Um diese zu beurteilen, wurde die Anzahl der Wuchsklassen innerhalb einer Teilfläche bewertet. Ebenso wie bei der Bewertung der durchschnittlichen Vitalitätsstufen je Wuchsklasse wurde nicht jede Aufnahmefläche einzeln, sondern die gesamten Teilflächen betrachtet.

4. Ergebnisse

4.1 Vegetationsaufnahmen

4.1.1 Überblick

Im Frühjahr 2023 wurden 61 Vegetationsaufnahmen im Wald durchgeführt, von diesen wurden im Sommer 2023 58 Vegetationsaufnahmen wiederholt. Die Standorte der Vegetationsaufnahmen sind in Abbildung 4 dargestellt. Drei der im Frühjahr untersuchten Flächen waren entweder nicht mehr genau aufzufinden oder durch zu dichtes Unterholz nicht mehr zugänglich (Aufnahmen Nr. 2, 27 und 41, in Abbildung 4 nicht dargestellt). Insgesamt wurden auf den untersuchten Flächen 62 Arten erfasst. Die höchste Artenzahl einer einzelnen Fläche betrug 26 (Aufnahme 50 und 53), die niedrigste acht (Aufnahme 13). Die mittlere Artenzahl aller Flächen betrug 17,3.

Auf der Grünfläche wurden zwei Vegetationsaufnahmen durchgeführt (Aufnahmen A und B, vgl. Abbildung 4).

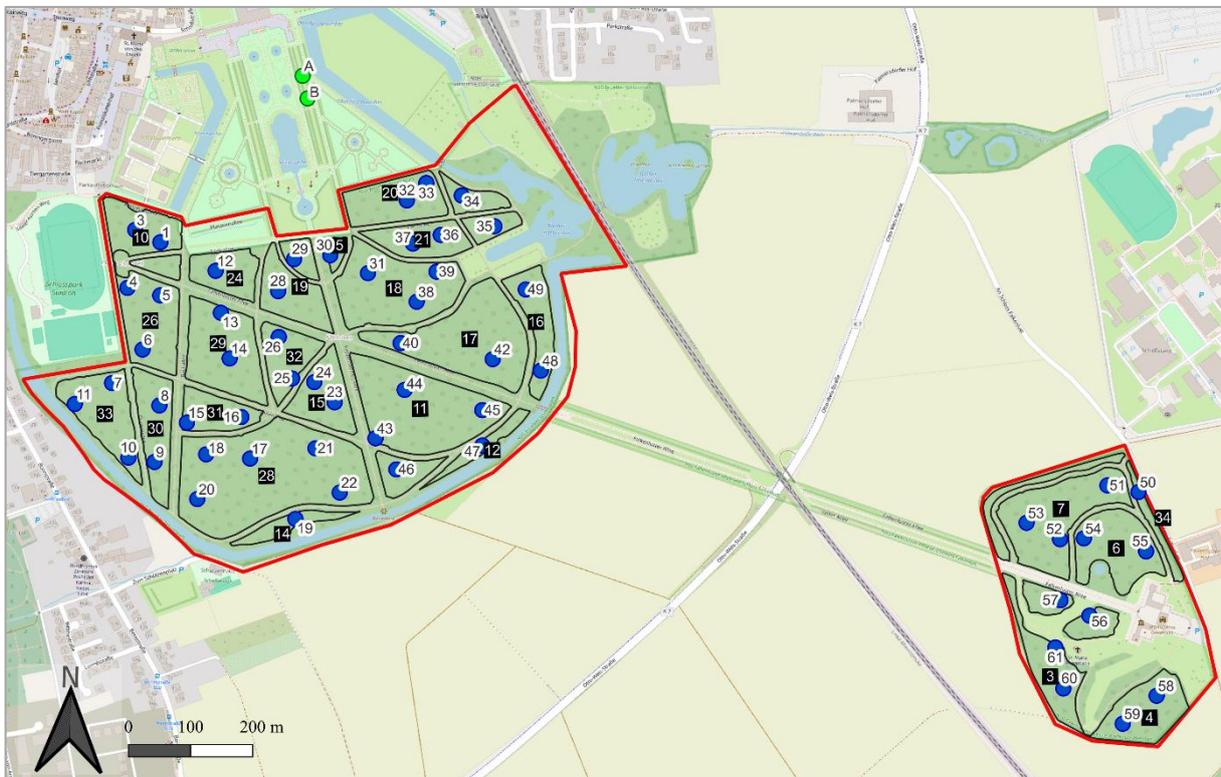


Abbildung 4: Lage und Nummerierung der Vegetationsaufnahmen im Untersuchungsgebiet.

Die **Krautschicht** war mit 58 verschiedenen Arten die artenreichste Schicht. Die häufigsten Arten in dieser Schicht waren *Arum maculatum* und *Hedera helix*, die jeweils auf 55 Flächen vorkamen, *Corydalis cava* auf 54 Flächen und *Acer platanoides* und *Anemone nemorosa*, die auf jeweils 42 Flächen vorhanden waren. Die **Strauchschicht 1** wies 27 Arten auf, davon am häufigsten *Acer platanoides*, der auf 44 Flächen vorkam. Weitere häufige Arten in dieser Schicht waren *Acer pseudoplatanus* (40), *Sambucus nigra* (36), *Carpinus betulus* (21) und *Fagus sylvatica* (20). In der **Strauchschicht 2** waren 20 Arten vorhanden. Auch in dieser Schicht war *Acer platanoides*, der auf 37 Flächen auftrat, die am häufigsten vorkommende Art, gefolgt von *Sambucus nigra* auf 36 Flächen, *Acer pseudoplatanus* auf 33 Flächen, *Prunus avium* auf 18 Flächen und *Tilia cordata* auf 16 Flächen. Die **Baumschicht 1** wies insgesamt 14 Arten auf. *Acer platanoides* war in dieser Schicht mit 34 Vorkommen die häufigste Art. Zweithäufigste Art war *Fagus sylvatica* auf 24 Flächen, weiterhin *Carpinus betulus* auf 15 Flächen, *Acer pseudoplatanus* auf 14 Flächen und *Prunus avium* sowie *Tilia cordata*, die jeweils auf 11 Flächen vorhanden waren. In der **Baumschicht 2** kamen 14 verschiedene Arten vor. Häufigste Art in dieser Schicht war *Fagus sylvatica*, die auf 45 Flächen auftrat, *Acer pseudoplatanus* kam auf 23 der untersuchten Flächen vor, *Carpinus betulus* auf 21 Flächen, die nächsthäufigeren Arten waren *Fraxinus excelsior* mit 18 Vorkommen und *Acer platanoides*, der auf 17 Flächen vorhanden war.

4.1.2 Vegetationstypen

Die Ordination zeigte zunächst keine deutliche Auftrennung der Aufnahmeflächen in einzelne Gruppen. Auch die durchgeführte Clusteranalyse ergab keine sinnvolle Aufteilung. In dem resultierenden Dendrogramm sind die Distanzen insgesamt sehr gering und es kann kein Cut gesetzt werden, durch den die Herausbildung gut zu interpretierender Gruppen deutlich wird. Die weitergehende Auswertung der phi-Werte sowie der interspecific associations in Juice ergab ebenfalls keine Indikatorarten, die zur Herausarbeitung von einzelnen Gruppen hinzugezogen werden können.

Über die Arten der Baumschicht konnte die Vegetation jedoch in unterschiedliche Gruppen eingeteilt werden und über die Arten der Krautschicht den herkömmlichen Pflanzengesellschaften zugeordnet werden (Abbildung 5). Die Zuordnung der Vegetationsaufnahmen zu den Vegetationstypen ist auch der beigelegten Vegetationstabelle zu entnehmen.

Das untersuchte Gebiet ist einerseits durch dichte Bestände von *Fagus sylvatica* gekennzeichnet, auf anderen Flächen tritt diese Art jedoch gegenüber anderen Baumarten wie *Acer platanoides* oder *Carpinus betulus* zurück oder fehlt auf manchen Flächen sogar ganz.

Von allen anderen Flächen herauszustellen ist die Fläche mit der Aufnahme Nummer 13 (vgl. Abbildung 5) Diese ist die einzige Fläche mit einem Vorkommen von *Pseudotsuga menziesii*. Abgesehen davon ist die Baumschicht sehr licht und die Fläche bis in eine Höhe von ca. 2 m vollständig von *Rubus fruticosus* bedeckt. Dadurch ist die Krautschicht kaum entwickelt und die gesamte Fläche artenarm.

Zusätzlich gibt es eine Fläche, auf der *Tilia cordata* die dominierende Art der Baumschicht ist (Aufnahme 3), auf einer weiteren Fläche bildet *Fraxinus excelsior* maßgeblich die Baumschicht aus (Aufnahme 53).

Die Flächen, in denen *Fagus sylvatica* die Baumschicht dominiert, können dem Verband des **Fagion sylvaticae** zugeordnet werden. Auf Assoziationsniveau sind diese Flächen am ehesten dem **Galio odorati-Fagetum** beizustellen, da es sich um artenreiche Bestände (mittlere Artenzahl = 27,8) auf Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden handelt, obwohl die namensgebende Charakterart gänzlich fehlt (DIERSCHKE 1985) .

Weiterhin gibt es Flächen mit **Mischbeständen von *Fagus sylvatica* und *Acer platanoides***. Auf diesen tritt *Fagus sylvatica* noch in hohen Deckungsgraden von über 50% auf und nimmt meist die Baumschicht 2 ein. In der Baumschicht 1 überwiegt auf diesen Flächen *Acer platanoides*. Die mittlere Artenzahl dieser Flächen beträgt 27,4.

Auf den Flächen, auf denen *Fagus sylvatica* zurücktritt und nur geringe Deckungsgrade aufweist oder ganz fehlt, tritt *Carpinus betulus* in höheren Anteilen auf, oftmals in Begleitung von *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* und *Tilia cordata*. Diese Artenkonstellation lässt eine Einteilung in den Verband des **Carpinion betuli** zu (DIERSCHKE, 1986; ELLENBERG, 1996). In der Krautschicht kommen häufig *Arum maculatum*, *Circaea lutetiana*, *Ficaria verna* und *Glechoma hederaceae* vor, welche laut DIERSCHKE (1986) Kennarten für die Assoziation des **Stellario holostea-Carpinetum betuli** sind, auch wenn hier die namensgebende *Stellaria holostea* nicht vorkommt. Die mittlere Artenzahl beträgt 25,7.

Des Weiteren gibt es einige Flächen, mit **Dominanzbeständen von *Acer platanoides*** mit einer mittleren Artenzahl von 25,7. Andere Arten der bisher genannten Gruppen, wie beispielsweise *Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* und *Tilia cordata*, seltener auch *Fagus sylvatica* kommen auf diesen Flächen meist auch vor, allerdings nur in geringen Deckungsgraden.

Die Arten der Krautschicht zeigen keine Aufteilung in die oben beschriebenen Gruppen. Dazu zählen unter anderem *Anemone nemorosa*, *Arum maculatum*, *Corydalis cava*, *Ficaria verna* und *Circaea lutetiana*. Sie verteilen sich meist über alle untersuchten Flächen und sind nicht an das Vorkommen bestimmter Arten der Baumschicht gebunden.

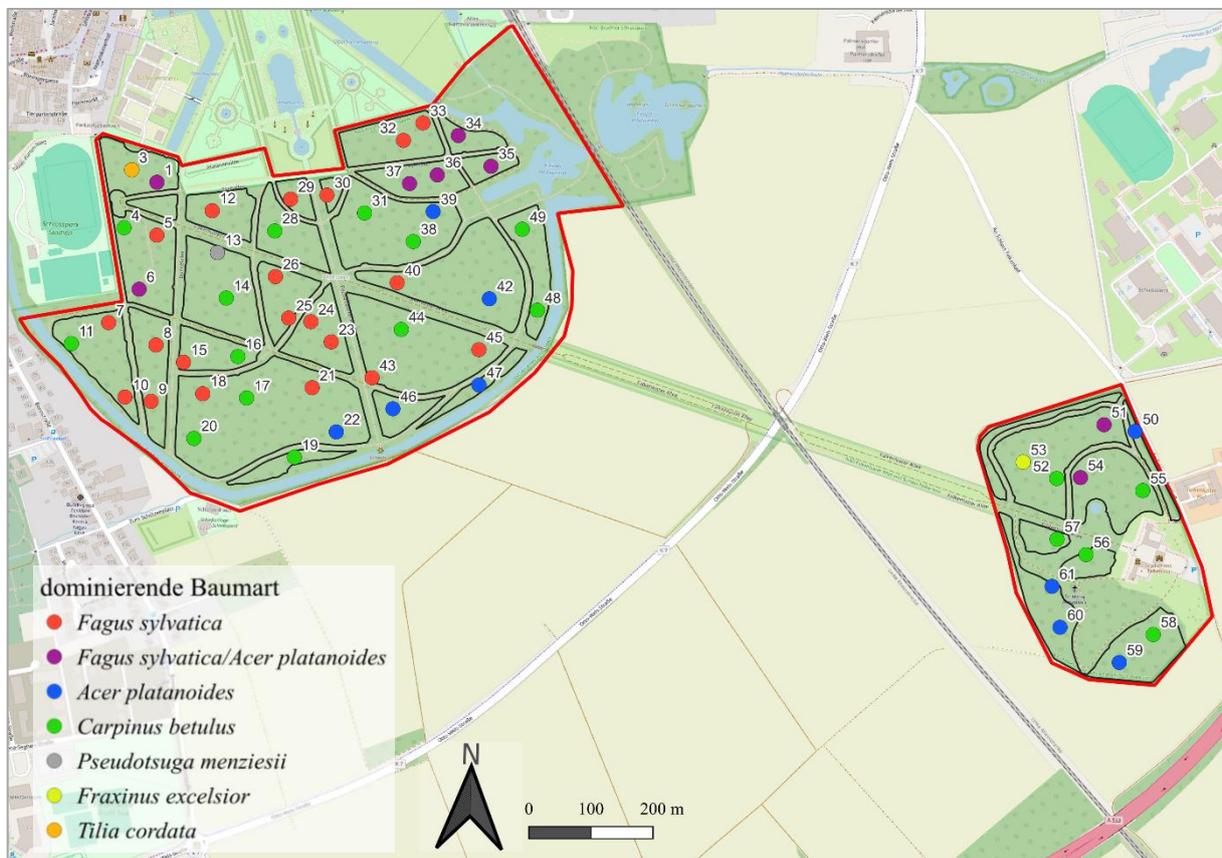


Abbildung 5: Zuordnung der Vegetationstypen der Aufnahmeflächen anhand der dominierenden Baumart.

4.1.3 Zeigerwerte

Die Verteilung der mittleren gewichteten Zeigerwerte ist in Abbildung 6 dargestellt. Die mittleren gewichteten **Feuchtezahlen** liegen zwischen 5,07 und 6,27, die meisten Aufnahmen liegen in einem Bereich von 5,3 bis 5,4. Dies zeigt einen frischen bis feuchten, aber nicht nassen Boden an. Bei der **Kontinentalitätszahl** lagen die Werte zwischen 2,07 und 4,01, wobei sich die meisten Flächen um den Wert von 3 konzentrieren. Im Untersuchungsgebiet liegt demnach ein ozeanisches bis subozeanisches Klima vor. Der Großteil der Flächen zeigt eine mittlere **Lichtzahl** zwischen 3,7 und 4,0. Die höchste Lichtzahl liegt bei 4,44, die niedrigsten Werte liegen bei 3,09 und 2,37. Bei den Flächen handelt es sich daher meist um schattige bis halbschattige Standorte. Die **Stickstoffzahl** weist von allen Zeigerwerten die größte Spanne

auf. Der niedrigste Wert beträgt 6,01, der höchste Wert 8,47, die meisten Flächen haben einen Wert zwischen 7,4 und 7,8. Dies zeigt mäßig nährstoffreiche bis ausgesprochen stickstoffreiche Böden an. Die mittleren **Reaktionszahlen** liegen zwischen 6,26 und 7,92. Die meisten Flächen weisen Werte von ca. 7,2 oder 7,7 auf, was auf mäßig saure bis schwach basische Böden hinweist. Die mittleren **Temperaturzahlen** zeigen ein deutliches Maximum bei einem Wert von 5,5. Der maximale Wert liegt bei 6, der niedrigste bei 5,04. Es handelt sich um mäßig warme bis warme Standorte.

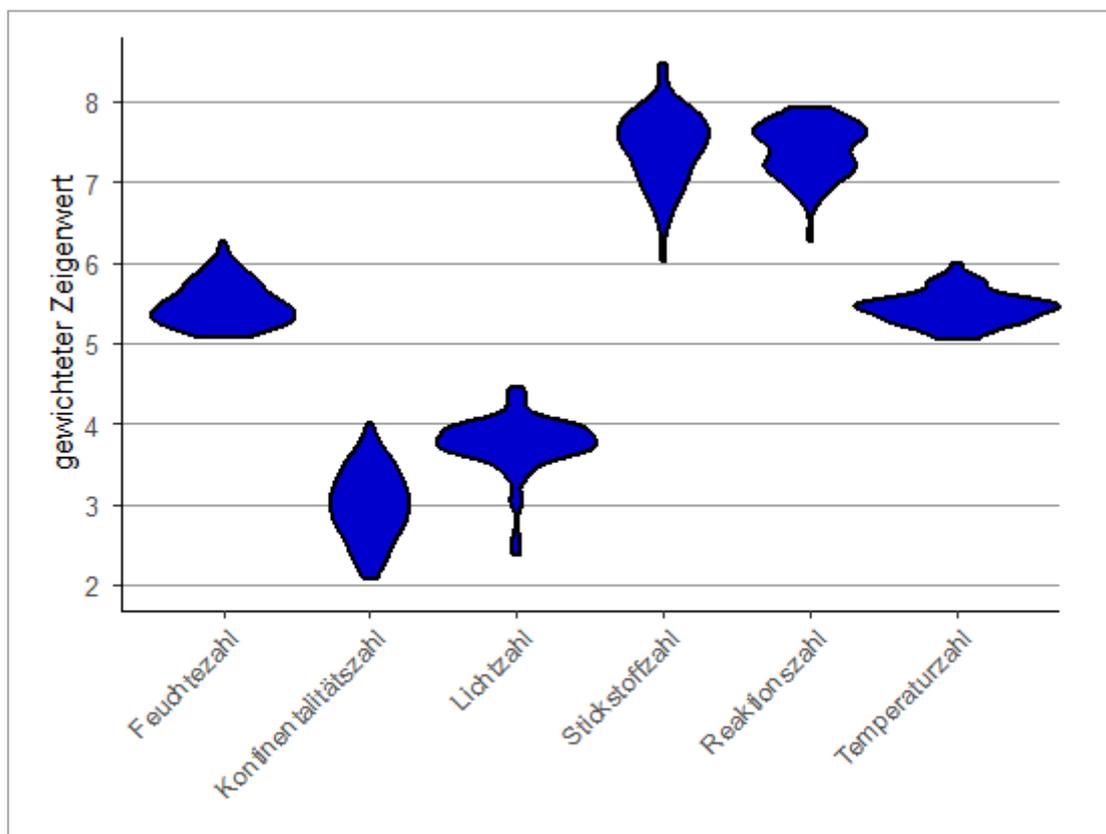


Abbildung 6: Darstellung der gewichteten Zeigerwerte nach ELLENBERG aller Vegetationsaufnahmen.

4.1.4 post-hoc-Analyse

Nach der Einordnung der Vegetationstypen sowie der Zeigerwerte wurden diese in einer post-hoc-Analyse der eingangs erstellten Ordination (Abbildung 7). Auf der x-Achse steht die Lichtzahl der Reaktionszahl als erklärender Gradient gegenüber. Die übrigen Zeigerwerte stehen der Reaktionszahl nahe und zeigen untereinander nur geringe Unterschiede, die die Verteilung der Flächen innerhalb der Ordination nicht erklären können. Die Vegetationstypen zeigen innerhalb der Ordination deutliche Überschneidungen, aber leichte Tendenzen sind

erkennbar, dass sich die Flächen untereinander auftrennen. Die Flächen, die von *Fagus sylvatica* dominiert wurden, stehen am weitesten rechts, die *Acer platanoides*-Dominanzbestände am weitesten links.

