

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT

INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN (IUNR)

## **Sind Eichen Klimawandel gerecht?**



### **Bachelorarbeit**

Oliver Andrea Bachmann

Bachelorstudiengang 2016  
Abgabedatum 08.08.2019  
Studiengang: Umweltingenieurwesen

Fachkorrektur:

Axel Heinrich  
Andrea Gion Saluz

ZHAW Life Sciences und Facility Management  
Grüental, 8820 Wädenswil

## **Impressum**

### **Foto Titelseite**

Bachmann, Oliver

### **Adresse Institut**

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Departement Life Sciences and Facility Management 8820  
Wädenswil

### **Schlagworte**

Eichen, Klimawandel, Urban Forestry, Baumpflege, Baumpflanzung, Vitalitätsbeurteilung, Jungbäume,

### **Zitervorschlag**

Bachmann, O. (2019). Sind Eichen Klimawandel gerecht? Bachelor-Thesis. Wädenswil: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW.

## Abstract

This bachelor thesis deals with the suitability of oak trees as urban trees in the context of climate change. This is to be confirmed or validated using a practical example of an oak plantation on the Liebefeld campus in Berne. In addition, ecotypes that are particularly suitable for use in urban environments will be classified, taking genotypic characteristics into account. By means of literature research, the current state of research on urban trees suitable for climate change was reviewed and critical factors identified which could have a positive or negative effect on tree planting. It was recognised that the oaks planted in Bern, *Quercus robur*, *Quercus rubra*, *Quercus cerris*, *Quercus frainetto* and *Quercus palustris*, are all suitable as future urban and street trees, although this is only true for *Quercus palustris* with restrictions. *Quercus cerris* in particular is described in all studies as one of the most suitable tree species for use in an urban context. The plasticity of oak is confirmed in the literature. The high adaptability of populations to local climatic conditions suggests a variable gene pool which could prove promising in the context of climate change. How this variability can be transferred to urban tree production needs further investigation.

117 oak trees were tested for their general condition, their handling of the previous hot summer and their ability to regenerate by means of a vitality assessment. The results confirmed that oaks can recover well from periods of drought. The great potential of *Quercus cerris*, which achieved the highest vitality values everywhere, was also demonstrated in Bern. On the other hand, no statistically relevant statements could be made about the success of certain ecotypes. In order to prove such connections, further investigations are necessary. On the basis of ten felled trees, reasons could be identified which could have a negative effect on the vitality and thus longevity of tree plantations, independent of the species. These were mainly found in breeding, transplanting and finishing care. The root is strongly shortened after planting and the regeneration of the root has top priority. This can be done in several ways if each measure is aimed at a healthy root-sprout ratio, which could not be found in most felled trees. This imbalance, and other factors such as planting depth, are typical causes of drought stress and limit the trees' vitality and thus their ability to regenerate, making them less able to react to weather extremes such as summer 2018.

Thus, the hypothesis that oaks are urban trees suitable for climate change can be verified. But in order for oaks to exploit their growth potential in an urban context and provide us with the ecosystem services that are increasingly needed in the context of climate change, species-appropriate rearing and planting must be guaranteed. To this end, it is worth consulting the gardening literature of the last century, where, due to the lack of technical solutions, knowledge about the phenology and ontogenesis of plants has been used more extensively. First measures could be the consistent planting of trees in smaller thicknesses, a strong plant pruning and a well-thought-out young tree care.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit der Eignung von Eichen als Stadtbäume im Kontext des Klimawandels. Dies soll anhand eines Praxisbeispiels einer Eichenpflanzung auf dem Campus Liebefeld in Bern bestätigt oder validiert werden. Zusätzlich sollen unter Berücksichtigung genotypischer Merkmale Ökotypen klassifiziert werden, welche sich besonders für den Gebrauch im städtischen Umfeld eignen. Mittels Literaturrecherche wurde der aktuelle Forschungsstand von klimawandeltauglichen Stadtbäumen aufgearbeitet und kritische Faktoren identifiziert, welche sich positiv oder negativ auf eine Baumpflanzung auswirken können. Dabei wurde erkannt, dass sich die in Bern gepflanzten Eichen, *Quercus robur*, *Quercus rubra*, *Quercus cerris*, *Quercus frainetto* und *Quercus palustris*, alle als zukünftige Stadt- und Strassenbäume eignen, obwohl dies für *Quercus palustris* nur unter Einschränkungen gilt. Speziell *Quercus cerris* wird in allen Studien als eine der an den besten geeigneten Baumarten für den Einsatz im urbanen Kontext beschrieben. Die Plastizität von Eichen wird in der Literatur bestätigt. Die grosse Anpassungsfähigkeit von Populationen an lokale Klimabedingungen lassen auf einen variablen Genpool schliessen, welcher sich in Kontext des Klimawandels als vielversprechend erweisen könnte. Wie diese Variabilität in die Stadtbaumproduktion übernommen werden kann, bedarf weiterer Untersuchungen.

117 Eichen wurden mittels einer Vitalitätsbeurteilung auf ihren allgemeinen Zustand, ihren Umgang mit dem vorhergehenden Hitzesommer und ihre Regenerationsfähigkeit geprüft. Dabei bestätigte sich die Resultate aus der Literaturrecherche, dass alle Eichen sich gut von Dürreperioden erholen können. Auch in Bern zeigte sich das grosse Potential von *Quercus cerris*, welche überall die höchsten Vitalitätswerte erzielte. Hingegen konnten keine statistisch relevanten Aussagen über den Erfolg gewisser Ökotypen gemacht werden. Um solche Zusammenhänge zu beweisen, bedarf es weiterer Untersuchungen. Anhand von zehn gefälltten Bäumen konnten Gründe identifiziert werden, welche sich artunabhängig negativ auf die Vitalität und damit Langlebigkeit von Baumpflanzungen auswirken können. Diese wurden hauptsächlich in der Aufzucht, der Verpflanzung und der Fertigstellungspflege gefunden. Die Wurzel ist nach der Pflanzung stark gekürzt, und die Regeneration dieser hat oberste Priorität. Dies kann auf verschiedene Weisen erfolgen, sollte jede Massnahme auf ein gesundes Wurzel-Spross-Verhältnis abzielen, was bei den meisten gefälltten Bäumen nicht vorgefunden werden konnte. Dieses Ungleichgewicht, und weitere Faktoren wie die Pflanztiefe, sind typische Ursachen von Trockenstress und schränken die Vitalität und damit auch das Regenerationsvermögen der Bäume ein, worauf sie schlechter auf Wetterextreme wie den Sommer 2018 reagieren können.

Somit kann die Hypothese, dass Eichen klimawandelgerechte Stadtbäume sind, verifiziert werden. Aber damit Eichen im urbanen Kontext ihr Wuchspotential ausschöpfen und uns die im Kontext des Klimawandels vermehrt benötigten Ökosystemdienstleistungen erbringen können, muss eine artgerechte Aufzucht und Pflanzung garantiert werden. Dafür lohnt es sich, die gärtnerische Literatur des letzten Jahrhunderts zu konsultieren, wo aufgrund des Fehlens von technischen Lösungen mehr mit dem Wissen über die Phänologie und Ontogenese der Pflanzen gearbeitet wurde. Erste Massnahmen könnten das konsequente pflanzen von Bäumen in geringeren Stärken, einen starken Pflanzschnitt und eine durchdachte Jungbaumpflege sein.

## Inhalt

Abstract .....	2
Zusammenfassung .....	4
Glossar .....	6
1 Einleitung .....	7
2 Material / Methode .....	10
2.1 Literaturrecherche .....	10
2.2 Untersuchungsgebiet .....	10
2.3 Datenerhebung .....	11
2.4 Auswertung der Daten .....	24
3 Resultate .....	26
3.1 Vitalitätsbeurteilung .....	26
3.2 Statistische Resultate .....	29
3.3 Gefällte Bäume .....	33
4 Diskussion .....	38
4.1 Gefällte Bäume .....	38
4.2 Vitalitätsbeurteilung .....	42
4.3 Synthese .....	45
5 Schlussfolgerungen .....	47
Literatur .....	49
Abbildungsverzeichnis .....	55
Tabellenverzeichnis .....	57
Anhang .....	58