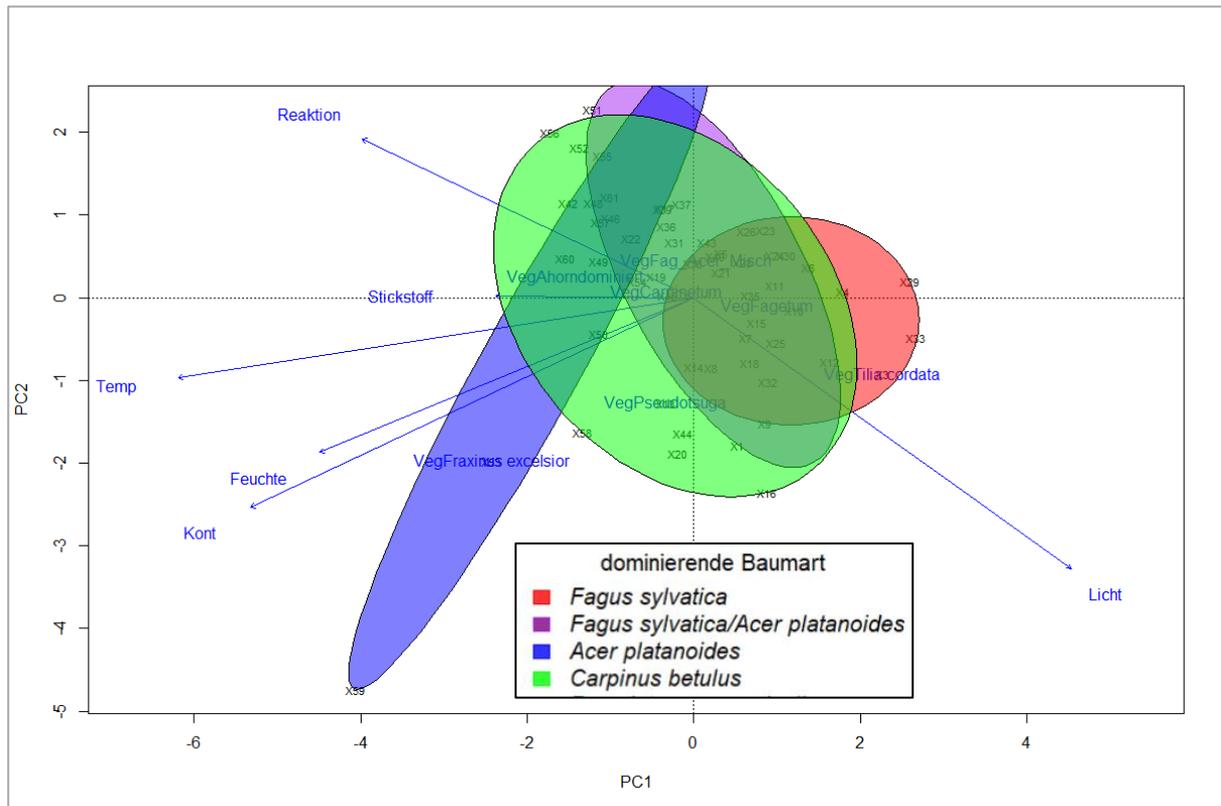


Abbildung 7: Ergebnisse der post hoc-Analyse von Ordination, Vegetationstypen und Zeigerwerteauswertung.

4.1.5 Weitere Vegetationsaufnahmen

Bei den zwei Vegetationsaufnahmen, die auf der Grünfläche entlang der Lindenallee durchgeführt wurden, wurden insgesamt 24 Arten erfasst. Bei der Vegetationsaufnahme auf Fläche A sind 21 Arten vorhanden, bei Vegetationsaufnahme auf Fläche B 20 Arten. 17 der erfassten Arten kamen auf beiden untersuchten Flächen vor. Die Arten mit der höchsten Deckung sind auf Fläche A *Poa pratensis* (60% Deckung), *Agrostis tenuis* (50%) und *Festuca rubra* (10%), auf Fläche B haben ebenfalls *Poa pratensis* (50%) und *Agrostis tenuis* (20%) die höchsten Deckungsgrade, *Festuca rubra*, *Galium verum* und *Lotus corniculatus* sind mit je 10% die Arten mit den dritthöchsten Deckungsanteil.

Die gewichteten mittleren Zeigerwerte beider Flächen sind in Tabelle 4 abgebildet. Die Lichtzahlen liegen bei 6,8 (Fläche A) und 6,8 (Fläche B). Dies zeigt Halblichtpflanzen an, die

meist im vollen Licht stehen, aber auch bei leichtem Schatten noch gut zurechtkommen. Die Temperaturzahlen haben einen Wert von 6,0 bzw. 5,9 und gibt damit ein mäßigwarmen bis warmen Standort an, die Kontinentalitätszahlen liegen bei 3,5 und 3,4, was für ein subozeanisches Klima steht. Mit Feuchtezahlen von 5,0 und 4,7 handelt es sich um frische Standorte, mittlere Reaktionszahlen von 5,4 und 5,8 weisen auf mäßig saure Standorte hin und die mittleren Stickstoffzahlen von 4,6 und 4,7 geben einen mäßig stickstoffreichen Standort an.

Tabelle 4: Mittlere Zeigerwerte nach ELLENBERG der Vegetationsaufnahmen auf einer Grünfläche.

mittlerer Zeigerwert	Fläche A	Fläche B
Licht	6,8	6,8
Temperatur	6,0	5,9
Kontinentalität	3,5	3,4
Feuchte	5,0	4,7
Reaktion	5,4	5,8
Stickstoff	4,6	4,7

4.2 Vitalität

4.2.1 Überblick

Es wurden 276 Bäume aus 14 Arten hinsichtlich ihrer Vitalität untersucht und in Wuchsklassen eingeteilt. Die am häufigsten erfasste Art ist *Fagus sylvatica* mit 123 Individuen, danach folgen *Acer pseudoplatanus* mit 31 und *Acer platanoides* mit 26 Individuen. Die Vitalitätsstufe 1 wurde insgesamt 121-mal und damit am häufigsten vergeben, am zweithäufigsten die Vitalitätsstufe 2 (77). Die Vitalitätsstufen 0 (34) und Vitalitätsstufe 3 (32) wurden beinahe gleich oft vergeben und 12 Bäume wurden mit Vitalitätsstufe 4 und damit als abgestorben beurteilt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse der Vitalitätsuntersuchung. Dargestellt sind die erfassten Arten, die Anzahl der Individuen jeder Vitalitätsstufe, die Gesamtzahl der Individuen jeder Art, die Häufigkeit jeder Vitalitätsstufe (VS) insgesamt und die Anzahl insgesamt angesprochenen Individuen.

	VS 0	VS 1	VS2	VS3	VS 4	Gesamt
<i>Fagus sylvatica</i>	4	57	45	12	5	123
<i>Acer pseudoplatanus</i>	4	10	10	5	2	31
<i>Acer platanoides</i>	16	6	1	2	1	26
<i>Carpinus betulus</i>	8	8	5	2	-	23
<i>Fraxinus excelsior</i>	1	9	6	4	-	20
<i>Quercus rubra</i>	-	7	2	4	1	14
<i>Tilia cordata</i>	-	7	3	1	-	11
<i>Prunus avium</i>	1	8	1	-	-	10
<i>Quercus robur</i>	-	1	3	-	3	7
<i>Tilia platyphyllos</i>	-	4	1	1	-	6
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	-	2	-	-	-	2
<i>Aesculus hippocastanum</i>	-	1	-	-	-	1
<i>Quercus petraea</i>	-	-	-	1	-	1
<i>Ulmus glabra</i>	-	1	-	-	-	1
Gesamt	34	121	77	32	12	276

Bei der Einordnung in die Wuchsklassen wurden insgesamt drei Bäume der Wuchsklasse „Stangenholz“ zugeordnet, 90 Bäume gehören in die Wuchsklasse „geringes Baumholz“ und 70 in die Wuchsklasse „mittleres Baumholz“. Insgesamt 93 Bäume befinden sich in der Wuchsklasse „starkes Baumholz“, sechs Bäume in der Wuchsklasse „sehr starkes Baumholz“ und 14 Bäume in der Wuchsklasse „mächtiges Baumholz“.

Bei der weiteren Auswertung der Wuchsklassen wurden die Arten, die insgesamt mit weniger als zehn Individuen vorkamen (vgl. Tabelle 5), außenvor gelassen, um die Darstellung übersichtlicher zu halten und um mögliche Fehlinterpretationen der Ergebnisse aufgrund der geringen Individuenzahl zu vermeiden. Die Verteilung der Wuchsklassen dieser Arten ist in Tabelle 1 im Anhang dargestellt.

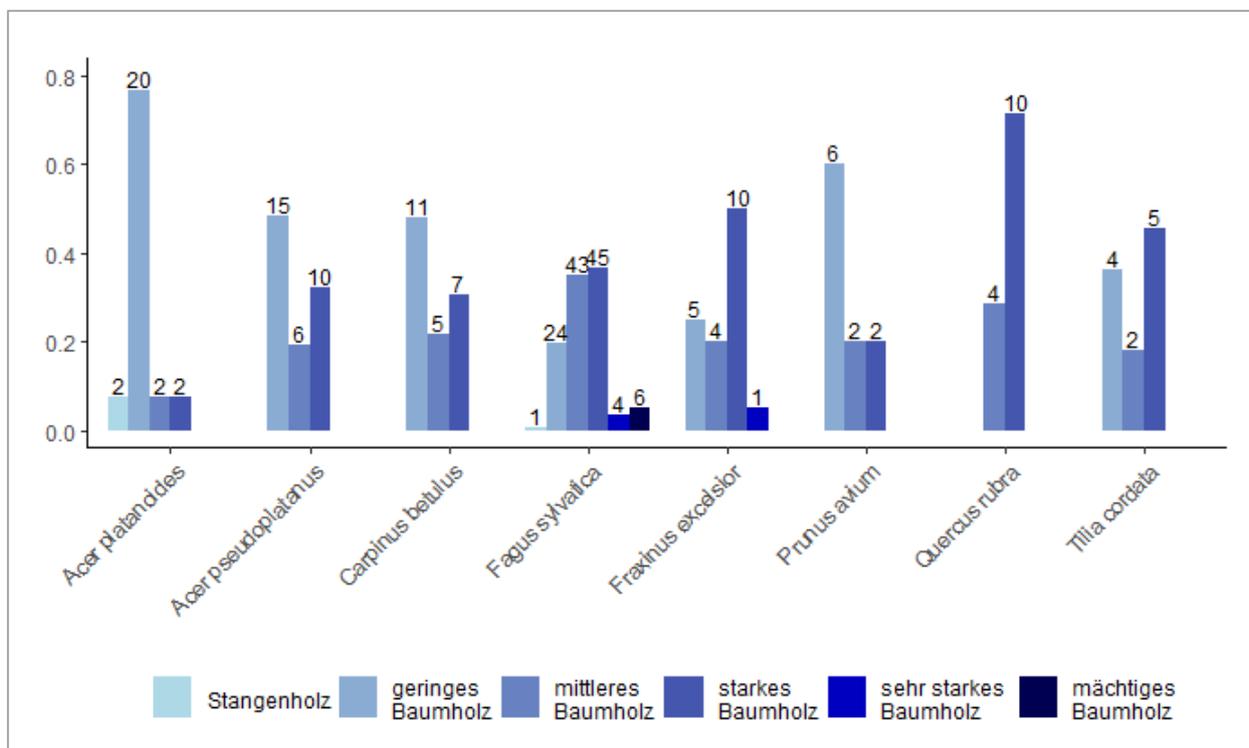


Abbildung 8: Verteilung der Wuchsklassen innerhalb der acht häufigsten Arten. Die Balken zeigen den prozentualen Anteil der jeweiligen Wuchsklasse, die Zahlen über den Balken die absolute Anzahl.

In Abbildung 8 sind die prozentuale Verteilung und die absoluten Häufigkeiten der Wuchsklassen je Art dargestellt. Die Arten *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Carpinus betulus* und *Prunus avium* kamen am häufigsten in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ vor. Bei *Acer platanoides* lag der Anteil der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ bei 76% (20 Individuen), die Wuchsklassen „mittleres Baumholz“, „Stangenholz“ sowie „starkes Baumholz“ waren mit jeweils zwei Individuen vertreten (je 8%). *Acer pseudoplatanus* trat mit 15 Individuen (48,5%) in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ auf, die Wuchsklasse „starkes

Baumholz“ kam bei dieser Art zehn Mal vor (32%) und die Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ sechs Mal (19,5%). Bei *Carpinus betulus* befanden sich elf Individuen in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ (48%), sieben weitere in der Wuchsklasse „starkes Baumholz“ (30%) und fünf in der Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ (22%). Die Art *Prunus avium* war mit insgesamt zehn Individuen vertreten, davon sechs in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ (60%), und jeweils zwei in den Wuchsklassen „mittleres Baumholz“ und „starkes Baumholz“ (je 20%).

Die vier übrigen dargestellten Arten waren am häufigsten mit der Wuchsklasse „starkes Baumholz“ vertreten. Bei *Fagus sylvatica* kam diese Wuchsklasse mit 45 Individuen (37%) vor, als nächsthäufige Wuchsklasse folgte die Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ mit 43 Individuen (35%), dann die Wuchsklasse „geringes Baumholz“ (24 Individuen, 19,5%). In geringen Anteilen waren auch die Wuchsklassen „mächtiges Baumholz“ (sechs Individuen, 5%), „sehr starkes Baumholz“ (vier Individuen, 3%) und „Stangenhholz“ (ein Individuum, 0,5%) vertreten. Die Wuchsklasse „starkes Baumholz“ kam bei *Fraxinus excelsior* mit zehn Individuen vor (50%). Weiterhin traten die Wuchsklassen „geringes Baumholz“ mit fünf Individuen (25%), „mittleres Baumholz“ mit vier Individuen (20%) und „sehr starkes Baumholz“ mit einem Individuum (5%) auf. Bei *Quercus rubra* war die Wuchsklasse „starkes Baumholz“ mit 10 Individuen (71%) vertreten, als einzige weitere Wuchsklasse kam bei dieser Art die Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ mit vier Individuen (29%) vor. *Tilia cordata* war mit fünf Individuen in der Wuchsklasse „starkes Baumholz“ (46%) vertreten, die Wuchsklasse „geringes Baumholz“ war mit vier Individuen (36%), die Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ war mit zwei Individuen (18%) vorhanden, die Wuchsklasse „sehr starkes Baumholz“ kam ein Mal vor (8%).

4.2.2 Statistische Auswertung

Die Berechnung des Kruskal-Wallis-Test für die vorliegenden Daten ergab einen **p-Wert von 2.085e-09**. Da der p-Wert unterhalb des Signifikanzniveaus von 0,05 liegt, zeigt dies signifikante Unterschiede der Gruppen untereinander an.

Die Ergebnisse des paarweisen Wilcoxon-Rang-Tests sind in Tabelle 6 dargestellt. Die Gruppe der Vitalitätsstufe 0 unterscheidet sich signifikant von allen anderen Gruppen. Die Gruppe mit Vitalitätsstufe 1 unterscheidet sich nur von der Gruppe mit Vitalitätsstufe 2 signifikant, nicht

jedoch von den Gruppen mit der Vitalitätsstufe 3 und 4. Die Gruppen mit der Vitalitätsstufe 2, 3 und 4 unterscheiden sich alle nicht signifikant voneinander.

Tabelle 6: Ergebnisse des Wilcoxon-Rang-Tests mit Bonferroni-Korrektur in der post-hoc-Analyse des Kruskal-Wallis-Tests.

	0	1	2	3
1	9.7e-05	-	-	-
2	9.1e-09	0.00104	-	-
3	0.00045	1	1	-
4	0.00247	0.85353	1	1

4.2.3 Vitalität der Wuchsklassen und Arten

Für eine weitergehende Beurteilung des Zustandes der Bäume in den jeweiligen Wuchsklassen werden in dem folgenden Absatz die Verteilung der verschiedenen Vitalitätsstufen je Art für die Wuchsklassen „geringes Baumholz“ (Abbildung 9), „mittleres Baumholz“ (Abbildung 10), und „starkes Baumholz“ (Abbildung 11) dargestellt. Da die Wuchsklassen „Stangenholz“, „sehr starkes Baumholz“ und „mächtiges Baumholz“ jeweils nur mit wenigen Individuen vertreten waren (vgl. Abbildung 8), wurde hier auf eine graphische Darstellung verzichtet. Eine Auflistung der Verteilung der Vitalitätsstufen dieser Wuchsklassen ist Tabelle 2 im Anhang zu entnehmen.

geringes Baumholz

In der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ (Abbildung 9) überwiegen bei allen vorkommenden Arten die Vitalitätsstufe 0 und 1. Bei *Acer platanoides* hatten 14 Individuen (70%) die Vitalitätsstufe 0 und weitere vier Individuen (20%) die Vitalitätsstufe 1. Vitalitätsstufe 3 kam bei dieser Art mit zwei Individuen (10%) vor. Von *Acer pseudoplatanus* kamen vier Individuen mit der Vitalitätsstufe 0 (27%), sechs mit der Vitalitätsstufe 1 (40%), drei mit der Vitalitätsstufe 2 (20%) und zwei mit der Vitalitätsstufe 3 (13%) vor. Bei *Carpinus betulus* hatten drei Individuen die Vitalitätsstufe 0 (27%), fünf hatten die Vitalitätsstufe 1 (46%), zwei weitere Individuen wurden in Vitalitätsstufe 2 eingeordnet (18%) und eines in Vitalitätsstufe 3 (9%). *Fagus sylvatica* kam in dieser Wuchsklasse mit einem Individuum (4%) in Vitalitätsstufe 0 vor. Die Vitalitätsstufe 1 war mit 16 Individuen (67%) am stärksten vertreten, die Vitalitätsstufe 2

kam mit zwei Individuen (8%) und die Vitalitätsstufe 3 mit drei Individuen (13%) vor. Bei dieser Art trat in dieser Wuchsklasse zudem als einzige auch die Vitalitätsstufe 4 mit insgesamt zwei Individuen (8%) auf. Die Art *Fraxinus excelsior* war mit je einem Individuum in Vitalitätsstufe 0, Vitalitätsstufe 2 und Vitalitätsstufe 2 (je 20%) und zwei Individuen in der Vitalitätsstufe 1 (40%) vertreten. Von *Prunus avium* kam jeweils ein Individuum mit Vitalitätsstufe 0 und Vitalitätsstufe 2 (je 17%) und vier weitere mit Vitalitätsstufe 1 (66%) vor. *Quercus rubra* war in dieser Wuchsklasse nicht vertreten, *Tilia cordata* kam mit vier Individuen mit der Vitalitätsstufe 1 (100%) vor.

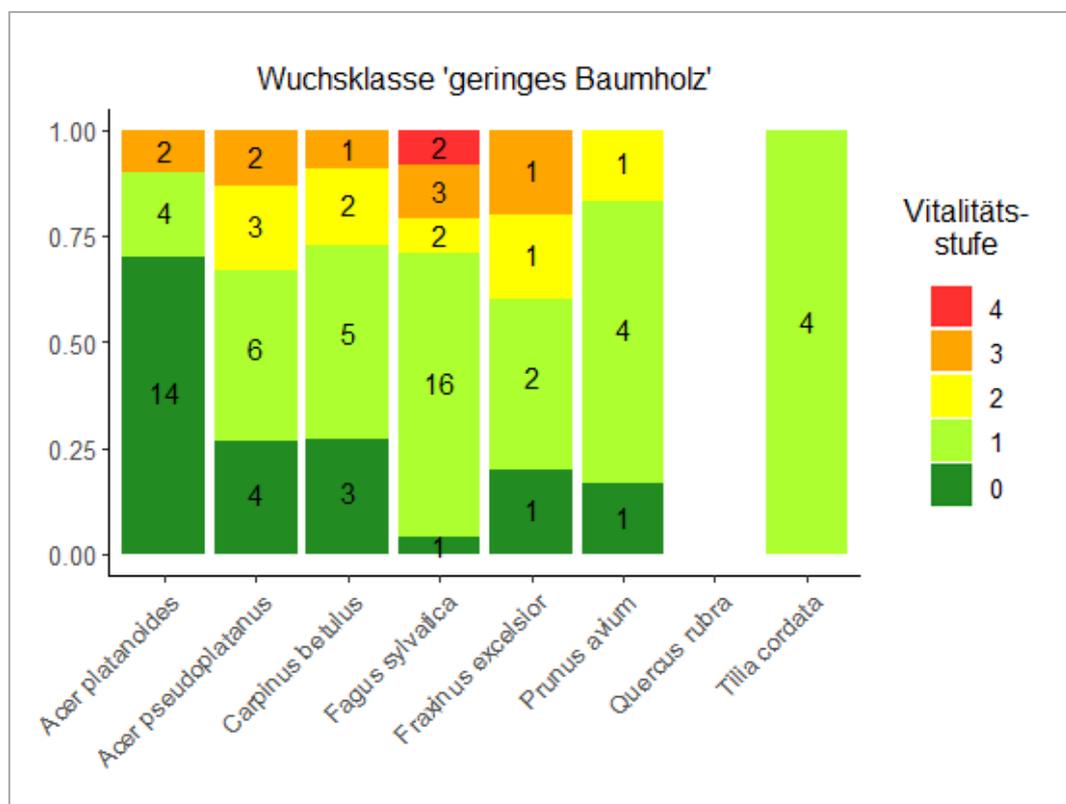


Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der Vitalitätsstufen der acht am häufigsten untersuchten Arten in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“. Die Zahlen innerhalb der Balken geben die absoluten Zahlen an.

mittleres Baumholz

In der Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ (Abbildung 10) kam *Acer platanoides* jeweils einmal mit der Vitalitätsstufe 0 und der Vitalitätsstufe 1 vor (je 50%). Bei *Acer pseudoplatanus* kam die Vitalitätsstufe 0 zwei Mal vor (33%), den größten Anteil hatte in dieser Wuchsklasse die Vitalitätsstufe 2 (drei Individuen, 50%). Zusätzlich kam ein Individuum mit der Vitalitätsstufe

4 vor (17%). *Carpinus betulus* war mit vier Individuen in der Vitalitätsstufe 0 (80%) vertreten, einmal kam die Vitalitätsstufe 2 vor (20%). Von *Fagus sylvatica* hatte ein Individuum die Vitalitätsstufe 0 (2%), am häufigsten kamen die Vitalitätsstufe 1 mit 22 Individuen (51%) und die Vitalitätsstufe 2 mit 14 Individuen (33%) vor. Die Vitalitätsstufe 3 kam vier Mal vor (9%) und die Vitalitätsstufe 4 zweimal (5%). Bei *Fraxinus excelsior* befanden sich jeweils zwei Individuen in Vitalitätsstufe 1 und Vitalitätsstufe 2 (je 50%). *Prunus avium* war in dieser Wuchsklasse mit zwei Individuen vertreten, alle davon in Vitalitätsstufe 1 (100%). Von *Quercus rubra* hatte jeweils ein Individuum die Vitalitätsstufe 1 und Vitalitätsstufe 4 (je 25%) und zwei die Vitalitätsstufe 3 (50%), von *Tilia cordata* hatte jeweils ein Individuum die Vitalitätsstufe 1 und eines die Vitalitätsstufe 3 (je 50%).