## Glossar

Adventivwurzel	Nachträglich gebildete Wurzel, die sich u.a. dann bildet, wenn ein Baum zu tief gepflanzt wurde. Die Adventivwurzel kann auf eine Schädigung des ursprünglichen Wurzelsystems hindeuten (Klug, Engels, & Klug-Engels-Binder-Kastner, 2000, S. 10)
Anwachspflege	Der nach einer Pflanzung notwendige Pflegeaufwand, der dazu dient, ein Gehölz anwachsen zu lassen. Kann mit der Fertigstellungspflege gleichgesetzt werden. Bei den meisten Projekte drei Jahre (Klug et al., 2000, S. 15)
Autochthonie	Bezeichnung für Tier- und Pflanzenarten, deren natürlichen Vorkommen mit dem Fundort übereinstimmt (Klug et al., 2000, S 20)
Fruktifikation	das Ausbilden von Früchten bei Bäumen (Klug et al., 2000, S. 74)
Johannistrieb	Einige unserer Baumarten haben die Fähigkeit, innerhalb der Wachstumsphase des Baumes ein zweites Mal auszutreiben. Dieser dann gebildete Trieb heisst Johannistrieb (Klug et al., 2000, S. 93)
Plastizität	das Vermögen eines Organismus, sich an bestimmte Pfahlwurzel Umweltveränderungen des äusseren Erscheinungsbild oder der inneren Physiologie anzupassen (Roloff, 2018)
Triebbasisnarben	Narben an der Basis eines Triebes, die von den Schuppen der ehemals an dieser Stelle vorhandenen Knospe stammen. Anhand der Triebbasisnarbe kann die Triebblängenentwicklung über mehrere Jahre hinweg untersucht werden (Klug et al., 2000, S. 179)
Verschulen	Das Verpflanzen oder Versetzten von Jungbäumen oder Sämlingen in der Baumschule. Der Zweck des Verschulens liegt hauptsächlich in der Erziehung eines dichten Wurzelballens (Klug et al., 2000, S. 188)
Vitalität	Ausdruck für die Lebensfähigkeit und die Lebenskraft eines Organismus. Die Vitalität äussert sich darin, wie ein Organismus sich an seine gegebene Situation anpassen kann (Klug et al., 2000, S. 189)
Wurzelanlauf	Übergang von der Wurzel in den Stamm (Klug et al., 2000, S. 202)
Wurzelballen	Erds substrat, das für einen Transport der Pflanze nach dem Ausgraben um die Wurzeln herum erhalten bleibt und vor allem die Feinwurzeln vor Austrocknung und Abriss schützt. Es ist von Draht und / oder verrottbarem Tuch umgeben (Klug et al., 2000, S 22)
Wurzelstärken	Starkwurzeln (d > 5cm); Grobwurzeln (d = 2-5cm); Schwachwurzeln (d = 0.5-2cm); Feinwurzeln (d = 0.1-0.5cm) sowie Feinstwurzeln (d<0.1cm)

# 1 Einleitung

Bäume bieten Städten und ihren Bewohnern erhebliche Vorteile. Neben den ortsbildenden und ästhetischen Werten sind laut Roloff & Kehr (2013) unter anderem folgende Leistungen bekannt: Durch die Bindung und Umsetzung von Ozon, Stickoxiden, SO<sub>2</sub> und Kohlenmonoxid fungieren sie als Immissionsschutz. Durch ihre wasserspeichernden Eigenschaften helfen sie, Extremwetterereignisse abzupuffern. Indem sie das Wasser über einen längeren Zeitraum über Transpiration wieder in die Umwelt abgeben helfen sie mit diesem Kühleffekt den urbanen Wärmeinseleffekt zu mindern (Bernatzky, 1982; Roloff & Kehr, 2013). Die oben genannten Eigenschaften erfüllen Bäume am besten, wenn sie vital sind (Gillner, Bräuning, & Roloff, 2014). Vitalität wird beeinflusst durch das Alter, die Erbanlagen sowie Umweltfaktoren. Doch wirken sich viele Umweltfaktoren innerhalb von Städten negativer auf die Vitalität eines Baums aus als an Naturstandorten (Roloff & Kehr, 2013). Dies ist unter anderem auf veränderte mikroklimatische Bedingungen, Überhitzung, Umweltverschmutzung, begrenzte Wasserverfügbarkeit, Salzkontamination und schlechte Bodenqualität zurückzuführen. Das Zusammenwirken dieser Faktoren führt dazu, dass Stadtbäume eine um bis zu 50 % tiefere Lebenserwartung haben als ihre Artgenossen auf natürlichen Standorten (Roloff & Kehr, 2013). Um wider die Statistik gesund zu wachsen, müssen Bäume ausreichend an diese Belastungen angepasst sein. Darüber hinaus werden die Auswirkungen des Klimawandels den Hitze- und Trockenstress für städtische Bäume zusätzlich erhöhen, an die einige Arten möglicherweise nicht angepasst sind. Daher ist es von Bedeutung, dass die heutige Baumauswahl bereits die nahe Zukunft mit in Betracht zieht, denn heute gepflanzte Bäume müssen mit den veränderten Umweltbedingungen von morgen umgehen können, damit sie die Leistungen erbringen können, auf welche wir im Kontext des Klimawandels immer mehr angewiesen sein werden.

Viele Studien und Forschungsprojekte beschäftigen sich mit zukunftsfähigen Stadtbaumarten (Susanne Böll, 2018; Gillner, Vogt, Tharang, Hofmann, & Roloff, 2015; Böll, Schönfeld, Körber, & Herrmann, 2013). Für die Anforderungen an das Stadtklima entwickelten verschiedene Forschungsteams Matrizen, um Bäume in Bezug auf ihre Eignung als Stadtbäume und damit ihrer Toleranz gegenüber Stressfaktoren wie Trockenheit einzuteilen (Bassuk, Curtis, Murrancea, & Neal, 2009; GALK, 2019; Niinemets & Valladares, 2006; Roloff, Korn, & Gillner, 2009; Roloff & Kehr, 2013).

Das Klima der Stadt Bern wird im Jahr 2050 voraussichtlich mit dem heutigen Klima von Mailand zu vergleichen sein. So wird sich die prognostizierte Jahresdurchschnittstemperatur um +2.4°C erhöhen, wobei die sommerlichen Temperaturen sogar um +4.9°C steigen werden. Neben den erhöhten Temperaturen sinken gleichzeitig die Jahresniederschläge, dies hauptsächlich in den Sommermonaten (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf & Rubel, 2006; Bastin et al., 2019; MeteoSchweiz, 2014; Rubel, Brugger, Haslinger & Auer, 2017). Auch wenn

unser Klima in den nächsten Jahren mediterraner wird, muss weiterhin mit Frosttagen gerechnet werden (MeteoSchweiz, 2014), daher sind potentielle Zukunftsbäume für Städte wie Bern in kontinentalen Regionen mit sommerlichen Hitze- und Trockenheitsphasen sowie starker Winterkälte zu suchen. Dieses Klima entspricht den heutigen Verhältnissen von Regionen wie das südliche Osteuropa, die Kaukasusregion und Zentralasien, Nordamerika oder auch Regionen in China (Roloff, Gillner, Kniesel & Zhang, 2018; Blaser et al., 2016). Nur wenige südeuropäische (*Q. cerris* – Zerreiche, *Q. frainetto* – Ungarische Eiche) und amerikanische Eichen-Arten (*Q. rubra* – Rot-Eiche, *Q. palustris* – Sumpf-Eiche) haben bis anhin eine gewisse Bedeutung im urbanen Raum (Roloff, Thiel & Weiß, 2015, S. 20), obwohl Studien wie die von Kuster, Dobbertin, Günthardt-Goerg, Schaub & Arend (2014) von einer «[...] überlegenen Trockenheitstoleranz dieser Baumgattung» sprechen.

Dressler, Korn, Roloff & Scheewe (2015) haben in ihrem zweijährigen Versuchsprojekt «AdapTree» aufgezeigt, dass eine gewisse Anpassung von jungen Gehölzen an Trockenheit möglich sei. Untersuchungen von Bonfils et al., (2013) zeigen auf, dass Jungeichen flexibel auf erhöhte Temperaturen und Trockenheit reagieren. Ihr Stoffwechsel kommt auch nach starker Trockenheit wieder in Gang. Um Wasserverlust zu minimieren und gleichzeitig die Stoffwechselprozesse aufrecht zu erhalten, passen Jungpflanzen je nach Bedingungen Grösse und Gestalt ihrer Blätter an. Auch das Verhältnis von Spross-Wurzelwachstum verändert sich, um die überlebenswichtige Wasserversorgung aufrecht zu erhalten (Günthardt-Goerg, Kuster, Arend, & Vollenweider, 2013). Um die Kenntnisse über die Plastizität einheimischer und nichteinheimischer Baumarten zu vertiefen, bedarf es jedoch noch mehr Forschung (Roloff, 2018, S. 156; Dressler et al., 2015).

Die landesweite Jahrestemperatur erreichte 2018 den höchsten Wert seit Messbeginn. Auf den zweitwärmsten April endete der Frühling mit dem fünftwärmsten Mai seit Messbeginn 1864 (MeteoSchweiz, 2019a). Der Sommer war mit +2°C der dritte in kurzer Folge mit weit überdurchschnittlichen Temperaturen. Er hebt sich mit den Sommern 2017, 2015 und 2013 deutlich von allen übrigen Sommern ab. Der April verzeichnete nur 20 - 40% der Niederschläge im Vergleich zur Norm 1981 – 2010 (MeteoSchweiz, 2018). Im Sommer 2018 fielen in Bern 76% der Niederschläge im Vergleich zum Mittel während der Normperiode (MeteoSchweiz, 2019a).