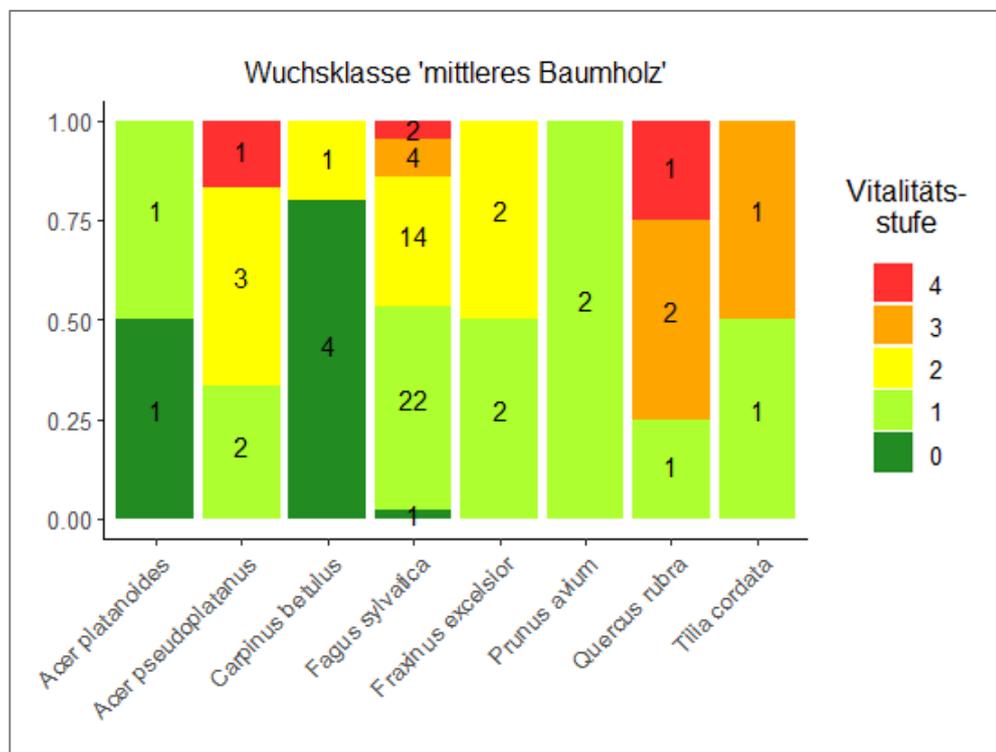


Abbildung 10: Prozentuale Verteilung der Vitalitätsstufen der acht am häufigsten untersuchten Arten in der Wuchsklasse „mittleres Baumholz“. Die Zahlen innerhalb der Balken geben die absoluten Zahlen an.

starkes Baumholz

In der Wuchsklasse „starkes Baumholz“ (Abbildung 11) hatte jeweils ein Individuum von *Acer platanoides* die Vitalitätsstufe 1 und die Vitalitätsstufe 4 (je 50%). Von *Acer pseudoplatanus* wurden zwei Individuen der Vitalitätsstufe 1 zugeordnet (20%), vier Individuen hatten die Vitalitätsstufe 2 (40%), drei die Vitalitätsstufe 3 (30%) und eines die Vitalitätsstufe 4 (10%).

Bei *Carpinus betulus* kam jeweils einmal die Vitalitätsstufe 0 und die Vitalitätsstufe 4 vor (je 14%), dreimal die Vitalitätsstufe 1 (43%) und zweimal die Vitalitätsstufe 2 (29%). *Fagus sylvatica* kam mit zwei Individuen mit Vitalitätsstufe 0 vor (4%), 18 Individuen hatten die Vitalitätsstufe 1 (40%) und 21 Individuen die Vitalitätsstufe 2 (46%). Weitere vier Individuen wurden der Vitalitätsstufe 3 (9%) zugeordnet. Bei *Fraxinus excelsior* kam fünfmal die Vitalitätsstufe 1 vor (50%), dreimal die Vitalitätsstufe 2 (30%) und zweimal die Vitalitätsstufe 3 (20%). *Prunus avium* kam in dieser Wuchsklasse mit zwei Individuen in der Vitalitätsstufe 1 (100%) vor. Bei *Quercus rubra* kam Vitalitätsstufe 1 sechsmal vor (60%) und je zweimal waren die Vitalitätsstufe 2 und Vitalitätsstufe 3 vorhanden (je 20%). *Tilia cordata* war mit zwei Individuen in Vitalitätsstufe 1 (40%) und drei in Vitalitätsstufe 2 (60%) vertreten.

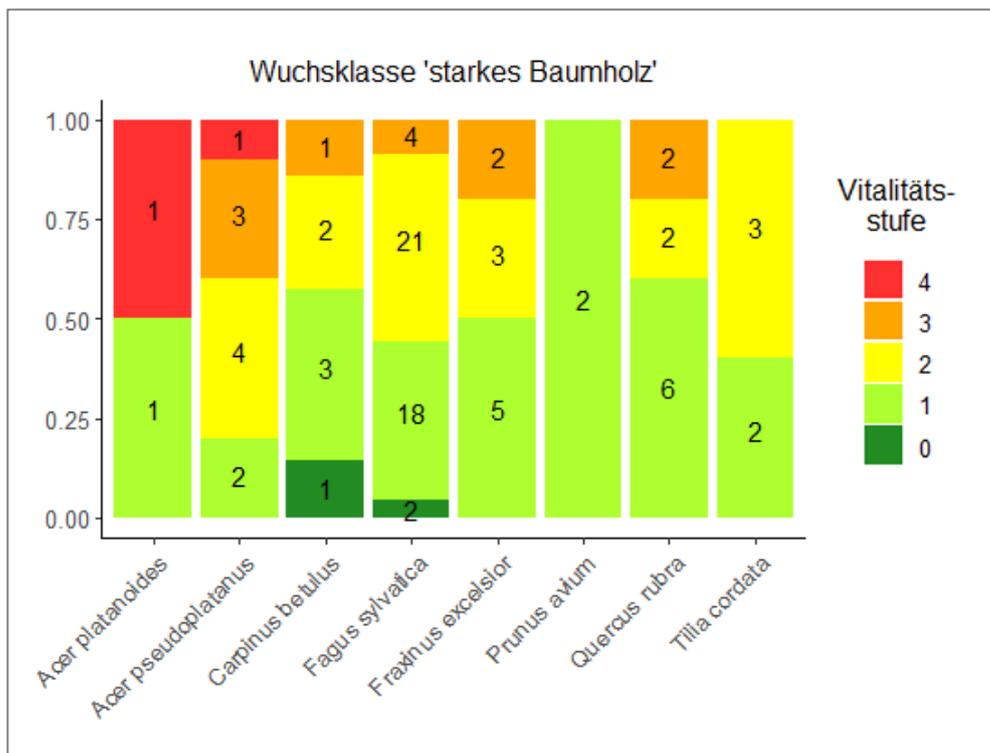


Abbildung 11: Prozentuale Verteilung der Vitalitätsstufen der acht am häufigsten untersuchten Arten in der Wuchsklasse „starkes Baumholz“. Die Zahlen innerhalb der Balken geben die absoluten Zahlen an.

4.2.4 Vitalität der Wuchsklassen in den Teilflächen

Insgesamt sind in dem Untersuchungsgebiet 31 Teilflächen untersucht worden, davon 24 in Augustsburg und sieben in Falkenlust. Für eine Beurteilung der Vitalität in diesen Teilflächen sind im Folgenden die durchschnittlichen Vitalitätswerte für jede Teilfläche und die Wuchsklassen „geringes Baumholz“, „mittleres Baumholz“ und „starkes Baumholz“

dargestellt. Die Wuchsklassen „Stangenholz“, „sehr starkes Baumholz“ und „mächtiges Baumholz“ kamen nur in geringer Anzahl vor und werden daher an dieser Stelle nicht dargestellt. Die entsprechenden Karten befinden sich im Anhang (Abbildung 1-3).

geringes Baumholz

Auf fünf Teilflächen, alle im Bereich Augustusburg, wurden bei der Vitalitätsansprache keine Bäume dieser Wuchsklasse festgestellt (Abbildung 12). Außer der Teilfläche 21 befinden sich diese Teilflächen im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes. 15 Teilflächen hatten in dieser Wuchsklasse eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 0-1, davon zehn in Augustusburg und fünf im Falkenluster Bereich. Bei Falkenlust befinden sich diese Teilflächen im südlichen Parkbereich oder am Waldrand, bei Augustusburg sind sieben dieser Teilflächen im östlichen und drei im westlichen Parkbereich gelegen. Eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 1-2 hatten sieben Teilflächen, davon fünf in Augustusburg und zwei in Falkenlust. In Augustusburg liegen vier der fünf Teilflächen im westlichen Bereich, eine im östlichen Bereich, in Falkenlust

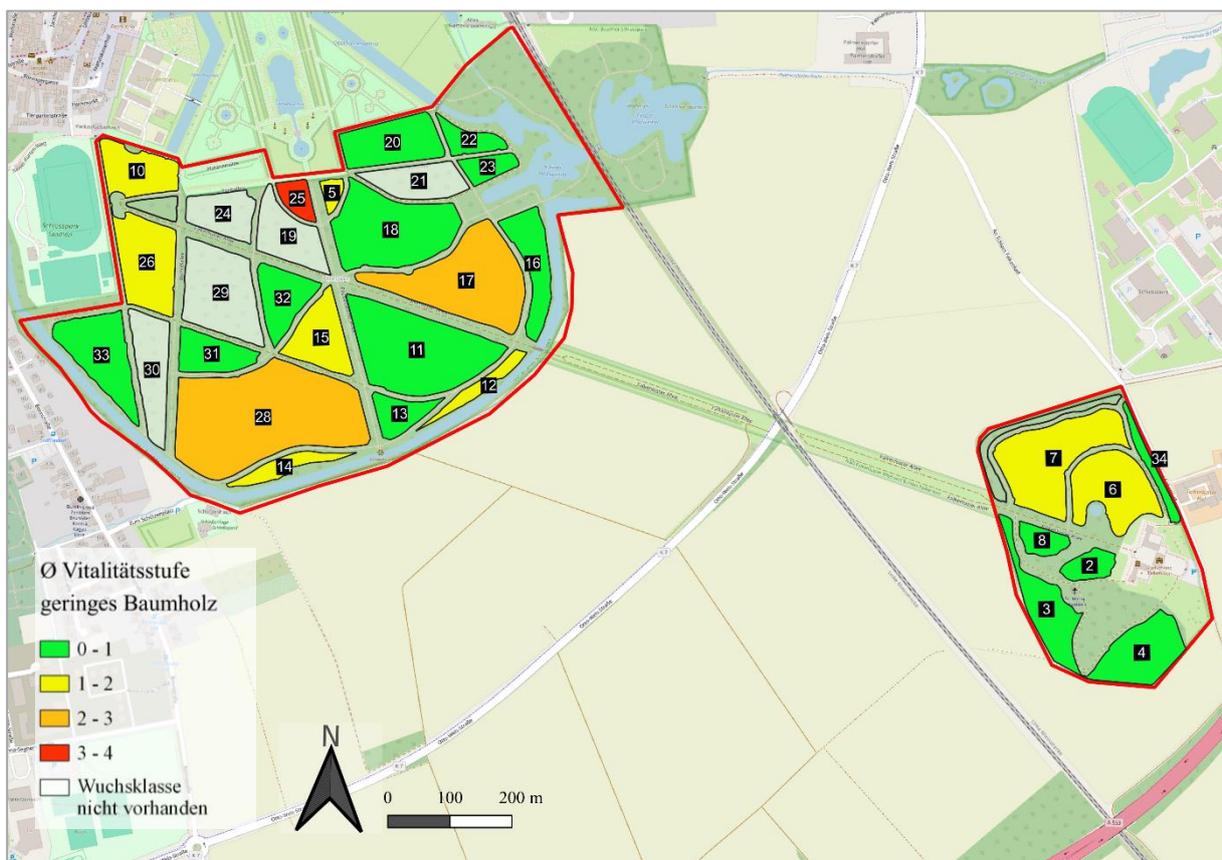


Abbildung 12: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ in jeder Teilfläche.

liegen beide Teilflächen im nördlichen Parkbereich. Zwei weitere Teilflächen in Augustusburg hatten eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 2-3, eine Teilfläche hat eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 3-4.

mittleres Baumholz

Auf sechs Teilflächen wurden keine Bäume in der Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ erfasst, davon je zwei im nordwestlichen Teil und zwei im Osten Augustusburgs, sowie je eine im südwestlichen und nordöstlichen Bereich der Falkenlust (Abbildung 13). Eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 0-1 hatten sechs Teilflächen in Augustusburg, davon drei am südlichen Waldrand, zwei im Nordosten, die ebenfalls Randbereiche des Waldbestandes bilden sowie eine Teilfläche im Westen. Bei Falkenlust wurden zwei Teilflächen mit der durchschnittlichen Vitalitätsstufe von 0-1 erfasst sowie drei mit einer durchschnittlichen Vitalitätsstufe von 1-2. In Augustusburg hatten 12 Teilflächen diese durchschnittliche Vitalitätsstufe, davon vier im östlichen und acht im westlichen Bereich. Zudem hatten zwei weitere Teilflächen in

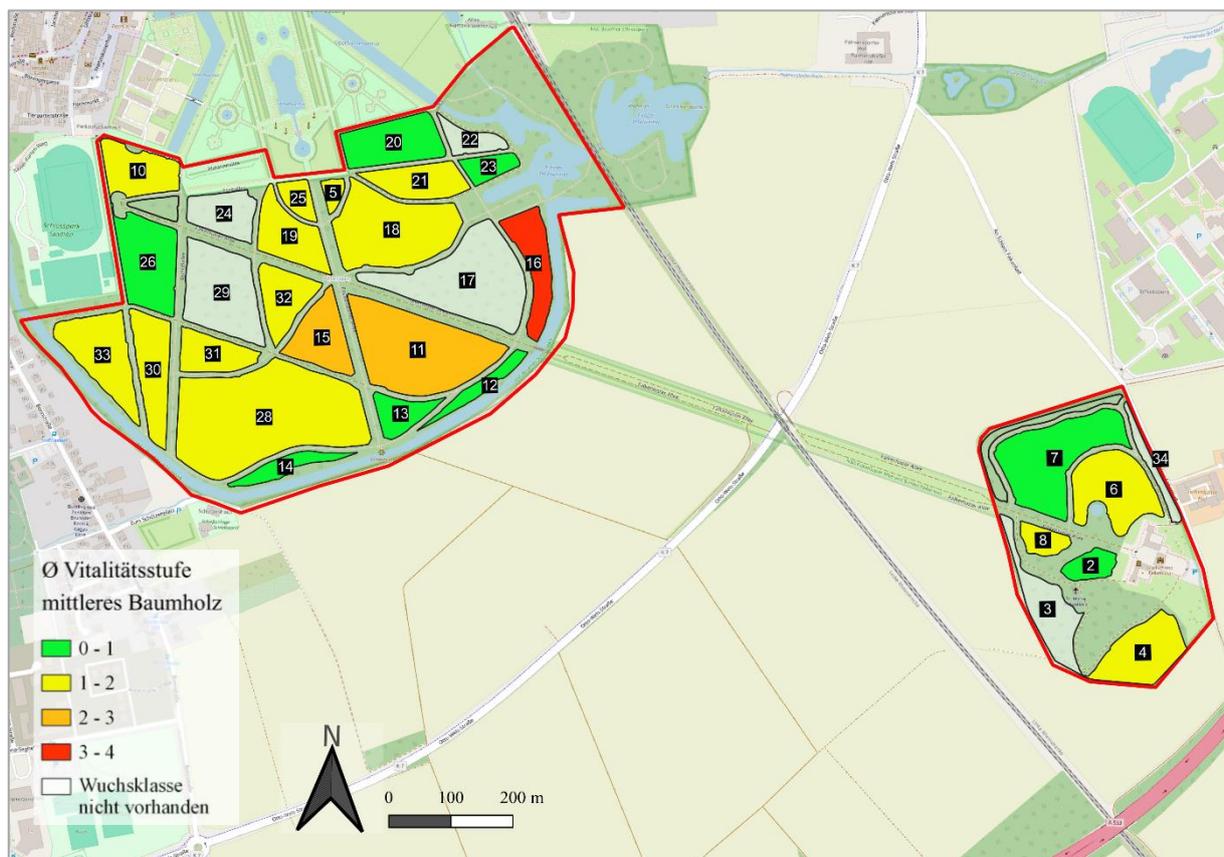


Abbildung 13: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „mittleres Baumholz“ in jeder Teilfläche.

Augustusburg eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 2-3 im zentralen bis südlichen Bereich und eine Teilfläche mit einer durchschnittlichen Vitalitätsstufe von 3-4 am östlichen Waldrand.

starkes Baumholz

Diese Wuchsklasse wurde auf vier Teilflächen nicht erfasst, davon drei in Augustusburg und eine in Falkenlust (Abbildung 14). Jeweils zwei Teilflächen in Augustusburg und in Falkenlust hatten eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 0-1. In Falkenlust liegen diese Flächen im Westen, in Augustusburg liegt eine Teilfläche im Norden und eine im zentralen Bereich. Eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 1-2 hatten in Falkenlust zwei Teilflächen, eine im südlichen und eine im zentralen Bereich. 18 Teilflächen in Augustusburg hatten diese durchschnittliche Vitalitätsstufe. Sie sind über den gesamten Parkbereich verteilt. Eine Teilfläche in Augustusburg am südlichen Waldrand und zwei Teilflächen in Falkenlust im nördlichen Bereich hatten eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 2-3. Keine der Teilflächen in dieser Wuchsklasse wies eine durchschnittliche Vitalitätsstufe von 3-4 auf.