Im Kontext dieses Hitzesommers soll in der vorliegenden Arbeit eine Eichenpflanzung auf ihren allgemeinen Vitalitätszustand, ihren Umgang mit Trockenheit und ihr Potential zur Revitalisierung während eines darauffolgenden, niederschlagsreicheren Frühjahrs (91% im Vergleich zum Mittel während der Normperiode 1981-2010) untersucht werden (MeteoSchweiz, 2019b). Über den Verlauf des Frühlings / Sommer 2019 wurden diverse Parameter an den und um die Eichen auf dem Campus Liebefeld aufgenommen. Ziel ist es, gewisse Indizien heraus-



zufiltern, welche für oder gegen eine vitale Baumentwicklung sprechen. Dies können sowohl genotypische Eigenschaften der Individuen wie Austriebzeitpunkt oder Wuchsform als auch externe Faktoren wie die Pflanztiefe oder die unterschiedlichen Standortbedingungen sein. Mit gewonnenen Erkenntnissen aus der Literatur soll aufgezeigt werden, ob Eichen klimawandel-taugliche Stadtbäume sind.

Die Hypothese der vorliegenden Arbeit lautet daher: «Eichen sind Klimawandel gerechte Stadtbäume, wenn sie sich durch eine artgerechte Aufzucht und Pflanzung frühzeitig an einen gegebenen Standort anpassen können.»

## 2 Material / Methode

### 2.1 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche zur Fragestellung «Sind Eichen Klimawandel gerecht?» wurde mit folgenden Stichpunkten erweitert:

«Sind die auf dem Untersuchungsgebiet gepflanzten Eichen (*Quercus robur*, *Q. rubra*, *Q. cerris*, *Q. palustris*, *Q. frainetto*) als Zukunftsbäume geeignet? Welche weiteren Faktoren beeinflussen die Vitalität und Plastizität von Eichen im urbanen Umfeld?»

Mit den Schlagworten dieser Frage wurde in verschiedenen Datenbanken nach Literatur gesucht. Weiterhin wurde die Suche mit Trunkierungen der Wörter erweitert, Thesaurus benutzt und dasselbe Vorgehen mit den übersetzten englischen Suchbegriffen wiederholt. Im Laufe des Verfassens der Arbeit wurde die Suche systematisch erweitert. Unter anderem wurden folgende Datenbanken für die Suche verwendet: NEBIS, GoogleScholar, greenFILE, researchgate und sciencedirect.

### 2.2 Untersuchungsgebiet

Die zu untersuchenden Eichen stehen auf dem Campus Liebefeld. Liebefeld gehört zur politischen Gemeinde Köniz und bildet deren Nordgrenze zur Stadt Bern (vgl. Abbildung 1). Der Campus wurde 2015 fertiggestellt und beherbergt nun das Bundesamt für Gesundheit (BAG) und das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) (BBL, 2018).

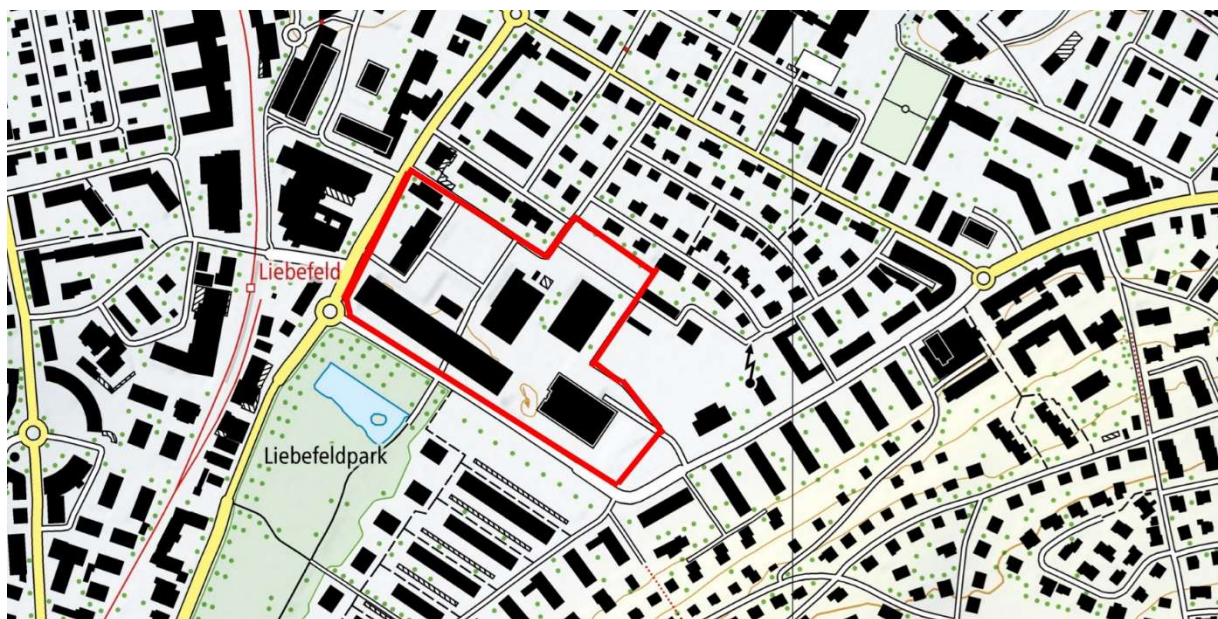


Abbildung 1; Lage des Campus Liebefelds nordöstlich des Liebefeldparks (Bild: geo.admin.ch, mod.)

## 2.2.1 Pflanzung

Zwischen dem 18.03 - 22.03.2014 wurden auf dem Areal 117 Eichen mit Stammumfang 22/25cm gepflanzt. Neben den 105 *Quercus robur* wurden jeweils drei Bäume der Arten *Q. rubra*, *Q. palustris*, *Q. cerris* und zwei der Art *Q. frainetto*. Der Pflanzplan ist dem Anhang 1 zu entnehmen.

Die Baumgruben wurden mit Baums substrat Typ «Stadt Basel» gefüllt. Das Substrat basiert auf Granitschotter und gebrochenen Granitkiessand. Es weist einen pH zwischen 7-8 auf (Dubs, 2017).

## 2.2.2 Klima

Das Klima des Grossraums Bern entspricht dem mitteleuropäischen, submontanem Klima mit einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von etwa 85 mm im Monat. Es gibt das ganze Jahr über deutliche Niederschläge, wobei selbst der trockenste Monat noch hohe Niederschläge aufweist (vgl. Abbildung 2). Die Jahresmitteltemperatur beträgt ca. 9°C. Der Monat Juli ist, mit einer Monatsmitteltemperatur von 18°C, der wärmste Monat. In den Wintermonaten liegen die Tagestemperaturen um den Gefrierpunkt. An circa 92 Tagen muss mit Frost gerechnet werden. Im Vergleich zur Messperiode 1961-1990 sind die Temperaturen in der Periode 1990-2010 um 1°C angestiegen. Die Niederschlagsmenge blieb in dieser Zeit praktisch unverändert (MeteoSchweiz, 2014).

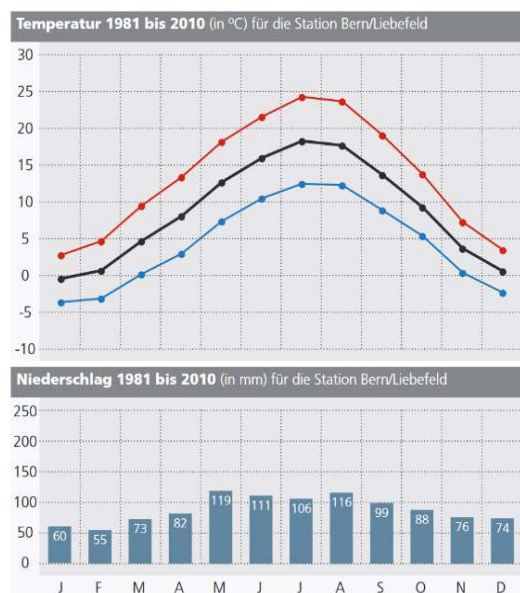


Abbildung 2; Klimadiagramm der Messstation Bern/Liebefeld. Rot = maximale Temperatur; Schwarz = durchschnittliche Temperatur; Blau = minimale Temperatur (Bild; MeteoSchweiz, 2014)

## 2.3 Datenerhebung

Um die verschiedenen phänologischen Parameter zu erheben, wurde das Gelände während des Frühjahrs und Sommers 2019 mehrmals begangen. In den folgenden zwei Unterkapitel ist die Erläuterung des Designs der Datenerhebung auf die zwei Messungen, der der gefällten und der noch stehenden Bäume, aufgeteilt.