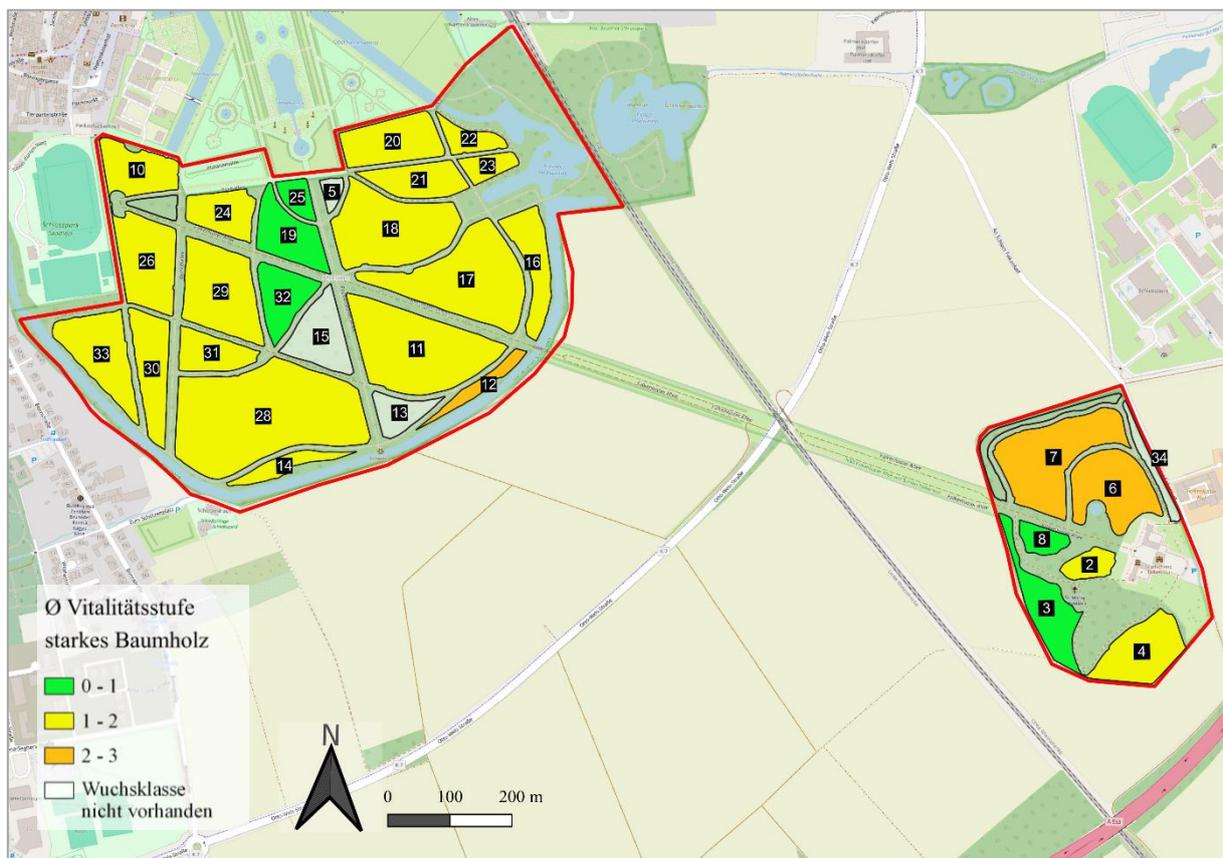


Abbildung 14: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „starkes Baumholz“ in jeder Teilfläche.

4.2.5 Anzahl der Wuchsklassen in den Teilflächen

Die Anzahl der Wuchsklassen innerhalb der untersuchten Teilflächen lag bei dem Großteil der Teilflächen bei drei oder vier Wuchsklassen. Auf 16 Teilflächen sind drei Wuchsklassen festgestellt worden, auf acht weiteren Teilflächen vier Wuchsklassen. Sie verteilen sich gleichmäßig in dem ganzen Untersuchungsgebiet. Auf vier Teilflächen in Augustusburg kamen zwei Wuchsklassen vor, auf einer Teilfläche in Falkenlust nur eine Wuchsklasse. Auf zwei weiteren Teilflächen in Augustusburg befanden sich fünf verschiedene Wuchsklassen (Abbildung 15).

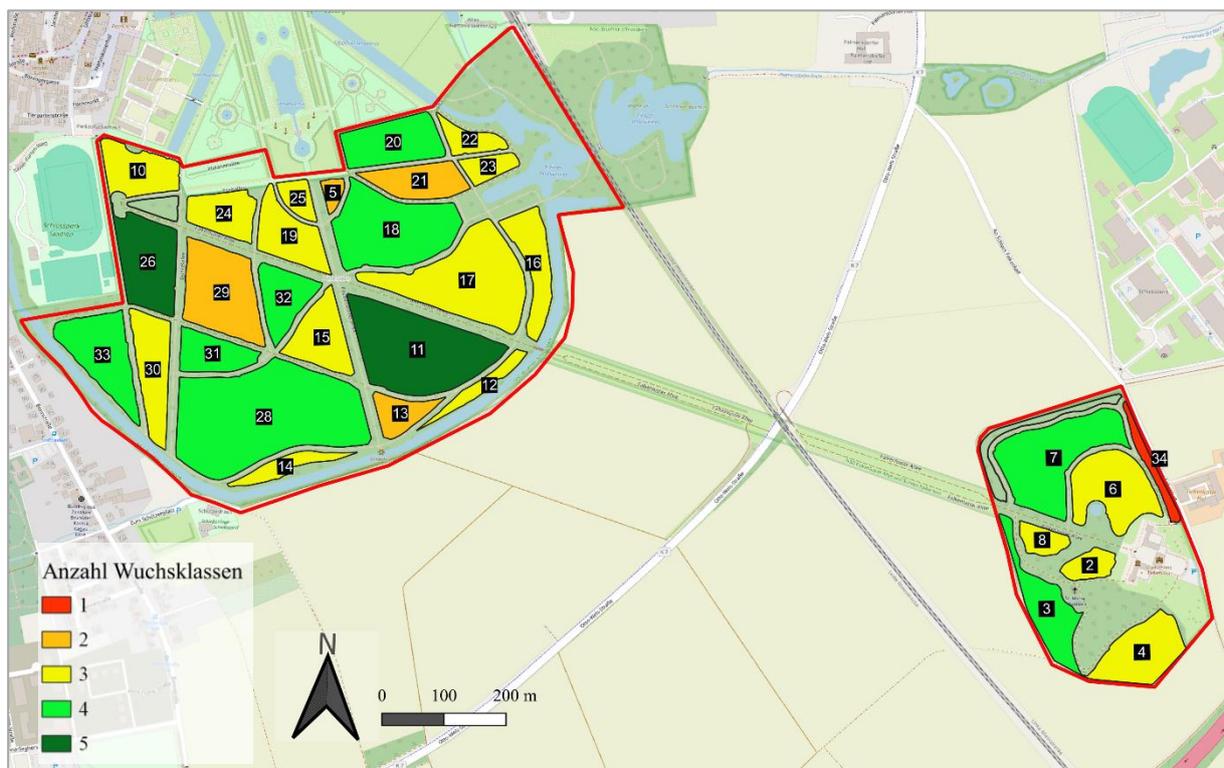


Abbildung 15: Anzahl der erfassten Wuchsklassen auf jeder Teilfläche.

5. Diskussion

5.1 Vegetation des Parkwaldes

Die Waldbestände des Brühler Schlossparks sind mit insgesamt 61 Arten recht artenreich. Insbesondere die Krautschicht mit den Geophyten ist hervorzuheben, die im Frühjahr zum Teil flächendeckende Bestände ausbilden. Vor allem *Corydalis cava* und *Anemone nemorosa* kommen im gesamten Bereich des Schlossparkes mit meist hoher Deckung vor. Auch *Allium ursinum* bildet lokal zum Teil sehr dichte Bestände. Eine hohe Stetigkeit zeigen zudem *Adoxa moschatellina*, *Arum maculatum* und *Ficaria verna*, die auf vielen Flächen vorhanden sind, allerdings geringere Deckungsgrade aufweisen. Auf der anderen Seite kommt *Anemone ranunculoides* nur in einer einzigen Aufnahme vor (Aufnahme 37) und es fehlen Arten wie beispielsweise *Mercurialis perennis* und *Gagea lutea*, die aufgrund der Standortbedingungen durchaus auf diesen Flächen vorkommen könnten (BÖHLING, 2003; DIERSCHKE & BECKER, 2020; HEINRICHS ET AL., 2023). Da der Parkwald sehr isoliert liegt und von städtischer Bebauung und Agrarflächen umgeben ist, können sich einmal verloren gegangene Arten oft nicht wieder bis hierher ausbreiten. Das nächste größere Waldgebiet liegt einige Kilometer entfernt westlich von Brühl. Eine (Wieder-)Besiedelung mit nicht im Schlosspark vorhandenen Arten ist daher auf natürliche Weise kaum möglich. Arten, deren Samen sich durch Windausbreitung verbreiten können diese Distanz noch überbrücken, viele Arten insbesondere der Geophyten verbreiten sich jedoch durch Ameisen (Myrmekochorie). Daher ist eine Ausbreitung über solche Distanzen bei diesen Arten nicht möglich (GORB & GORB, 2010).

Die Flächen stellen einen wichtigen Blühaspekt im Frühjahr dar, der nicht nur für die Besucherinnen und Besucher des Schlossparks einen großen Reiz bietet, sondern auch für Insekten, die bereits früh im Jahr aktiv sind, eine Nektarquelle bieten. Im Sommer wird der Boden meist großflächig von *Hedera helix* bedeckt, zusätzlich bieten vor allem *Circaea lutetiana*, *Geum urbanum*, *Glechoma hederaceae* und *Impatiens parviflora* und *Galeobdolon luteum* einen Blühaspekt. Die Strauchschichten bestehen zum Großteil aus Baumjungwuchs, aber auch *Sambucus nigra* kommt häufig vor. Auf Flächen, deren Baumschicht Lücken aufweist und die somit weniger beschattet werden als die umliegenden Bereiche kommt es teilweise zur Ausbildung von größeren Beständen von *Rubus fruticosus*. Die dominierende Art der Baumschicht ist derzeit *Fagus sylvatica*, daneben kommen 13 weitere Baumarten in dem Untersuchungsgebiet vor.

Eine pflanzensoziologische Beurteilung der Flächen erwies sich als schwierig. Innerhalb der Krautschicht konnten keine miteinander assoziierten Arten festgestellt werden, die eine Abgrenzung von unterschiedlichen Vegetationseinheiten ermöglichen. Die Vegetation der Waldflächen im Schlosspark ist insgesamt sehr homogen, und eine pflanzensoziologische Einordnung der Flächen über die Herausbildung von Artengruppen aus der Krautschicht, wie es ELLENBERG (1996), OBERDORFER (1992) und POTT (1995) halten, ist nicht möglich. Zudem fehlen meist die Charakterarten der gemäß der heutigen potentiell natürlichen Vegetation sowie anderer in Frage kommenden Verbände und Assoziationen oder kommen nur vereinzelt vor, zum Beispiel *Stellaria holostea* und *Stachys sylvatica* für das Stellario-Carpinetum stachyetosum oder *Luzula luzuloides* für das Luzulu-Fagetum (POTT, 1995).

Andere Untersuchungen weisen jedoch darauf hin, dass es bei einer pflanzensoziologischen Beurteilung von Waldstandorten unabdingbar ist, auch die Baumschicht bei der Bewertung mit einzubeziehen. Laut GEHLKEN (2008) kann es sogar zielführender sein, die Vegetationsaufnahmen von Waldstandorten zunächst nach der Baumschicht und dann nach der Krautschicht zu sortieren, da eine ausschließliche Klassifikation nach der Krautschicht die Flächen nicht immer schlüssig auftrennt. Eine Einordnung der Flächen vorrangig nach den Arten der Baumschicht, wie sie in der hier vorliegenden Untersuchung durchgeführt wurde, kann also durchaus, insbesondere bei einer sehr gleichförmigen Krautschicht auf der gesamten Fläche des Untersuchungsgebietes, notwendig und sinnvoll sein.

In vorliegender Studie muss die Baumschicht hinzugezogen werden, um eine Einteilung der Vegetationsaufnahmen in verschiedene Gruppen zu ermöglichen. Mithilfe der übrigen generell vorhandenen Arten der Krautschicht ist eine Zuordnung dieser Gruppen zu pflanzensoziologischen Einheiten letztendlich möglich. Insgesamt bleibt der Artbestand aber einheitlich, auch nach einer Betrachtung des Artenspektrums der herausgearbeiteten Gruppen zeigen sich kaum Arten, die an eine bestimmte Gruppe gebunden sind. Lediglich *Pulmonaria officinalis* kommt fast ausschließlich auf Flächen vor, die dem Fagetum zugeordnet werden können.

Auch in der Artenvielfalt unterscheiden sich die unterschiedlichen Vegetationstypen nur gering. Die mittleren Artenzahlen sind mit 27,8 für das Fagetum, 25,7 für das Carpinetum und 25,7 für die von *Acer platanoides* dominierten Flächen ähnlich.

In dem Untersuchungsgebiet handelt es sich hauptsächlich um Waldgesellschaften des Fagetums und des Carpinetums, zusätzlich kommen Flächen vor, die von *Acer platanoides* dominiert sind und keiner dieser beiden Gesellschaften zugeordnet werden können. BROCKMANN-SCHERWAß & BROCKMANN (2023) kamen bei einer vegetationskundlichen

Untersuchung in diesem Gebiet zu einem ähnlichen Ergebnis. Diese beiden Gesellschaften sind allein über die Krautschicht nur schwer voneinander abzugrenzen, da viele der typischerweise vorkommenden Arten in beiden Gesellschaften auftreten können. Daher ist eine eindeutige Zuordnung dieser beiden Waldgesellschaften oft nur möglich, wenn auch die Baumschicht in die Beurteilung mit einbezogen wird (DIERSCHKE, 1986). Zudem tritt an Standorten, an denen *Fagus sylvatica* an Konkurrenzkraft verliert, oft *Carpinus betulus* hervor, sodass es in Grenzstandorten zu Überlagerungen und Vermischungen beider Standorte kommen kann. Standorte im ökologischen Randbereich von *Fagus sylvatica* sind zum Beispiel solche, die aufgrund der Bodenbeschaffenheit bei Regenfällen zu Staunässe neigen, oder Böden, die im Sommer schnell austrocknen (OBERDORFER, 1992). Auf den Flächen des Schlossparks ist eher Letzteres der Fall. Die Böden zeigen, außer in kleineren Teilbereichen, meist keine oder nur geringe Staunässe und der Grundwasserspiegel ist zu tief, als dass die Pflanzenwurzeln diesen erreichen könnten (BOTSCHKEK & LAUER-UCKERT, 2023).

Weiterhin zeigen neuere Untersuchungen, dass nicht nur die standörtlichen Faktoren eine Rolle für die Ausprägung der Vegetation von Waldflächen spielen, sondern vielmehr die historische Bewirtschaftung dieser Flächen für die Beurteilung der Vegetation von Bedeutung ist. Bei Wäldern, die in ihrer Vergangenheit als Mittelwälder bewirtschaftet wurden und später in die Hochwaldwirtschaft überführt wurden, bildet sich diese historische Nutzung in der Artenvielfalt der Bodenvegetation ab. Während eine Mittelwaldwirtschaft die Artenvielfalt der Krautschicht begünstigt, nimmt diese bei der Hochwaldwirtschaft eher ab. Allerdings halten sich die Effekte der Mittelwaldwirtschaft etwa 100-130 Jahre nach Umstellung der Bewirtschaftungsform. So kommt es zur Herausbildung von Übergangsformen unterschiedlicher Waldgesellschaften (VOLLMUTH ET AL., 2021). Das Parkpflegewerk gibt einen Überblick über die Geschichte des Brühler Schlossparks (WÖRNER & WÖRNER, 1992). Der Wald auf den Flächen des Schlossparks wurde vermutlich um das Jahr 1200 herum als Wildpark angelegt. Im Laufe der Jahrhunderte wurden immer wieder einige Bäume nur Nutzung als Bauholz oder als Feuerholz entfernt. Ab 1842 wurde festgelegt, dass der Wald nicht mehr als Forst bewirtschaftet, sondern als Park genutzt werden soll und wurde in den folgenden Jahren von Lenné als Englischer Landschaftsgarten gestaltet. Dies beinhaltete baumbestandene Bereiche, aber auch Lichtungen und Bereiche mit einer ausgeprägten Strauchschicht. Es kam immer wieder zu Durchforstungen, um die Bildung einer Strauchschicht zu fördern, teilweise wurden sogar ganze Lichtungen freigehalten und es wurden mehrfach alte, kranke Bäume aus dem Bestand entfernt. Um die Entnahme der alten

Bäume auszugleichen, kam es meist zu Nachpflanzungen, genannt wurden hierbei vor allem *Acer spec.*, *Betula spec.*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior* und *Quercus spec.* Eine letzte größere Durchforstung ist aus den Jahren 1907-1914 bekannt, im Rahmen derer der Wald, der sich in den Jahren davor durch mangelnde Pflege zu einem geschlossenen Waldbestand mit einer dichten Strauchschicht entwickelt hatte, wieder mehr in den Zustand des ursprünglich geplanten, aufgeräumten Englischen Landschaftspark mit größeren Lichtungen zurückgeführt werden sollte. Weitere Abholzungs- und Umgestaltungsarbeiten erfolgten 1925 (LÖHMANN, 2000; WÖRNER & WÖRNER, 1992). Es gab also in der Geschichte des Schlossparks immer wieder Durchforstungen und Freistellungen von Flächen innerhalb des Waldes, die sich auch heute noch in der vorhandenen Vegetation widerspiegeln können. Zudem wurden immer wieder Bäume verschiedener Arten angepflanzt, wodurch die Vegetation regelmäßig durchmischt wurde und möglicherweise auch Arten in die Flächen gebracht wurden, die sich dort auf natürliche Weise nicht durchgesetzt hätten.

Letztendlich sind es vermutlich mehrere Faktoren, die dafür sorgen, dass zumindest die Vegetation der Krautschicht auf der ganzen Fläche sehr homogen ist und sich je nach Standort die eine oder andere Baumart besser durchsetzen konnte. Gemäß der heutigen potentiell natürlichen Vegetation ist es durchaus erwartbar, dass sich zumindest auf den Flächen des Augustusburger Parkbereiches Gesellschaften des Carpinetums entwickeln und auf Bereichen mit guten Standortbedingungen für *Fagus sylvatica* diese Art dennoch bisher durchsetzungsfähig war, möglicherweise wurde sie auch durch die wiederholten Anpflanzungen gefördert.

Die Homogenität der Flächen zeigte sich zunächst auch in der Ordination, in der die Vegetationsaufnahmen allesamt nah beieinander liegen und sich keine Gruppen voneinander abgrenzen ließen (vgl. Kap. 4.1.4 post-hoc-Analyse). Die post-hoc-Analyse, bei der die festgestellten Vegetationstypen und die Zeigerwerte hinzugefügt wurden, zeigt jedoch, dass sich die Vegetation geringfügig voneinander abgrenzt. Zwar gibt es immer noch große Überschneidungen der einzelnen Vegetationstypen, dennoch zeigt diese Beobachtung, dass feine Unterschiede zwischen diesen vorhanden sind. Die Lichtzahl steht allen anderen Zeigerwerten, insbesondere aber der Reaktionszahl gegenüber. Dass die Lichtzahl als erklärender Faktor erscheint, ist insofern sinnvoll, da bei Waldstandorten als per se lichtarmen Standorten schon eine geringe Erhöhung des Lichteinfalls zu Veränderungen der Standortfaktoren führt und lichtliebendere Arten zum Vorschein kommen können. Auf den untersuchten Flächen tritt beispielsweise *Urtica dioica* auf den Flächen mit den höchsten

Lichtzahlen in höheren Deckungen auf, während diese Art auf den beschatteten Flächen nicht oder nur in geringer Deckung (<5%) vorkommt.

Bei der Betrachtung der Vegetationstypen fällt auf, dass die Flächen, die von *Fagus sylvatica* dominiert werden, den von *Acer platanoides* dominierten Flächen gegenüberstehen. Innerhalb dieser beiden Gruppen gibt es keine Überschneidungen. Hierbei kommt *Fagus sylvatica* auf den Flächen mit den geringeren Feuchtezahlen vor, geht also der Feuchte eher aus dem Weg. Das deckt sich mit den bereits erwähnten ökologischen Ansprüchen dieser Art, die Staunässe vermeidet (OBERDORFER, 1992). Es gilt jedoch zu beachten, dass die Unterschiede der mittleren gewichteten Zeigerwerte alle nur geringe Unterschiede aufzeigen und daher auch die Unterschiede innerhalb der Ordination nur geringfügig sind. Es lässt sich lediglich von leichten Tendenzen, keinesfalls aber von deutlichen Auffälligkeiten sprechen. Dennoch zeigt sich, dass in der anfangs sehr homogen erscheinenden Vegetation nach eingehender Betrachtung doch leichte Unterschiede der Flächen untereinander ergeben.

Auch die Auswertung der Zeigerwerte deutet an, dass die Standortbedingungen auf der gesamten Fläche relativ gleichförmig sind. Die einzelnen Zeigerwerte weisen meist nur geringe Unterschiede auf. Die Temperaturzahl, Feuchtezahl und Lichtzahl sind in diesen Ausprägungen für einen Waldstandort durchaus so zu erwarten. Die Kontinentalitätszahl spiegelt die großräumige Lage des Untersuchungsgebietes im Übergang vom ozeanischen Klima im Westen Europas zum kontinentalen Klima im Osten Europas wider. Lediglich die Stickstoff- und die Reaktionszahlen sind recht hoch. Die hohe Stickstoffzahl lässt sich durch die Lage des Schlossparkes im Großraum Köln begründen. Durch den Großstadtverkehr und die vorhandene Industrie kommt es zu vielen Emissionen und einem erhöhten Nährstoffeintrag aus der Luft. Zudem befindet sich der Schlosspark in unmittelbarer Nähe zu landwirtschaftlich genutzten Flächen, aus denen ebenfalls ein Nährstoffeintrag zu erwarten ist. Die hohe Reaktionszahl, die auf mäßig saure bis schwach basische Böden hinweist, geht mit einem hohen Stickstoffgehalt einher. In einer aktuellen bodenkundlichen Untersuchung dieses Gebietes wurde ein schwach saurer pH-Wert ermittelt, der Stickstoffgehalt wurde als für einen Waldstandort typisch angegeben (BOTSCHKEK & LAUER-UCKERT, 2023). Dies entspricht nicht ganz den ermittelten Zeigerwerten der vorliegenden Studie. Es gibt allerdings Studien, die zeigen, dass insbesondere die Stickstoffzahl weniger mit dem tatsächlich vorhandenen Bodenstickstoff, sondern vielmehr mit der Biomasseproduktion korreliert (SCHAFFERS & SÝKORA, 2000). Da in der Bodenuntersuchung für den Standort ein mittelstarker bis starker Humusgehalt festgestellt wurde, sind die Ergebnisse der Zeigerwerteauswertung daher durchaus plausibel.

Schaut man sich die Verbreitung der unterschiedlichen Vegetationseinheiten in dem Untersuchungsgebiet an, fällt auf, dass sich die Flächen, auf denen *Fagus sylvatica* die dominierende Baumart ist, überwiegend auf den Bereichen befinden, deren Böden aus Pseudogley-Parabraunerden und Parabraunerden gebildet werden. Ausnahmen sind hier nur die Flächen mit den Aufnahmeummern 32 und 33, die sich auf den qualitativ eher schlechteren Böden befinden (Abbildung 16). Solche Flächen, auf denen *Carpinus betulus* dominiert, befinden sich eher auf den durch anthropogene Aufschüttungen gering entwickelten Böden oder in den Randbereichen der (Pseudogley-)Parabraunerde-Böden. Die gleiche Beobachtung trifft auch auf Flächen zu, die als Mischbestände aus *Fagus sylvatica* und *Acer platanoides* oder als Dominanzbestände von *Acer platanoides* eingeordnet wurden. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Parabraunerde-Böden nährstoffreicher sind und zudem eine gute Wasserhaltefähigkeit besitzen (AMELUNG ET AL., 2018) und *Fagus sylvatica* daher auf diesen Standorten konkurrenzstärker ist (ELLENBERG, 1996).

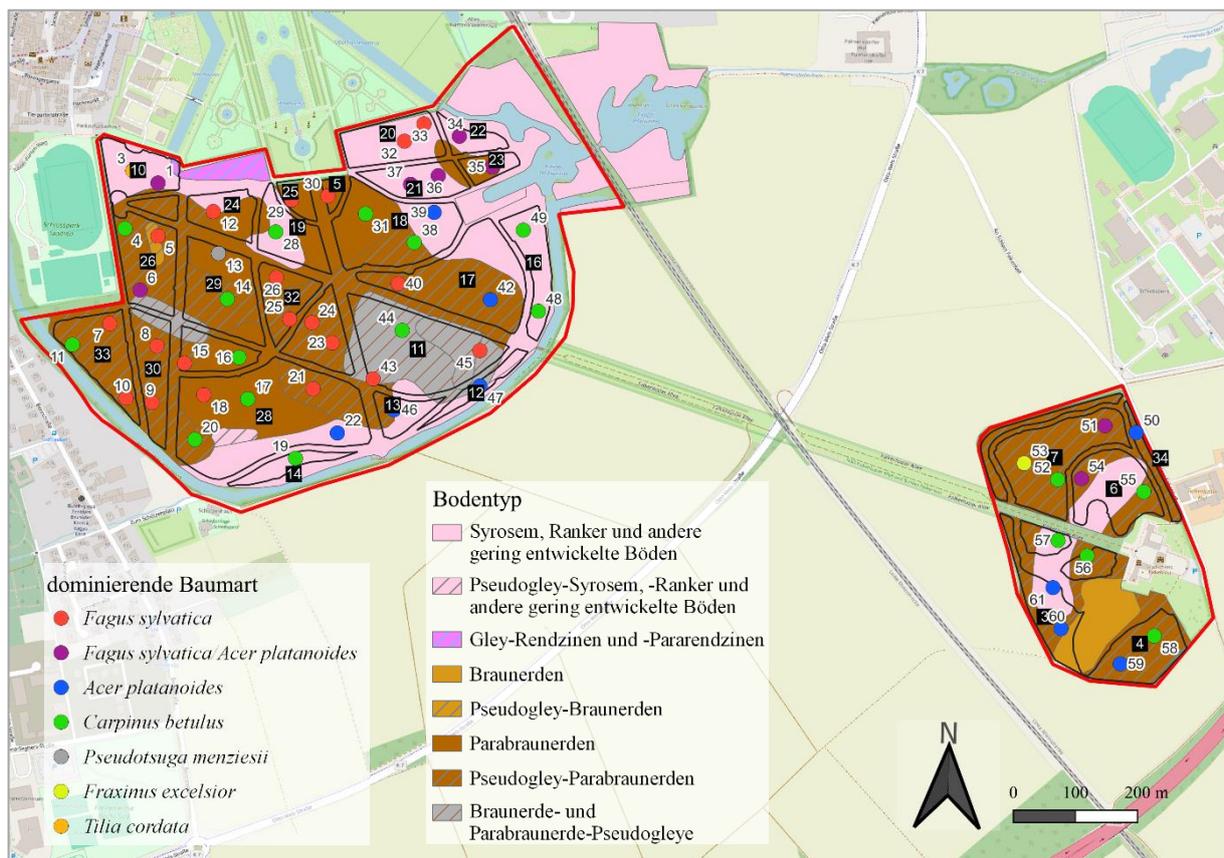


Abbildung 16: Zuordnung der Vegetationstypen anhand der dominierenden Baumart in Verbindung mit dem vorhandenen Bodentyp.

In den Waldrandbereichen befinden sich ebenfalls meist keine dominierenden Bestände von *Fagus sylvatica*. Hier kann dies neben dem Boden auch auf äußere Einflüsse zurückgeführt werden. Die Teilflächen 22 und 23 im Nordosten des Schlossparks beispielsweise sind eher kleine Teilflächen, die jeweils nur an ihrer Westseite an andere Waldbestände grenzen und ansonsten von offenen Flächen umgeben sind. Dadurch ist der Lichteinfall auf den Waldboden höher und *Fagus sylvatica*, die in der Wachstumsphase als Schattenbaumart gilt, wird unter diesen Bedingungen von lichtliebenderen Arten wie *Carpinus betulus* oder *Acer platanoides* verdrängt (STIMM ET AL., 2014). Die Bereiche entlang des Wassergrabens im Süden des Parkbereiches sind ebenfalls recht klein und schmal, unterliegen also ähnlichen Randeffekten. Zudem kommt es durch den Wassergraben vermutlich auch zu Staunässe, was wiederum keine idealen Standortbedingungen für *Fagus sylvatica* sind.

Weiterhin fällt bei der Verbreitung der Vegetationseinheiten in der Fläche auf, dass im Bereich Falkenlust *Acer platanoides* mehr hervortritt als im Augustusburger Parkbereich. Dort bildet *Acer platanoides* nur auf wenigen, meist am Waldrand gelegenen Flächen Dominanzbestände aus, während in Falkenlust die Hälfte der untersuchten Flächen entweder von *Acer platanoides* dominiert sind oder Mischbestände mit *Fagus sylvatica* bilden. Weiterhin kommen einige von *Carpinus betulus* dominierte Flächen vor. Flächen, die ins Fagetum eingeordnet wurden, sind hier nicht vorhanden, obwohl auch in diesem Parkbereich große Flächen aus Pseudogley-Parabraunerden bestehen und die heutige potentiell natürliche Vegetation für diesen Bereich das Galio odorati-Fagetum vorsieht.

Die gesamte Waldfläche in Falkenlust ist vergleichsweise klein, zudem grenzt der Wald unmittelbar an die umgebende landwirtschaftlich genutzte Fläche und ist nicht, wie in Augustusburg, durch einen Graben von dieser getrennt. Dadurch ist hier keine oder nur eine sehr geringe Pufferzone gegeben, die die äußeren Einflüsse abhält und insbesondere die Randbereiche können dadurch beeinträchtigt werden. Zudem sind die Waldflächen im südlichen Teil Falkenlusts eher schmal, sodass auch aus dem Parkinneren noch Einflüsse auf den Waldbestand einwirken, die die Ausprägung der Vegetation beeinflussen können. Arten wie *Acer platanoides* und *Carpinus betulus* können sich daher in diesem Bereich besser ausbreiten, da sie in jungen Jahren mit einer höheren Belichtung zurechtkommen als *Fagus sylvatica*. Diese kommt lediglich in den größeren Waldbereichen im Norden Falkenlusts noch in höheren Anteilen vor, obwohl auch hier die Bestände bereits mit *Acer platanoides* durchsetzt sind. Im direkten Vergleich mit den Flächen in Augustusburg scheinen sich also in Falkenlust

aufgrund der geringen Größe der Teilflächen die äußeren Einflüsse noch stärker auf die Vegetation auszuwirken und den größeren Effekt auf die Vegetation zu haben als der Bodentyp.

Die unterschiedlichen Vegetationstypen zeigen, dass der Wald im Schlosspark Brühl bisher auch in der Baumschicht noch eher artenreich ist und sich unterschiedliche Wald-Vegetationen ausbilden. Betrachtet man jedoch den Baumjungwuchs in der Kraut- und Strauchschicht fällt auf, dass von den vorhandenen Baumarten fast nur *Acer platanoides*, auf manchen Flächen auch *Acer pseudoplatanus*, in höherer Anzahl und Deckung auftritt. In der Krautschicht ist *Acer platanoides* die am häufigsten vorkommende Baumart und in Strauchschicht 1 und 2 sowie in der Baumschicht 1 jeweils die häufigste aller in der jeweiligen Schicht erfassten Arten und kommt stets auf über der Hälfte aller Flächen vor. Lediglich in Baumschicht 2 ist *Acer platanoides* (noch) nur auf etwa einem Drittel der untersuchten Bereiche aufgetreten. Zudem kommt diese Art in den Strauchschichten auch als einzige in hohen Deckungsgraden vor. Während Arten wie *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus* oder *Tilia cordata* nur selten mit Deckungsgraden von 10-15% auftreten, kommt *Acer platanoides* häufiger in Deckungsgraden von deutlich über 20% vor und kann sogar flächendeckende Dickichte ausbilden (z.B. Strauchschicht 2 in Aufnahme 40 und 43). Daher ist *Acer platanoides*, wenn er in der Strauchschicht einer Fläche auftaucht, meist die dominanteste Art in dieser Schicht. Die einzigen Arten, die ebenfalls höhere Deckungsgrade aufweisen und auf einigen Flächen stärker vertreten sind, sind *Rubus fruticosus* in Strauchschicht 1 und *Sambucus nigra* in Strauchschicht 2. Beide Arten sind Stickstoffzeiger und werden zudem als Störzeiger angesehen (LANUV NRW, 2014). Insbesondere *Rubus fruticosus* bildet auf den untersuchten Flächen dichte Bestände, die eine Begehung der kompletten Aufnahmefläche teils unmöglich machen und zudem auch verhindern, dass sich unter diesen Beständen eine Krautschicht oder Baumjungwuchs entwickeln kann. Zwar ist diese Art bisher nur auf wenigen der untersuchten Flächen in größerer Menge vorhanden, dennoch gilt es hier, zu verhindern, dass sie sich großflächig ausbreitet. Ein Rückschnitt kann notwendig werden, wenn zu dichte Bestände drohen, Flächen mit größeren Lücken im Kronendach zu überwuchern und dadurch eine Naturverjüngung erschweren (BARTSCH ET AL., 2020; HARMER ET AL., 2005; HARMER & MORGAN, 2007).

Problematischer stellt sich in dem Untersuchungsgebiet aber *Acer platanoides* aufgrund seiner bereits angesprochenen deutlichen Dominanz dar. Auch *Acer pseudoplatanus* kommt häufiger vor und ist auf einigen Flächen die dominierende Art, tritt aber meistens hinter seiner Geschwisterart zurück. *Acer platanoides* ist eine Art, deren Keimlinge bei ausreichender

Belichtung ein schnelles Wachstum zeigen. In gesunden Wäldern stagniert dieses meist, wenn die Beschattung durch den Baumbestand zu hoch ist (BARTSCH ET AL., 2020; STIMM ET AL., 2014). Zudem fehlt in dem untersuchten Gebiet der natürliche Wildverbiss, der sich auf die Ausprägung der Vegetation auswirken würde (ANGST & KUPFERSCHMID, 2023; REIMOSER & REIMOSER, 2021). REIF ET AL. (1999) beobachteten, dass der Verbiss durch Rehwild insbesondere bei *Acer platanoides* und *Acer pseudoplatanus* sehr hoch ist. Im Schlosspark Brühl fehlt dieser Verbiss jedoch, da es sich um einen von einer Mauer umschlossenen Park handelt, in dem kein Rehwild vorkommt. Die Umgebung ist zudem hauptsächlich landwirtschaftlich oder durch städtische Bebauung geprägt, sodass auch im näheren Umfeld keine Lebensräume vorhanden sind, aus denen dieses wenigstens zeitweise in den Schlosspark gelangen könnte. Dadurch haben die jungen Sprosse von *Acer platanoides* ideale Bedingungen, um aufzuwachsen und können von anderen Arten kaum verdrängt werden.

Die Flächen, die in der Baumschicht von *Acer platanoides* dominiert werden, zeichnen sich dadurch aus, dass meistens die oberste Baumschicht weniger stark ausgeprägt war als die untere Baumschicht. Dies deutet darauf hin, dass der Bestand von *Acer platanoides* eher jung ist und die Dominanz dieser Art sich auf diesen Flächen erst in jüngerer Vergangenheit eingestellt hat. Gleichzeitig ist dies ein Indiz dafür, wie sich Flächen, deren Baumschicht bisher noch aus anderen Arten besteht, in deren Strauchschicht aber hauptsächlich *Acer platanoides* an Baumjungwuchs vorhanden ist, entwickeln könnten.

Auf lange Sicht ist dies problematisch, da sich Wälder entwickeln, die fast ausschließlich aus einer Monokultur von *Acer platanoides* bestehen. Monokulturen sind weniger resilient als Mischbestände, da sie auf Umweltveränderungen schlechter reagieren können und zudem anfälliger für Krankheitserreger sind, die in Monokulturen unter Umständen in kurzer Zeit große Teile des Bestandes befallen können (BOLLMANN, 2011; SEIDL, 2023). Daher ist es notwendig, dieser Entwicklung entgegenzuwirken, um langfristig widerstandsfähige, vielfältige Waldbestände zu erhalten. Mischbestände sind nicht nur deshalb widerstandsfähiger, weil unterschiedliche Arten mit unterschiedlichen Standortbedingungen besser zurechtkommen und so auf Klimaveränderungen reagieren können, sondern haben meist auch eine höhere Strukturvielfalt. So gibt es beispielsweise tief- und flachwurzelnde Baumarten, die einander komplementieren und die Ressourcen im Boden insgesamt besser ausnutzen können (PRETZSCH, 2019). Dies verringert die Konkurrenz und kann die Trockenstressresistenz eines Bestandes erhöhen (GROSSIORD, 2020).

Acer platanoides kommt mit den derzeitigen Standortbedingungen offensichtlich besser zurecht, zumindest was dessen Regenerationsfähigkeit angeht, als die anderen im Untersuchungsgebiet vorhandenen Baumarten. Die Beobachtung, dass sich *Acer platanoides* trotz einer artenreichen Baumschicht in der Naturverjüngung als dominante Art herausbildet, wurde auch in anderen Parkwäldern festgestellt. Eine aktuelle Studie in Dresden kam zu ähnlichen Ergebnissen (ROLOFF & SCHUBERT, 2022), aber auch schon PASSARGE beobachtete 1990 eine Homogenisierung der Vegetation und die Ausbildung von Parkwaldgesellschaften, welche von *Acer platanoides* dominiert sind. Auch in anderen Studien wurde festgestellt, dass diese Art in Wäldern mit den durch den Klimawandel erhöhten Temperaturen gut zurecht kommt (CARÓN ET AL., 2015).

Dennoch ist die Dominanz von *Acer platanoides* vermutlich nicht alleiniger Grund für das geringe Vorkommen anderer Baumarten. Auch andere Faktoren tragen ihren Teil dazu bei. Vor allem die trockenen Sommer während der Dürre in den Jahren 2018-2020 (RAKOVEC ET AL., 2022) haben für schlechte Wachstums- und Standortbedingungen gesorgt. Neben nicht idealen Standortbedingungen können aber auch Schädlinge manche Arten befallen und für deren Rückgang verantwortlich sein. So ist zum Beispiel in dem Untersuchungsgebiet *Fraxinus excelsior* vom Eschentriebsterben befallen, einer Pilzkrankheit die zum Absterben der Triebe führt. Zudem erschwert die Trockenheit die Ausbildung von Mykorrhiza-Symbiosen, die so gut wie alle Waldbäume ausbilden. Ohne diese Symbiose sind die Bäume meist nicht in der Lage, ausreichend Nährstoffe aufzunehmen und sind zudem anfälliger gegenüber Pathogenen und Stressfaktoren wie Trockenheit oder Frost. Sind die Böden jedoch zu trocken, oder der Stickstoffgehalt zu hoch, beeinträchtigt dies die Mykorrhiza-Pilze (EGLI & BRUNNER, 2011). Somit werden weniger Symbiosen ausgebildet, was sich zum Nachteil der Bäume auswirkt.

Den für manche Arten mitunter schlechten Standortbedingungen als auch an den vorkommenden Schädlingen kann nur im begrenzten Maße entgegengewirkt werden. Die Konkurrenz durch *Acer platanoides* kann jedoch durch ein Eingreifen von außen verringert werden. Da, wie oben bereits erwähnt, ein Verbiss in dem Untersuchungsgebiet nicht gegeben ist, könnten junge Exemplare von *Acer platanoides* manuell entfernt werden. Eine flächendeckende Entfernung dieser Art in dem gesamten Gebiet ist jedoch allein schon aufgrund des hohen Vorkommens wegen eines zu hohen Arbeitsaufwandes unrealistisch und auch nicht sinnvoll. Es können jedoch Individuen anderer Arten, die sich lokal durchgesetzt haben und über das Keimlingsstadium hinausgewachsen sind, regelmäßig freigestellt werden, um deren Wachstum zu fördern (KLÄDTKE, 2002).

Zusammenfassend lässt sich also über die derzeitige Vegetation sagen, dass eine Homogenisierung der Baumarten stattfindet, der entgegengewirkt werden sollte, um auch langfristig einen artenreichen, resilienten Waldbestand zu erhalten. Dies ist vor allem deshalb wichtig, da die zukünftigen Veränderungen durch den Klimawandel nicht genau abzusehen sind. Sowohl längere Trockenphasen, als auch ein häufigeres Auftreten von Starkregenfällen ist möglich, alles bei vermutlich weiter steigenden Jahresdurchschnittstemperaturen (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2024). Daher ist es wichtig, viele Arten zu erhalten, die auf unterschiedliche Klimabedingungen unterschiedlich gut reagieren und so den Waldbestand langfristig erhalten. Dennoch muss wohl auch hingenommen werden, dass sich das Artengefüge des Walds und damit auch der Charakter der Bestände verändern wird und sich in naher Zukunft eher *Acer platanoides*-dominierte Bestände entwickeln werden. Auch in anderen Wäldern sind in den letzten Jahrzehnten Veränderungen der Waldvegetation festgestellt worden (MARTÍNEZ-VILALTA & LLORET, 2016), die auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Die hier getroffenen Beobachtungen sind also kein Einzelfall und erfolgen im Rahmen der sich verändernden Klimabedingungen auch an anderen Standorten.

5.2 Weitere Vegetationsaufnahmen

Die dominantesten Arten auf den Vegetationsaufnahmen der Grünflächen sind meist Gräser wie *Poa pratensis* oder *Agrostis capillaris*. Dadurch, dass sich diese Gräser zumeist noch flächendeckend ausbreiten, verdrängen sie andere Arten, die das Blühpotential dieser Flächen erhöhen könnten. Dieses wird bisher durch Arten wie *Lotus corniculatus*, *Ranunculus bulbosus* oder spätblühende Arten wie *Scorzoneroides autumnalis* angedeutet. Es finden sich auch einige wertgebende Arten auf den Flächen wieder, wie zum Beispiel die Magerkeitszeiger *Briza media*, *Pilosella officinarum* oder *Thymus pulegioides* agg, allerdings bisher nur in geringen Deckungsgraden. Um diese Arten zu fördern und innerhalb des Parkbereiches ein breites Arten- und Blühspektrum zu erreichen, können einige Maßnahmen ergriffen werden, um die Artenvielfalt zu fördern.

Um die Blühpflanzen zu fördern und vor allem den Anteil stickstoffliebender Gräser, die zurzeit die Vegetation dominieren, zu verringern, ist eine Aushagerung der Fläche empfehlenswert. Die Mahd sollte nur ein bis zwei Mal pro Jahr und idealerweise als Staffelmahd erfolgen: zunächst wird nur ein Teilbereich gemäht, und ein anderer Bereich stehen gelassen. Dadurch wird sichergestellt, dass stets Habitate für die in der Vegetation lebende Insektenfauna

vorhanden sind. Hierbei sind jedoch die richtigen Mahdzeitpunkte zu beachten: die Pflanzen sollten die Möglichkeit erhalten, zur Samenreife zu gelangen. Ein geeigneter Mahdzeitpunkt ist im Frühsommer. Bei sehr wüchsigen Flächen ist auch eine Mahd im Frühjahr sinnvoll, um Arten von den Flächen zu entfernen, die durch starkes Wachstum die übrige Vegetation verdrängen. Die Schnitthöhe sollte mindestens zehn Zentimeter über dem Boden erfolgen, um Keimlinge und Jungpflanzen der gewünschten Arten nicht zu beschädigen. Das Mahdgut sollte nach der Mahd einige Tage auf der Fläche verbleiben, damit die Pflanzen aussamen können und die darin lebenden Tiere die Möglichkeit haben, in die umgebende Vegetation zu wandern (KIRMER ET AL., 2019).

Eine regelmäßige Mahd, sollte unterbleiben, um ein reiches Blühangebot zu erhalten. Damit die Flächen jedoch nicht als ungepflegt erscheinen und bei den Besuchenden des Schlossparks möglicherweise Unmut erregen, können sogenannte „Cues to Care“ umgesetzt werden. Dies sind Methoden, die eine höhere Biodiversität mit den kulturellen Erwartungen an die herkömmlichen Strukturen verbinden (NASSAUER, 1995). In diesem Falle kann ein Streifen am Rand der Grünfläche wie gewohnt kurzgehalten werden, während im Inneren der Fläche die Vegetation stehen bleibt und auswachsen kann. Dadurch wird erkenntlich, dass die Fläche weiterhin gepflegt wird, und gleichzeitig kann die Biodiversität der Vegetation innerhalb des Schlossparks erhöht werden. Zudem können Infoschilder an diesen Flächen aufgestellt werden, die auf die durchgeführten Maßnahmen hinweisen, was die Akzeptanz der Öffentlichkeit weiter erhöht (SOMMER & ZEHM, 2020).

Wenn diese Maßnahmen auf einigen der im Schlosspark vorhandenen Grünflächen durchgeführt werden, kann das Blühangebot für bestäubende Insekten innerhalb des Schlossparks erhöht werden. Dies ist insbesondere aufgrund der Lage des Schlossparkes in der ansonsten sehr ausgeräumten, intensiv landwirtschaftlich genutzten Umgebung wichtig. Zudem bieten solche Strukturen bei richtiger Pflege und einer geeigneten Wahl der Mahdzeitpunkte auch Habitate für Insekten, welche die vorhandene Vegetation zur Eiablage verwenden. Wird der Bestand lange genug stehen gelassen und das Mahdgut einige Tage auf der Fläche liegen gelassen, haben diese die Möglichkeit, zu schlüpfen und auszuwachsen.

Somit kann der Schlosspark einen Beitrag zur Erhaltung der Artenvielfalt leisten, der in Anbetracht des fortwährenden Artensterbens von immer größerer Bedeutung wird (BUHK ET AL., 2018). Gemeinsam mit dem Parkwald bieten die offenen Grünflächen somit vielfältige Lebensräume, die viele verschiedene Arten auf kleinem Raum beherbergen können.

5.3 Vitalität

Die statistische Auswertung der Wuchsklasse gegen die Vitalitätsstufe ergab, dass die Bäume, die der Vitalitätsstufe 2, 3 und 4 zugeordnet wurden, aus der gleichen Grundgesamtheit stammen und sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Grundsätzlich würde man davon ausgehen, dass ein linearer Zusammenhang zwischen dem Alter bzw. der Wuchsklasse eines Baumes und dessen Vitalität besteht: je älter der Baum, desto schlechter die Vitalität. Dass zwischen den Bäumen der Vitalitätsstufe 2, 3 und 4 keine signifikanten Unterschiede bestehen, lässt daher darauf schließen, dass ähnlich alte Bäume deutliche Unterschiede in ihrer Vitalität aufweisen. Dies kann ein erster Hinweis darauf sein, dass der Baumbestand im Schlosspark Vitalitätsmängel aufzeigt, die nicht alleine dem Alter der Bäume zugrunde gelegt werden können. Jedoch gilt es hier zu beachten, dass unterschiedliche Baumarten unterschiedliche Lebenserwartungen haben und in einem Alter schon ihr Lebensende erreicht haben können, in dem andere Arten gerade einmal die Mitte ihrer voraussichtlichen Lebenserwartung erreicht haben. So kann *Fagus sylvatica* ein Alter von 300 Jahren erreichen, *Quercus robur* kann sogar durchaus 400 Jahre und älter werden, während die Lebenserwartung bei *Carpinus betulus* eher bei 150 Jahren und die von *Acer platanoides* bei 180 Jahren liegt (STIMM ET AL., 2014).

Bei der Verteilung der Wuchsklassen zeigt sich insgesamt eine gleichmäßige Verteilung der Wuchsklasse „geringes Baumholz“, „mittleres Baumholz“ und „starkes Baumholz“. Die Wuchsklasse „Stangenholz“ ist mit nur drei Individuen vertreten, was vermutlich daran liegt, dass nur Bäume der obersten Baumschicht angesprochen wurden. Diese weisen meist schon ein höheres Dickenwachstum auf, wenn sie diese Wuchshöhe erreicht haben. Daher befinden sich Bäume mit der Wuchsklasse „Stangenholz“ eher in der unteren Baumschicht, die im Rahmen der Vitalitätsuntersuchungen nicht erfasst wurde. In der Wuchsklasse „sehr starkes Baumholz“ und „mächtiges Baumholz“ befanden sich jeweils sieben bzw. 15 Individuen, das entspricht insgesamt 8% der untersuchten Bäume. Auch das ist eine sehr geringe Anzahl und ein Zeichen dafür, dass viele ältere Bäume bereits abgestorben und umgefallen sind oder gefällt wurden. Dass einige Bäume in diesen Wuchsklassen aufgrund des Alters abgestorben sind, ist erwartbar, und zeigt sich auch in den Ergebnissen der Vitalitätsuntersuchungen. Dennoch wurden auch einige noch lebende sehr alte Bäume mit mitunter guter Vitalität erfasst. Insgesamt ist die geringe Anzahl älterer Bäume aber bedenklich. Im bundesweiten Durchschnitt liegt dieser

Anteil bei etwa einem Fünftel bis einem Viertel des Bestandes (BMEL, 2014), ist also deutlich höher als in dem hier untersuchten Gebiet.

In den letzten Jahren mussten im Schlosspark aus Gründen der Verkehrssicherheit viele Bäume gefällt werden, was zu dieser geringen Anzahl an alten Bäumen führt. Die Aussage ist daher an dieser Stelle verzerrt und die Tatsache, dass viele der sehr alten, erfassten Bäume eine verhältnismäßig gute Vitalität zeigen, liegt daran, dass die Bäume mit stärkeren Vitalitätseinschränkungen bereits aus dem Bestand entfernt wurden.

Die Wuchsklassen verteilen sich nicht bei allen angesprochenen Arten gleichmäßig. Während *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Carpinus betulus* und *Prunus avium* die junge Wuchsklasse „geringes Baumholz“ überwiegt, sind es bei *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, und *Quercus rubra* eher die älteren Wuchsklassen „mittleres Baumholz“ und „starkes Baumholz“, die vorherrschen. Dies deutet darauf hin, dass sich das Arteninventar verschiebt und Arten, die bisher den Bestand geprägt haben, auf lange Sicht eher zurückgehen werden und andere Arten hervortreten. Ein Grund dafür kann sein, dass diese Arten mit den aktuellen Bedingungen besser zurechtkommen als die bisher etablierten Arten.

Betrachtet man jedoch die Vitalität der einzelnen Arten, sticht von den häufigen vorkommenden Arten keine besonders heraus, die sich insgesamt durch eine sehr gute oder eine sehr schlechte Vitalität auszeichnet. Eine Ausnahme bildet *Prunus avium*, welche die einzige Art ist, die auch in den höheren Wuchsklassen „mittleres Baumholz“ und „starkes Baumholz“ keine deutlichen Vitalitätsmängel aufweist. Nur ein Individuum mit der Vitalitätsstufe 2 in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ zeigt deutlichere Vitalitätsmängel. Auf dem Standort dieses Individuums wurden jedoch insgesamt sechs Bäume erfasst, was für die relativ kleine Aufnahmefläche eine hohe Zahl ist, sodass hier auch eine hohe Konkurrenz zu der beeinträchtigten Vitalität führen kann. Zudem befanden sich auf dem gleichen Standort Individuen der gleichen Art mit einer guten Vitalität. Insgesamt sind von dieser Art jedoch über alle Wuchsklassen hinweg nur zehn Individuen erfasst worden, sodass die Datenlage zu gering ist, um eine genaue Aussage über den Vitalitätszustand dieser Art zu treffen.

Bei allen anderen Arten kommen in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ meist Individuen mit einer für diese Wuchsklasse eher schlechten Vitalitätsstufe von 2 oder 3 vor, genauso haben diese Arten aber auch in der Wuchsklasse „starkes Baumholz“ Individuen mit Vitalitätsstufe 0 oder 1, was für diese Wuchsklasse wiederum eine recht gute Vitalität bedeutet. Warum ein

Baum bereits in der Wuchsklasse „schwaches Baumholz“, also in relativ jungen Jahren, deutliche Vitalitätsmängel aufweist, kann verschiedene Gründe haben.

Es kann sein, dass die Standortbedingungen für eine Art an einer bestimmten Stelle nicht gut sind, und diese sich daher nicht gegen Bäume anderer Arten durchsetzen kann, die auf diesem Standort besser zurechtkommen. Dies hängt mit dem ökologischen Optimum jeder Art zusammen und wie durchsetzungsfähig sie gegenüber anderen Arten auf dem jeweiligen Standort ist (ELLENBERG, 1996). Ist dies nur lokal der Fall, ist das für den Bestand dieser Art in dem gesamten Untersuchungsgebiet nicht existenzbedrohend. Problematisch wird es erst dann, wenn sie großflächig schlechte Standortbedingungen vorfindet. Unabhängig von der Art kann aber auch die generelle Konkurrenz durch zu viele andere Bäume ein Faktor sein, der das Aufwachsen und die Vitalität eines Baumes beeinträchtigen kann. Auf gut der Hälfte der Aufnahmeflächen wurden fünf oder mehr Bäume erfasst. Dies ist für die geringe Fläche von 100 m² eine recht hohe Anzahl von Bäumen, die sich auf diesem Standort nicht alle werden durchsetzen können. Wenn manche Individuen einer Art bereits früh Vitalitätsmängel zeigen, andere Individuen der gleichen Art aber gut erhalten sind, kann die schlechte Vitalität nicht unbedingt auf einen ungeeigneten Standort für diese Art zurückgeführt werden, sondern die Gründe müssen bei dem betroffenen Baum selbst gesucht werden. Verletzungen der Borke beispielsweise, die erst durch Verwachsungen geheilt werden müssen, kosten einen Baum viel Energie, die dann nicht mehr ins Wachstum gesteckt werden kann. Auch ein Schädlingsbefall kann dazu führen, dass ein Baum sich nicht mehr gegen seine Konkurrenten durchsetzen kann, die nicht oder in einem geringeren Ausmaß befallen sind.

In dem hier untersuchten Gebiet konnte bei keiner Art genau festgestellt werden, ob eine für die jeweilige Wuchsklasse mäßige oder schlechte Vitalität immer daran liegt, dass sie Standortbedingungen für diese Art schlecht sind, oder ob eine zu hohe Konkurrenz vorliegt und es an individuellen Gründen liegt, dass ein Baum eine schlechte Vitalität aufweist. Es gibt Standorte, auf denen alle Bäume, unabhängig der Art und der Wuchsklasse eine eher schlechte Vitalität haben. Dies war meist bei Aufnahmen auf relativ kleinen Teilflächen am Waldrand (zum Beispiel Aufnahmen 29, 30 und 47) und vermehrt bei Aufnahmen im Falkenluster Bereich (Aufnahmen 53, 54, 59) der Fall. Daneben gibt es aber durchaus auch Standorte, an denen bloß die Individuen einer einzigen Baumart eine schlechte Vitalität aufweisen, während andere Arten sich gut entwickeln, zum Beispiel *Fagus sylvatica* auf den Aufnahmen 23 und 49 oder *Carpinus betulus* auf Aufnahme 50. Genauso gibt es aber auch Standorte, an denen eben diese Arten im Vergleich zu anderen Arten besser zurechtkommen, wie *Fagus sylvatica* auf

Aufnahme 47 und *Carpinus betulus* auf Aufnahme 11. Diese Ergebnisse decken sich auch mit anderen Studien. KÜHN ET AL. (2017a) haben bei Untersuchungen in Berliner Parkanlagen ebenfalls festgestellt, dass viele Arten nur standörtlich begrenzt deutliche Vitalitätsmängel aufweisen, sich an anderen Standorten aber noch in einem guten Zustand befinden.

Anzumerken sind in diesem Zusammenhang aber auch die Arten, die kaum bis gar keine Naturverjüngung haben. Insbesondere von den Arten *Quercus robur* und *Quercus rubra* sind Arten, die nur in den älteren Wuchsklassen vorkamen. Es handelt sich bei diesen Arten also um einen recht alten Bestand, der aber, zumindest im Bereich Augustusburg, eine recht gute Vitalität aufweist. Dennoch kommen nur ganz vereinzelt Keimlinge dieser Arten in der Krautschicht vor und auch junge Individuen in der Strauchschicht kommen von beiden Arten nur auf jeweils zwei der untersuchten Flächen vor, in der unteren Baumschicht wurden sie kein einziges Mal erfasst. Dies verdeutlicht, dass es auch Arten gibt, deren ältere Individuen durchaus noch eine gute Vitalität zeigen können, in dem Schlosspark aber dennoch keinen nachhaltigen Bestand bilden und aus dem Artbestand verschwinden könnten, wenn die noch vorhandenen Bäume irgendwann zu alt werden oder aus anderen Gründen absterben oder zur Verkehrssicherung aus dem Bestand entnommen werden müssen. Für diese Arten lässt sich daher durchaus sagen, dass die Standortbedingungen in dem untersuchten Gebiet nicht geeignet sind, auch wenn aufgrund des Fehlens dieser Art in den jüngeren Wuchsklassen keine Ergebnisse der Vitalitätsansprache erhalten wurden. Auch andere Studien kamen zu dem Erkenntnis, dass Arten der Gattung *Quercus* große Vitalitätsschäden in Parkanlagen aufweisen (BAUER, 2012).

Auch viele andere vorhandene Baumarten zeigen, wie in Kap. 5.1 Vegetation des Parkwaldes bereits angesprochen, nur wenig Naturverjüngung, allen voran *Fagus sylvatica* und *Carpinus betulus*, die zurzeit noch große Teile der Waldbestände prägen. Hier gilt es daher umso mehr darauf zu achten, die vorhandene Naturverjüngung zu fördern. Die Ergebnisse der Vitalitätsansprache zeigten für diese Arten, dass sie immer noch einige auch ältere Exemplare mit nur geringen Vitalitätsmängeln haben, sie scheinen also grundsätzlich in dem Untersuchungsgebiet zukunftsfähig zu sein. Eine Förderung des vorhandenen Jungwuchses dieser Arten ist daher also umso mehr von Bedeutung, um eine stabile Population dieser Arten zu erhalten.

Um eine genaue Aussage über die Vitalität einzelner Arten im Schlosspark Brühl treffen zu können, ist die Datenlage aber zu gering. Es können keine eindeutigen Erkenntnisse über den Vitalitätszustand bestimmter Arten getroffen werden, ob es Arten gibt, die generell in dem

Schlosspark schlechte Bedingungen vorfinden, und worin eine schlechte Vitalität letztendlich begründet ist. Dafür sind weitere Untersuchungen notwendig.

Unabhängig von der Art zeigt sich aber, dass die Vitalität durchaus stellenweise stark beeinträchtigt ist. Dies wird auch dadurch deutlich, dass bloß 34 der 276 untersuchten Bäume mit der Vitalitätsstufe 0 beurteilt wurden, also keine Vitalitätsmängel aufweisen. Dies entspricht 12% der Stichprobe und ist ein bedenklich kleiner Anteil.

Insbesondere die Wuchsklassen „geringes Baumholz“ und „mittleres Baumholz“ zeigen bereits deutliche Beeinträchtigungen. Im westlichen Teil Augustusburgs wurden diese Wuchsklassen auf manchen Flächen gar nicht festgestellt, was für eine schlechte Naturverjüngung spricht, zudem haben hier die meisten Flächen bereits deutliche oder sogar starke Vitalitätsmängel, was bei so jungen Bäumen noch nicht in dem Ausmaß vorkommen sollte. Der östliche Teil Augustusburgs stellt sich in der Wuchsklasse „geringes Baumholz“ noch deutlich besser dar, beim „mittleren Baumholz“ zeigen sich aber auch hier bereits beträchtliche Vitalitätsmängel. Die Teilflächen mit den stärksten Vitalitätsmängeln in dieser Wuchsklasse befinden sich auf Pseudogley-Braunerdeflächen, die mit einer mittleren Staunässeempfindlichkeit gekennzeichnet sind (im Gegensatz zu schwacher oder keiner Staunässe in den anderen Bereichen), was hier der Grund für die schlechte Vitalität sein kann. Auf der Teilfläche, die mit einer durchschnittlichen Vitalitätsstufe von 3-4 bewertet wurde, wurde insgesamt nur ein Baum in dieser Wuchsklasse erfasst. Daher unterliegt dieser Beobachtung eine nur geringe Aussagekraft. Im Vergleich mit der Vegetation fällt bei dieser Wuchsklasse auf, dass sich die von *Acer platanoides* dominierten Flächen hauptsächlich auf den Teilflächen mit einer durchschnittlichen Vitalitätsstufe von 0-1 befinden, die von *Fagus sylvatica* und *Carpinus betulus* dominierten Flächen eher auf den Teilflächen mit der durchschnittlichen Vitalitätsstufe von 1-2.

Die Wuchsklasse „starkes Baumholz“ zeigt sich hingegen mit einer vergleichsweise guten oder zumindest erwartbaren Vitalität, lediglich der nördliche Teil in Falkenlust zeigt starke Vitalitätsmängel. Es lässt sich aber kein Zusammenhang der Vitalität mit dem Boden, der Vegetation oder anderen Faktoren feststellen.

Auch in den beiden Wuchsklassen „sehr starkes Baumholz“ und „mächtiges Baumholz“ gibt es Individuen, die noch eine recht gute Vitalität zeigen. Diese befinden sich alle in Augustusburg, die Bäume dieser Wuchsklassen in Falkenlust sind abgestorben. Da jedoch auf den Teilflächen meist nur jeweils ein oder zwei Individuen erfasst wurden, ist die Aussagekraft der durchschnittlichen Vitalitätsstufe hier nur gering. Es zeigt aber, dass es durchaus alte Bäume

gibt, die mit den Standortbedingungen noch gut zurechtkommen können. Dies waren meist Bäume der Arten *Fagus sylvatica* und *Quercus robur*.

Insgesamt bleibt also die Beobachtung, dass, zumindest in Augustusburg, die älteren Bäume weniger beeinträchtigt zu sein scheinen als die jüngeren Wuchsklassen. Auf lange Sicht ist dies bedenklich, wenn keine vitale Baumschicht nachwächst, denn die Bäume der älteren Wuchsklassen werden auch bei guter Vitalität irgendwann ihr Lebensende erreichen. Wenn es so weit kommt, ist es essentiell für einen nachhaltigen Waldbestand, dass jüngere Bäume aus dem Unterholz deren Platz einnehmen. Das können sie nur, wenn sie bei guter Vitalität sind und gute Standortbedingungen vorfinden. Es ist also beunruhigend, wenn großflächig bereits jüngere Bäume fast aller vorkommenden Arten bereits geschwächt sind und deutliche Vitalitätsmängel aufweisen. Bei der hier vorliegenden Untersuchung ist jedoch zu beachten, dass die Stichprobengröße gering war und die Angabe der durchschnittlichen Vitalitätsstufen auf einer Teilfläche dadurch verzerrt wird, dass teilweise nur ein oder zwei Individuen in einer Wuchsklasse auf einer Teilfläche erfasst wurden. Um die hier getroffenen Beobachtungen zu bestätigen und noch genauere Ergebnisse zu erzielen, sind daher weitere Untersuchungen notwendig.

Der gesamte Bestand stellt sich aber durchweg mit deutlichen Beeinträchtigungen dar. Dies kann durchaus auf die Klimaveränderungen in Folge des Klimawandels zurückgeführt werden. Die Dürre der Jahre 2018-2020 mit den geringen Niederschlägen insbesondere während der Vegetationsperiode im Frühling und Sommer hat Spuren hinterlassen. Auch in vielen anderen Parkanlagen wurden ähnliche Beobachtungen gemacht. In mehreren Parkanlagen in Berlin zeigt sich die Gehölzvegetation mit deutlichen Schäden (KÜHN et al., 2017a). Auch eine bundesweite Studie, die die Schäden an Gehölzen und der Vegetation vieler historische Parkanlagen untersucht hat, kommt zu dem Ergebnis, dass 59% der Gehölze beeinträchtigt sind, und es konnte im Rahmen dieser Untersuchung auch eine Abnahme der Vitalität in einigen Parks im Vergleich zu vorherigen Erfassungen festgestellt werden (KÜHN et al., 2024). Aber auch europaweit werden Beeinträchtigungen an Bäumen festgestellt, die nur mit der aktuellen Klimaerwärmung erklärt werden können (HAUCK ET AL., 2019).

Um diesen Entwicklungen zu entgegnen, sind verschiedene Lösungsansätze denkbar. Es wird unter anderem darüber diskutiert, ob eine Anpflanzung gebietsfremder, klimaangepasster Arten sinnvoll sei (KÖLLING & METTE, 2022). Auf diese Weise könnten Arten, die sich vermutlich ohnehin im Verlaufe der sich ändernden Klimabedingungen bis hierher ausbreiten würden, bereits jetzt etabliert werden und andere Arten ersetzen, die aktuell nicht mehr widerstandsfähig

sind. Es stellt jedoch auch einen großen Eingriff in die Umwelt dar und eine Einbringung gebietsfremder Arten hat oft auch Nebenwirkungen, die vorher nicht bedacht wurden. Eine Art kann sich zum Beispiel invasiv ausbreiten und dadurch andere Arten, die eigentlich noch gut angepasst sind, verdrängen, oder es können Parasiten mit eingebracht werden, die auf andere Arten übergehen. Zudem ist nicht sicher, wie sich das Klima hierzulande wirklich entwickeln wird. Zwar erhöhen sich die Temperaturen und die Sommer der letzten Jahre waren oft sehr trocken, es kann aber auch zu mehr und dauerhaften Starkregenfällen kommen (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2024). Daher wird diese Methode oft kritisch gesehen. Besser ist es, heimische Arten zu fördern, die auf die zukünftigen Klimabedingungen besser eingestellt sind (REIF ET AL., 2011; ROLOFF & GRUNDMANN, 2009). Dies geht über die Freistellung einzelner junger Bäume innerhalb des Bestandes, die sich aus eigener Kraft durchsetzen, es können aber auch in parkeigenen Baumschulen junge Bäume aus dem vor Ort vorhandenen Saatgut gezogen werden. Dies hat den Vorteil, dass die jungen Bäume direkt mit den Standortbedingungen vor Ort zurechtkommen müssen und so nur die Individuen aufwachsen, die gut an den Standort angepasst sind (KÜHN ET AL. 2017b). Um die generellen Standortbedingungen zu verbessern und vor allem die Wasserspeicherkapazität zu erhöhen, können die im Schlosspark Brühl vorhandenen Gräben genutzt werden. Hier kann Wasser aus Regenfällen gespeichert und bei längeren Trockenzeiten langsam an die Umgebung abgegeben werden.

Zu guter Letzt sollte auch noch die Wuchsklassenverteilung innerhalb der Flächen zur Beurteilung des Zustandes des Waldes hinzugezogen werden. Ein gesunder Waldbestand zeichnet sich auch dadurch aus, dass Bäume unterschiedlicher Wuchsklassen vorhanden sind, also eine diverse Altersstruktur vorliegt. Wenn alle Bäume ähnlich alt sind, kann es dann problematisch werden, wenn diese alle zu einem ähnlichen Zeitpunkt ihr Lebensende erreichen, deren Kronen verlichten oder sogar durch Umfallen oder Entnahme der Bäume aus der Fläche große Lücken im Kronendach entstehen. Werden diese nicht schnell genug von anderen Bäumen geschlossen, entwickelt sich bald ein dichtes Gebüsch aus lichtliebenden Sträuchern, welches eine Waldentwicklung erschwert. Dies ist beispielsweise auf der von *Pseudotsuga menziesii* bestandenen Fläche der Fall, auf der sich große Lücke in der Baumschicht auftun und der Boden vollständig von *Rubus fruticosus* bedeckt ist. In dem Brühler Parkwald zeigt sich aber auf den meisten Flächen eine gute Strukturierung der Baumschicht. Die meisten Flächen haben mindestens drei verschiedene Wuchsklassen, viele sogar vier oder bis zu fünf verschiedene Wuchsklassen. Nur wenige Flächen haben lediglich zwei Wuchsklassen, und nur Teilfläche 34 in Falkenlust hat eine einzige Wuchsklasse. Diese Teilfläche ist jedoch sehr klein

und schmal und befindet sich am Waldrand, was die Ausprägung des Waldbestandes an diesem Standort beeinträchtigen kann. Die Altersstrukturierung der untersuchten Flächen ist also nach wie vor meist sehr gut. Diese gilt es zu erhalten und die Bäume derart zu pflegen, dass sich stets junge gesunde Bäume unterschiedlicher Arten in den Beständen halten können, die einen nachhaltigen und langfristigen Erhalt des Waldes ermöglichen.

5.4 Fazit

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Vegetation im Parkwald des Schlossparks Brühl zurzeit noch sehr artenreich ist. Sowohl die Geophyten sind mit vielen Arten vertreten und bilden teils flächendeckende Bestände aus, aber auch der Baumbestand setzt sich aus verschiedenen Arten zusammen. Die Hauptbaumart der Bestände unterscheidet sich lokal und es gibt neben den von *Fagus sylvatica* geprägten Waldbereichen auch solche, die von *Carpinus betulus* oder *Acer platanoides* bestimmt werden. Die Artenvielfalt der Baumschicht gilt es, auch langfristig zu erhalten, um einen widerstandsfähigen Waldbestand zu bewahren, der sich auf unterschiedliche Umweltveränderungen, die im Laufe des Klimawandels unweigerlich eintreten werden, anpassen kann. Da diese Umweltveränderungen jedoch nicht vorhersehbar sind, ist eine gezielte Anpflanzung von vermeintlich zukunftsfähigen Arten nicht unbedingt zielführend, vielmehr sollten heimische Arten gefördert werden, die sich unter den derzeitigen Bedingungen gut entwickeln.

Eine Vereinheitlichung des Baumbestandes dadurch, dass der Jungwuchs zum großen Teil aus *Acer platanoides* besteht und andere Arten nur eine geringe Naturverjüngung zeigen, sollte jedoch vermieden werden. Hier sollte von außen eingegriffen werden, um auch andere Arten zu fördern und der Entwicklung eines monotonen Waldes aus wenigen Arten entgegenzuwirken und einen artenreichen, resilienten Bestand zu erhalten.

Der Baumbestand des Parkwaldes zeigt mitunter deutliche Vitalitätsmängel. Die genaue Ursache dafür konnte in der vorliegenden Untersuchung aufgrund einer geringen Stichprobengröße nicht gefunden werden. Hierfür sind weitere Untersuchungen notwendig. Denkbar ist aber, dass die Dürre, bedingt durch die mit dem Klimawandel einhergehenden trockenen Sommer der letzten Jahre, dazu beigetragen haben. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Trockenheit deutliche Spuren in den Wäldern hinterlassen hat, die von Vitalitätseinschränkungen über Zuwachsminderung bis hin zum Absterben der Gehölze führen kann (MÜLLER, 2017; ZIMMERMANN ET AL., 2020).

Zusammenfassend hat der Parkwald aufgrund seiner derzeitigen artenreichen Baumschicht durchaus Potential, zu einem gesunden und resilienten Bestand entwickelt zu werden, es sind jedoch Maßnahmen zur Förderung einiger Baumarten und zur Verbesserung der Standortbedingungen insgesamt notwendig, um den Bestand langfristig zu erhalten und somit auch das kulturelle Erbe dieser Parkanlage fortleben zu lassen.

6. Zusammenfassung

Durch den Klimawandel und die damit einhergehenden, wird viel Stress auf die hiesige Vegetation ausgeübt. Insbesondere die Wälder zeigen teils starke Schäden und Vitalitätseinschränkungen, so auch der Bestand des Parkwaldes im Schlosspark Brühl. Um Methoden zur Erhaltung des Waldes und der Verbesserung der Standortbedingungen zu erarbeiten, soll der derzeitige Zustand des Parkwaldbestands kartiert werden. In der hier vorliegenden Untersuchung wurden dafür Vegetationsaufnahmen auf der gesamten Fläche des Parkwaldes durchgeführt, sowie eine Vitalitätsansprache der Bäume vorgenommen. Ziel war es, die Waldbestände des Schlossparks pflanzensoziologisch einzuordnen und zu erfassen, ob es Bereiche oder Arten gibt, die sich durch eine noch sehr gute oder aber eine sehr schlechte Vitalität auszeichnen.

Es wurden insgesamt 58 Vegetationsaufnahmen und eine Vitalitätsansprache an 276 Bäumen durchgeführt. Die Bäume wurden zusätzlich in Wuchsklassen eingeteilt, um das Alter der Bäume mit in die Auswertung einbeziehen zu können. Eine pflanzensoziologische Beurteilung der Bestände nach den herkömmlichen Methoden (z. B. ELLENBERG, 1996; OBERDORFER, 1992; POTT 1995) erwies sich als schwierig, da die Vegetation der Krautschicht im gesamten Untersuchungsgebiet sehr homogen war. Unter Hinzunahme der Arten der Baumschicht konnten über die jeweils dominante Baumart Vegetationstypen herausgearbeitet werden. Die Bestände wurden meist entweder von *Fagus sylvatica* oder von *Carpinus betulus* bestimmt und stehen am ehesten dem Galio odorati-Fagetum bzw. dem Stellario holostea-Carpinetum betuli nahe. Weiterhin gab es aber auch Flächen, deren Baumschicht von *Acer platanoides* dominiert wird. Während die Baumschicht sich mit 14 Arten noch recht artenreich zeigte, wurde der Jungwuchs hauptsächlich von *Acer platanoides* gebildet. Andere Baumarten kamen in der Kraut- und Strauchschicht nur mit wenigen Individuen vor, was langfristig zu einer Monotonisierung der Bestände führt. Hier ist ein Eingreifen notwendig, um artenreiche und resiliente Bestände zu erhalten.

Die Auswertung der Vitalitätsansprache zeigte, dass vor allem bei den jüngeren Bäumen erhebliche Vitalitätsmängel aufweisen. Die älteren Bäume zeigten zwar auch fast durchweg deutliche Vitalitätsmängel, die aber für deren Alter angemessen sind. Es scheinen also vor allem die jüngeren Bäume unter der Trockenheit der letzten Jahre gelitten zu haben. Da es in den letzten Jahren allerdings vermehrt zu Baumfällungen kam, wurden nur wenige sehr alte Bäume im Rahmen der Untersuchungen erfasst. Es kann daher sein, dass die alten kranken und

abgestorbenen Bäume bereits dem Bestand entnommen wurden und nur die noch vitaleren Individuen erhalten sind, wodurch das Ergebnis verzerrt wird. Mit den erhobenen Daten konnten allerdings keine Bereiche oder Arten festgestellt werden, die eine besonders gute oder besonders schlechte Vitalität aufweisen. Dies kann durch den geringen Stichprobenumfang begründet sein und könnte durch weiterführende Untersuchungen genauer bestimmt werden. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Vegetation der Krautschicht in dem Parkwald des Brühler Schlossparks sehr homogen ist, sich aber durch die Ausprägung der verschiedenen Baumarten zumindest in Teilen pflanzensoziologisch einordnen lässt. Eine Homogenisierung des Bestandes durch eine Dominanz von *Acer platanoides* war zu beobachten, die ein Eingreifen erforderlich macht. Der Bestand zeigt deutliche Vitalitätsmängel, die insbesondere bei jungen Bäumen bereits große Schäden hinterlassen, sich aber nicht auf einzelne Arten oder Bereiche beschränken.

Literaturverzeichnis

- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., & Wilke, B.-M. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde (F. Scheffer & P. Schachtschabel, Hrsg.; 17., überarbeitete und ergänzte Auflage). Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3>
- Angst, J. K., & Kupferschmid, A. D. (2023): Verbisseinfluss - Monitoring in den Buchenwäldern von Kirchberg SG: Wissenschaftlicher Bericht zum Verbisseinfluss. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL. <https://doi.org/10.55419/wsl:33149>
- Bartsch, N., Lüpke, B. von, & Röhrig, E. (2020). Waldbau auf ökologischer Grundlage (8., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Verlag Eugen Ulmer.
- Bauer, A. (2012): Gesundheitszustand der Eichen im Schlosspark Nymphenburg. LWF Wissen, 68, 38–45.
- BBSR (2022): Bundesprogramm „Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel“. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/startseite/topmeldungen/anpassung-urbane-raeume-klimawandel.html>. Zuletzt abgerufen am 22.06.2024.
- BfN (2015): Potentielle natürliche Vegetation Deutschlands. <https://geodienste.bfn.de/ogc/wms/pnv500?> Zuletzt abgerufen am 14.05.2024.
- BMEL (2014): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur.
- Böhling, N. (2003): Dauerflächen-Untersuchungen in einem Eichen-Hainbuchenwald im Vorland der Schwäbischen Alb (Südwestdeutschland), 1978-2001: Der Niedergang von *Scilla bifolia* und die Invasion von *Allium ursinum*. Tuexenia: Mitteilungen der Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft, 23, 131–161.
- Bollmann, K. (2011): Naturnaher Waldbau und Förderung der biologischen Vielfalt im Wald. Forum für Wissen, 27–36.
- Botschek, J., & Lauer-Uckert, F. (2023): Gestalterische Anpassung einer historischen Anlage an die Auswirkungen des Klimawandels im Schlosspark Brühl—Gutachtenteile: Böden, Geologie, Hydrologie und Klimatologie.
- Brockmann-Scherwaß, U., & Brockmann, R. (2023): Bundesförderprogramm—Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel Gestalterische Anpassung einer historischen Anlage an die Auswirkungen des Klimawandels Schlösser Augustsburg und Falkenlust in Brühl—Bestandserfassung von Flora und Vegetation der Parkwald-Teilflächen V und VI.

- Buhk, C., Oppermann, R., Schanowski, A., Bleil, R., Lüdemann, J., & Maus, C. (2018): Flower strip networks offer promising long term effects on pollinator species richness in intensively cultivated agricultural areas. *BMC Ecology*, 18(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0210-z>
- Carón, M. M., De Frenne, P., Brunet, J., Chabrierie, O., Cousins, S. a. O., De Backer, L., Decocq, G., Diekmann, M., Heinken, T., Kolb, A., Naaf, T., Plue, J., Selvi, F., Strimbeck, G. R., Wulf, M., & Verheyen, K. (2015): Interacting effects of warming and drought on regeneration and early growth of *Acer pseudoplatanus* and *A. platanoides*. *Plant Biology*, 17(1), 52–62. <https://doi.org/10.1111/plb.12177>
- Dierschke, H. (1985): Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens. II. Syntaxonomische Übersicht der Laubwald-Gesellschaften und Gliederung der Buchenwälder. *Tuexenia* 5: 491-521.
- Dierschke, H. (1986): Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens. III. Syntaxonomische Gliederung der Eichen-Hainbuchenwälder, zugleich eine Übersicht der Carpinion-Gesellschaften Nordwest-Deutschlands. *Tuexenia*, 6, 299–323.
- Dierschke, H., & Becker, T. (2020): 37 Jahre Dauerflächenuntersuchungen in einem Kalkbuchenwald – eine Zeitreihe 1980–2001–2016. <https://doi.org/10.14471/2020.40.003>
- Dierßen, K. (1990): Einführung in die Pflanzensoziologie. 241 S., 55 Abb., 19 Tab. Akademie Verlag, Berlin, 1990.
- Egli, S., & Brunner, I. (2011): Mykorrhiza. Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. 3. Überarbeitete Aufl. Merkblatt für die Praxis 35. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL. 12 S.
- Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht; 203 Tabellen (5., stark veränderte und verbesserte Auflage). Verlag Eugen Ulmer.
- European Environment Agency (2024): Europäische Bewertung der Klimarisiken: Zusammenfassung. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/643243>
- GD NRW 2010: Bodenkarte der forstlichen Standorterkundung im Maßstab 1:5.000. <https://www.wms.nrw.de/gd/fsk05?> Zuletzt abgerufen am 13.05.2024
- GD NRW 2023: Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1: 50 000. <https://www.wms.nrw.de/gd/bk050?> Zuletzt abgerufen am 13.05.2024

- Gehlken, B. (2008): Der schöne „Eichen-Hainbuchen-Wald“ - auch ein Forst: Oder: die „Kunst“ der pflanzensoziologischen Systematik (1. Aufl). AG Freiraum und Vegetation.
- Gorb, E., & Gorb, S. (2010): Seed Dispersal by Ants in a Deciduous Forest Ecosystem. Springer Netherlands.
- Grossiord, C. (2020): Having the right neighbors: How tree species diversity modulates drought impacts on forests. *New Phytologist*, 228(1), 42–49. <https://doi.org/10.1111/nph.15667>
- Harmer, R., Boswell, R., & Robertson, M. (2005): Survival and growth of tree seedlings in relation to changes in the ground flora during natural regeneration of an oak shelterwood. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 78(1), 21–32. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi003>
- Harmer, R., & Morgan, G. (2007): Development of *Quercus robur* advance regeneration following canopy reduction in an oak woodland. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 80(2), 137–149. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpm006>
- Hauck, M., Leuschner, C., & Homeier, J. (2019): Klimawandel und Vegetation: Eine globale Übersicht. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59791-0>
- Heinrichs, S., Dölle, M., & Schmidt, W. (2023): Konstanz und Dynamik in einem artenreichen Kalkbuchenwald – Fortführung einer Zeitreihe von 1981 bis 2021. <https://doi.org/10.14471/2023.43.009>
- IHGK (2022): Initiativbündnis Historische Gärten im Klimawandel. <https://gaertenimklimawandel.de/>. Zuletzt abgerufen am 22.06.2024.
- Jäger, E. J. (Hrsg.) (2017): Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband (21., durchgesehene Auflage).
- Kirmer, A., Jeschke, D., Kiehl, K., & Tischew, S. (2019): Praxisleitfaden zur Etablierung und Aufwertung von Säumen und Felldrains (2. Auflage). Hochschule Anhalt.
- Klädtker, J. (2002): Wachstum großkroniger Buchen und waldbauliche Konsequenzen. *Forstarchiv*, 73(6), 211–217.
- Kölling, C., & Mette, T. (2022): Wälder im Klimawandel – Neues Klima erfordert neue Baumarten. In K. Berr & C. Jenal (Hrsg.), *Wald in der Vielfalt möglicher Perspektiven* (S. 145–158). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33705-6_7
- Kölling, C., & Zimmermann, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 67(6), 259–268.

- Kühn, N., Fischer, S., Gillner, S., Rohde, M., Schmidt-Wiegand, A., & Seliger, A. (2017). Zukunftsweisender Umgang mit der Gehölzvegetation historischer Gärten in Zeiten des Klimawandels. *Jahrbuch der Baumpflege*, 2017, 155–173.
- Kühn, N., Gillner, S., & Schmidt-Wiegand, A. (2017): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel: Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. Universitätsverlag der TU Berlin.
- Kühn, N., Wörner, A., & Rohde, M. (2024): Historische Parkanlagen leiden unter Klimastress—Bundesweite Studie kommt zu alarmierenden Ergebnissen. [Pressemitteilung] <https://www.tu.berlin/ueber-die-tu-berlin/profil/pressemitteilungen-nachrichten/historische-parkanlagen-leiden-unter-klimastress-bundesweite-studie-kommt-zu-alarmierenden-ergebnissen#:~:text=Januar%202024%20>. Zuletzt abgerufen am 18.06.2024.
- LANUV NRW (2014): Anleitung zur Bewertung von FFH-Lebensraumtypen. https://methoden.naturschutzinformationen.nrw.de/methoden/web/babel/media/ezb_30_mai2014.pdf. Zuletzt abgerufen am 05.06.2024.
- LANUV NRW (2022): Kartenlayer Naturräumliche Haupteinheiten. [Kartendaten]. Datenlizenz Deutschland Namensnennung 2.0. <https://www.wms.nrw.de/umwelt/linfos?REQUEST=GetCapabilities&SERVICE=WMS>. Zuletzt abgerufen am 13.05.2024.
- LANUV NRW (2023): Klimaatlas NRW. https://www.klimaatlas.nrw.de/klima-nrw-karte?&itnrw_address=Br%C3%BChl. Zuletzt abgerufen am 13.05.2024.
- Löhmann, B. (2000): Ein Garten für König und Volk: Peter Joseph Lenné und der Brühler Schlossgarten. Verlag des Rheinischen Vereins für Denkmalpflege und Landschaftsschutz.
- Martínez-Vilalta, J., & Lloret, F. (2016): Drought-induced vegetation shifts in terrestrial ecosystems: The key role of regeneration dynamics. *Global and Planetary Change*, 144, 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.07.009>
- Müller, J. (2017): Der Einfluss zunehmender Bodenaustrocknung auf Trockenstress und das Wachstum von Bäumen. In: Jahrestagung der DBG 2017: Horizonte des Bodens, 02.-07.09.2017, Göttingen.
- Nassauer, J. I. (1995): Messy Ecosystems, Orderly Frames. *Landscape Journal*, 14(2), 161–170.
- Oberdorfer, E. (1992): *Süddeutsche Pflanzengesellschaften* (3. Aufl. (pour Teil I, II&III)). G. Fischer.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., &

- Wagner, H. (2022): *vegan: Community Ecology Package (Version 2.5-7)* [R package]. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- OpenStreetMap (2024): OpenStreetMap. [Kartendaten]. <https://www.openstreetmap.org/>
- Passarge, H. (1990): Ortsnahe Ahorn-Gehölze und Ahorn-Parkwaldgesellschaften. *Tuexenia*, 10, 369–384.
- Pott, R. (1995): *Die Pflanzengesellschaften Deutschlands* (2., überarb. und stark erw. Aufl.). Ulmer.
- Pretzsch, H. (2019): *Grundlagen der Waldwachstumsforschung* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58155-1>
- QGIS Development Team (2022): *QGIS Geographic Information System (Version 3.22.12-Białowieża)*. Open Source Geospatial Foundation. [Software]. <http://qgis.org>
- R Core Team (2023): *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Software]. <https://www.r-project.org/>
- Rakovec, O., Samaniego, L., Hari, V., Markonis, Y., Moravec, V., Thober, S., Hanel, M., & Kumar, R. (2022): The 2018–2020 Multi-Year Drought Sets a New Benchmark in Europe. *Earth's Future*, 10(3), e2021EF002394. <https://doi.org/10.1029/2021EF002394>
- Reif, A., Aas, G., & Essl, F. (2011): Braucht der Wald in Zeiten der Klimaveränderung neue, nicht heimische Baumarten? *Natur und Landschaft*, 86(6), 256–260.
- Reif, A., Jolitz, T., Munch, D., & Bucking, W. (1999): Succession from a *Quercus-carpinus* forest towards an *Acer* forest: Process of natural tree species regeneration in the forest reserve „Bechtaler Wald“ near Kenzingen, southwest Germany). *Allgemeine Forst- Und Jagdzeitung (Germany)*, 170(4).
- Reimoser, S., & Reimoser, F. (2021): Einfluss wildlebender Huftiere auf die Jungwaldentwicklung im Nationalpark Thayatal (Monitoring 2002-2020). *Naturkundliche Mitteilungen aus den Landessammlungen Niederösterreich* 31, 45-56.
- Roloff, A. (2018): *Vitalitätsbeurteilung von Bäumen: Aktueller Stand und Weiterentwicklung* (1. Auflage). Haymarket Media.
- Roloff, A., & Grundmann, B. (2009): Bewertung von Waldbaumarten anhand der KlimaArtenMatrix. *AFZ/Der Wald*, 63/20, 1086–1088.
- Roloff, A., & Schubert, T. (2022): Natürliche Verjüngungspotentiale für den Erhalt resilienter Gehölzbestände in Parks und Gärten. *ProBaum*, 03/2022, 2–8.

- Schaffers, A. P., & Šýkora, K. V. (2000): Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: A comparison with field measurements. *Journal of Vegetation Science*, 11(2), 225–244. <https://doi.org/10.2307/3236802>
- Seidl, R. (2023): Störung und Resilienz in Europas Wald. *WSL Berichte*, 144, 7–10. <https://doi.org/doi.org/10.55419/wsl:35217>
- Sommer, M., & Zehm, A. (2020): Hochwertige Lebensräume statt Blühflächen—In wenigen Schritten zu wirksamem Insektenschutz. *Naturschutz und Landschaftsplanung (NuL)*, 53(1), 20–27. <https://doi.org/10.1399/NuL.2021.01.02>
- Steden, O., & Magendanz, A. (2022). Bestandsplan Schloss Augustusburg und Schloss Falkenlust. Vermessungsbüro Dipl.-Ing. O. Steden & Dipl.-Ing. A. Magendanz. Unveröffentlicht.
- Steinecke, H. (2021): Andreas Roloff (Hrsg.) Trockenstress bei Bäumen. Ursachen. Strategien. Praxis. *Der Palmengarten*, 85, 147. <https://doi.org/10.21248/palmengarten.582>
- Stimm, B., Roloff, A., Lang, U. M., & Weisgerber, H. (Hrsg.) (2014): Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie (1. Aufl.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527678518>
- Suck, R. (Hrsg.) (2013): Karte der potentiellen natürlichen Vegetation Deutschlands. 2: Kartierungseinheiten: unter Verwendung von Ergebnissen aus dem F + E-Vorhaben FKZ 3508 82 0400 / [Hrsg.:] Bundesamt für Naturschutz. Reiner Suck. BfN, Bundesamt für Naturschutz.
- Suck, R. (Hrsg.) (2014): Karte der potentiellen natürlichen Vegetation Deutschlands. 1: Grundeinheiten: unter Verwendung von Ergebnissen aus dem F + E-Vorhaben FKZ 3508 82 0400 / [Hrsg.:] Bundesamt für Naturschutz. Reiner Suck. BfN, Bundesamt für Naturschutz.
- Tichý, L. (2002): JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*, 13(3), 451–453. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02069.x>
- Vollmuth, D., Bürger-Arndt, R., Ammer, C., & Konold, W. (2021): Die Nachhaltigkeit und der Mittelwald: Eine interdisziplinäre vegetationskundlich-forsthistorische Analyse oder: die pflanzensoziologisch-naturschutzfachlichen Folgen von Mythen, Macht und Diffamierungen. Universitätsverlag Göttingen. <https://doi.org/10.17875/gup2021-1602>
- Wörner, G., & Wörner, R. (1992): Park des Schlosses Augustusburg in Brühl. Parkpflegewerk. Grundsätze und Vorschläge zur Erhaltung, partiellen Wiederherstellung und Pflege des bedeutenden Kulturdenkmals und Gesamtkunstwerkes.
- Zimmermann, L., Raspe, S., Dietrich, H.-P., & Wauer, A. (2020): Dürreperioden und ihre Auswirkungen auf Wälder. *LWF aktuell*, 2/2020(126), 18–23.

Anhang

Tabelle 1: Verteilung der Wuchsklassen der weniger als zehn Mal im Rahmen der Vitalitätsansprache erfassten Arten.

	geringes Baumholz	mittleres Baumholz	starkes Baumholz	sehr starkes Baumholz	mächtiges Baumholz
<i>Quercus robur</i>	-	-	-	-	7
<i>Tilia platyphyllos</i>	4	2	-	-	-
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	-	-	1	-	1
<i>Aesculus hippocastanum</i>	-	-	1	-	-
<i>Quercus petraea</i>	-	-	-	1	-
<i>Ulmus glabra</i>	1	-	-	-	-

Tabelle 2: Verteilung der Vitalitätsstufen (VS) der Wuchsklassen „Stangenholz“, „sehr starkes Baumholz“ und „mächtiges Baumholz“.

	VS 0	VS 1	VS 2	VS 3	VS 4
Stangenholz					
<i>Acer platanoides</i>	1	-	1	-	-
<i>Fagus sylvatica</i>	-	-	1	-	-
Sehr starkes Baumholz					
<i>Fagus sylvatica</i>	-	1	3	-	-
<i>Fraxinus excelsior</i>	-	-	-	1	-
<i>Quercus petraea</i>	-	-	-	1	-
Mächtiges Baumholz					
<i>Fagus sylvatica</i>	-	-	4	1	1
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	-	1	-	-	-
<i>Quercus robur</i>	-	1	3	-	3

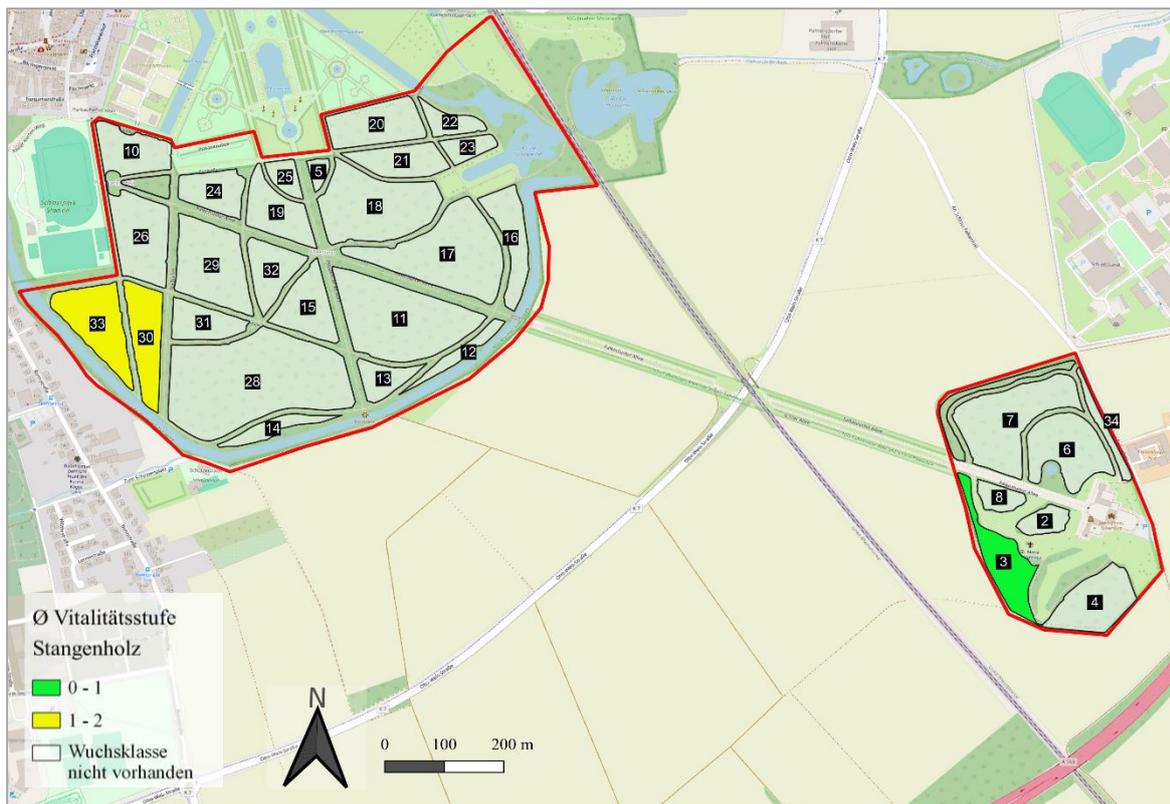


Abbildung 1: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „Stangenholz“ in jeder Teilfläche.

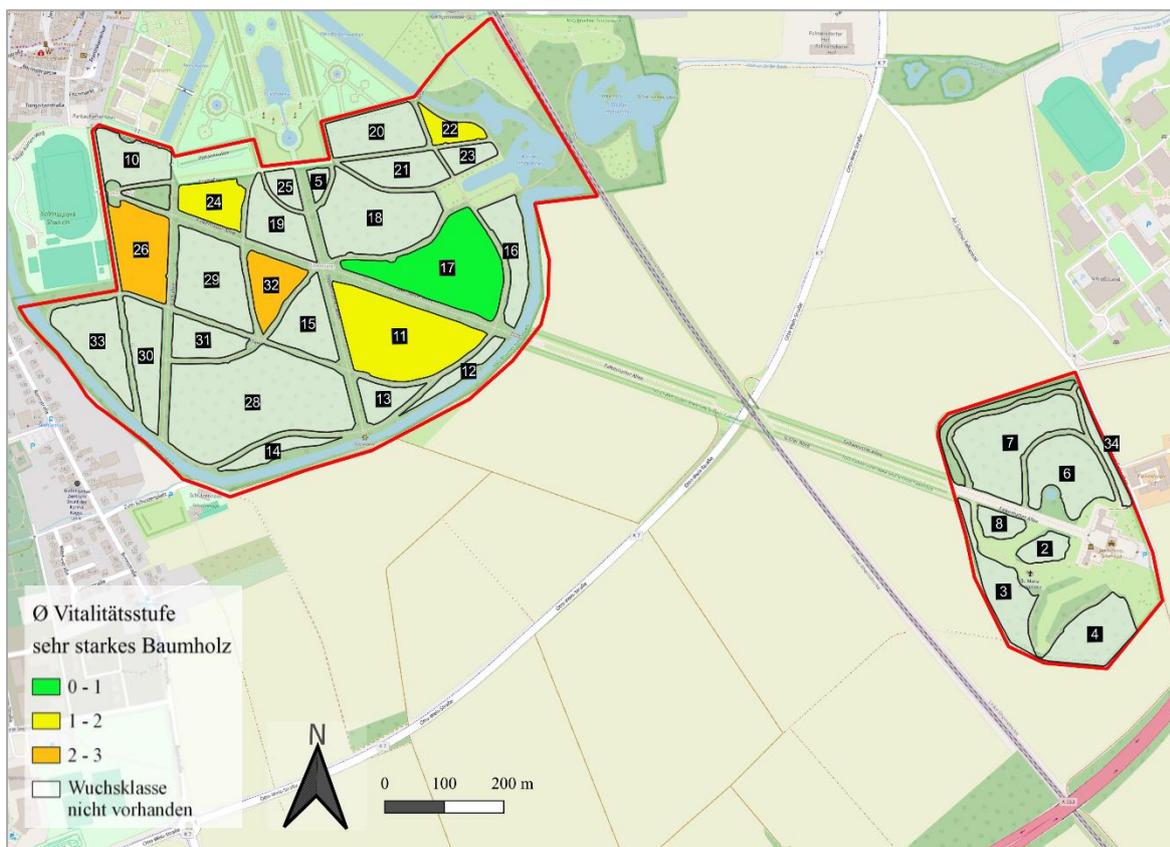


Abbildung 2: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „sehr starkes Baumholz“ in jeder Teilfläche.

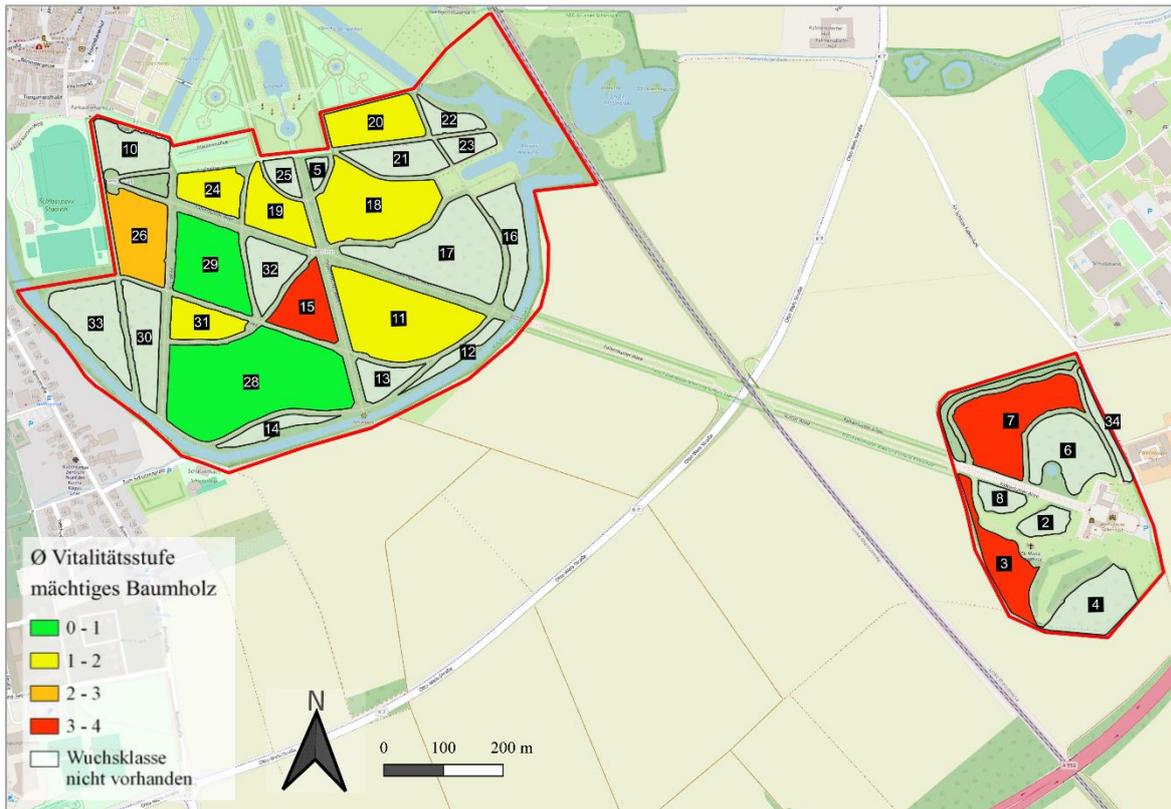


Abbildung 3: Durchschnittliche Vitalitätsstufe der Bäume der Wuchsklasse „mächtiges Baumholz“ in jeder Teilfläche.

Danksagung

Ein großer Dank geht an meinen Erstprüfer Dr. Lutz Kosack, der mich mit seiner fachlichen Expertise immer unterstützt und durch diese Arbeit begleitet hat. Danke auch für die viele Zeit, die er sich genommen hat, um meine Fragen zu beantworten, und dass er immer ein paar aufbauende und motivierende Worte fand.

Weiterhin geht ein Dank Herrn Dr. André Hamm, der mich während dieser Arbeit unterstützt hat und bereitwillig die Rolle als Zweitprüfer übernommen hat.

Ein weiterer Dank geht an die Verantwortlichen im Schlosspark Brühl für die Möglichkeit, die Untersuchungen meiner Masterarbeit im Rahmen ihres Projektes „Gestalterische Anpassung einer historischen Anlage an die Auswirkungen des Klimawandels - Schlösser Augustusburg und Falkenlust in Brühl“ durchführen zu können. Allen voran geht der Dank hier an Ufuk May, den Gärtnerischen Leiter des Schlossparks, sowie an die Landschaftsarchitektin Frau Elke Lorenz, für die Bereitstellung wichtiger Informationen und der ausführlichen Beantwortung meiner aufkommenden Fragen.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. Bernhardt Arnold für eine Einarbeitung in die Vitalitätsansprache nach der Methodik von ROLOFF, sowie bei Frau Ursula Brockmann-Scherwaß und Herrn Dr. Rüdiger Scherwaß für den fachlichen Austausch.