### 2.3.1 Vitalitätsbeurteilung

Eine abschliessende Vitalitätsbeurteilung eines Baumes ist eine methodisch komplexe und nicht immer kostengünstige Angelegenheit. Im Forst sowie in der Baumpflegepraxis wird die Vitalität meist anhand der Kronenstruktur und am Zustand der Belaubung bestimmt (FLL, 2014). So ist eine gute Möglichkeit für Untersuchungen an der Krone ein fest installierten Kran (Roloff, 2018, S. 10), was aufgrund des Aufwands in dieser Untersuchung nicht möglich war. Weiter bieten terrestrische Laserscanning-Methoden, um unter anderen den LAI (Leaf Area Index) zu erfassen, schnelle Methoden für die Kronenerfassung (Roloff, 2018, S. 10). Ein solches Gerät wird zurzeit von der ZHAW angeschafft, stand aber zur Zeit der Untersuchung nicht zur Verfügung. Weiterhin gibt es Bildanalyseprogramme, wie die Software CROCO, um die Kronentransparenz zu errechnen (Peper & McPherson, 2003). Leider stand diese Software nicht mehr als Download zur Verfügung und konnte daher nicht zur Vitalitätsbeurteilung eingesetzt werden. Auch die von Roloff (2018) vorgeschlagene Untersuchung der Triebbasisnarben konnte aufgrund des benötigten Aufwandes nicht durchgeführt werden. Für Beurteilungen des Stammzuwachs sind mehrere Jahre nötig und nicht allgemein als Vitalitätsfaktor anerkannt (Roloff, 2018, S. 80). Alternativ wurden mittels visueller Beurteilung der Kronenstruktur im laublosen Zustand, der Qualität des Austriebs im Frühling und der im Frühsommer erfolgte Johannistrieb drei Werte gemessen, welche auf

- a. den Zustand des Baumes über mehrere Jahre (Kronenstruktur)
- b. den Umgang mit der extremen Hitze und Trockenheit im Vorjahr (Austrieb)
- c. die Revitalisierung (Johannistrieb)

hinwiesen. Damit soll nicht versucht werden, eine abschliessende Beurteilung der Gesundheit der Individuen vorzunehmen, sondern mittels einer Momentaufnahme eine Beurteilung über die Anpassungsfähigkeit der Eichen an Extremsituationen wie den Sommer 2018 zu beurteilen.



Abbildung 3; Kronenvitalitätsstufen V0 - V2 nach Roloff (2018). (Bild; Roloff (2018), mod.)

## Kronenstruktur

In Anlehnung an das Vitalitätsstufenmodell der Baumkronen von Roloff (2018) (siehe Abbildung 3) wurden die Eichen in verschiedene Vitalitätskategorien eingeteilt. Obwohl die Vitalitätsbeurteilung für die heimischen Laubbaumarten entwickelt wurde, lässt es sich auf alle hier untersuchten Eichen übertragen. (Roloff et al., 2015, S. 29) Da es sich bei den Bäumen jedoch um Jungbäume handelt, deren Kronenstruktur zusätzlich einem Erziehungsschnitt unterliegt, ist das Modell von Roloff (2018) nicht direkt anwendbar. Daher wurden folgende, leicht angepasste Kategorien definiert:

- K0** Bildung pinselförmiger Strukturen und Abflachung des Wipfels unter ausschliesslicher Kurztrieb Bildung (vgl. Abbildung 4)
- K1** Durch kürzere Triebblängen entstehen im Wipfelbereich längliche Strukturen (vgl. Abbildung 6)
- K2** Der Wipfelbereich, unter der Berücksichtigung allfälliger Schnittmassnahmen, besteht aus langen Trieben, die den Luftraum der Krone gleichmässig ausfüllen (vgl. Abbildung 5)



Abbildung 5; Beispiel K2



Abbildung 6; Beispiel K1



Abbildung 4; Beispiel K0

## Austrieb

Bei Eichen ist der negative Einfluss einer Vegetationsperiode erst im folgenden Jahr sichtbar. Dies liegt an den bereits im Vorjahr gebildeten Knospenanlagen, welche bereits die Blätter für den frühjährlichen Austrieb beinhalten (Roloff, 2001, S. 42). Daher ist der Austrieb ein Indiz für die Bewältigung von kürzlich vergangenen Extremereignissen. Der Austrieb im Frühling wurde folgendermassen kategorisiert:

- A0** Rückbildung der Krone, Tendenz zur sekundären Kronenbildung (vgl. Abbildung 8)
- A1** Sichtbare Wasserhaushaltsstörungen durch teilweisen Austrieb nur am Triebende, Kurztrieb Bildung (vgl. Abbildung 9)
- A2** Belaubung der ganzen Krone sichtbar, Verzweigung an Triebenden, mit mehreren Langtrieben (vgl. Abbildung 7)



Abbildung 7; Beispiel A2



Abbildung 9; Beispiel A1



Abbildung 8; Beispiel A0

**Johannistrieb**

Um die Fähigkeit eines Individuums zu beurteilen, sich in einem niederschlagsreichen, sonnigen Jahr wieder vom letztjährigen Extremereignis zu erholen, wird hier die Ausprägung des Johannistriebs folgendermassen kategorisiert:

- J0** kein Johannistrieb ausgebildet
- J1** Johannistrieb ausgebildet
- J2** Johannistrieb stark ausgebildet (vgl. Abbildung 10)



Abbildung 10; Austrieb im Frühjahr (links) und stark ausgebildeter Johannistrieb im Juli (rechts)

**2.3.2 Weitere Vitalitätsfaktoren**

Weitere Faktoren, welche auf die Vitalität der Individuen schliessen könnten, sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1; Aufschlüsselung weiterer Vitalitätsfaktoren

Parameter	Aufnahmedatum	Faktor	Erläuterung	Abbildung
<b>Zurückgetrocknete Triebe</b>	15.07.2019	<b>0</b> – nein <b>S</b> – ja, Seitentrieb <b>K</b> – ja, Leittrieb	Wenn Seitentrieb zurückgetrocknet = S; wenn Leittrieb zurückgetrocknet = K; wenn keines von beiden = 0	Abbildung 11 Abbildung 12
<b>Wasser Haushaltsstörung</b>	15.07.2019	<b>0</b> – nein <b>1</b> – ja	Äste sind nicht durchgehend belaubt resp. nur an Triebspitzen 1; wenn schon 0	Abbildung 11
<b>Gestützte Krone</b>	28.05.2019	<b>0</b> – nein <b>1</b> - ja	Wenn die Krone an einen Stock gebunden ist 1; sonst 0	Abbildung 11
<b>Zweite Krone</b>		<b>0</b> – nein <b>1</b> - ja	Wenn klar erkennbar, dass ein Seiten- zum Leittrieb erzogen wird 1; sonst 0	Abbildung 13
<b>Fruktifikation</b>	15.07.2019	<b>0</b> – nein <b>1</b> - ja	keine ersichtlichen Sämlinge 0; ersichtliche Sämlinge 1	Abbildung 14
<b>Stammausschlag (Reiteration)</b>	15.07.2019	<b>0</b> – nein <b>1</b> - ja	wenn schlafende Knospen aus dem Stamm austreiben 1; sonst 0	



Abbildung 11; *Quercus robur* (#39) mit zurückgetrockneten Seitentrieben, Wasserhaushaltsstörungen und einer gestützten Krone



Abbildung 12; *Quercus robur* (Baum #48) mit zurückgetrockneter Krone



Abbildung 14; Bei den meisten Baumscheiben waren Eicheln ersichtlich, welche im Verlauf des Frühjahrs keimten



Abbildung 13; *Quercus robur* (#113) mit sekundärer Krone durch ehemaliger Rücktrocknung des Leittriebs



### 2.3.3 Faktoren zur Klassifizierung von Genotypen

Um neben dem Artverhalten noch weitere Unterscheidungen zwischen den Eichen vornehmen zu können, wurden Parameter erfasst, welche die unterschiedlichen Genotypen inter- oder intraspezifisch vergleichen lassen könnten. Mithilfe dieser Parameter soll aufgezeigt werden, ob Individuen, die sich aus genetischen Gründen unterschiedlich verhalten, gewisse Vor- oder Nachteile bezüglich den Vitalitätsfaktoren aufweisen.

#### Laubabwurf Vorjahr

Den Belaubungszustand vom Vorjahr wurde am 12.05., also vor der Knospenöffnung, aufgenommen. Die Bäume wurden folgendermassen kategorisiert:

- 0 alles letztjährige Laub verloren (vgl. Abbildung 17)
- 1 bis auf vereinzelte Blätter alles letztjährige Laub verloren (vgl. Abbildung 16)
- 2 grösster Teil der Belaubung vom Vorjahr noch nicht abgefallen (vgl. Abbildung 15)



Abbildung 17; *Quercus rubra* (#11) hat bis zum Frühling alles Laub abgeworfen



Abbildung 16; Baum #51 hat noch vereinzelte Blätter des Vorjahres an den Trieben



Abbildung 15; Baum # 47 hat den Grossteil des letztjährigen Laubes noch nicht abgeworfen

### Austriebzeitpunkt

Eichen sind in unseren Breitengraden die Laubbäume mit dem spätesten Austriebzeitpunkt (Bärtels & Schmidt, 2014). Die Kategorisierung der Bäume wurde am 12.05. unter folgenden Parameter vorgenommen:

- 0 spätaustreibend; zum Zeitpunkt der Aufnahme waren die Knospen noch geschlossen
- 1 normal austreibend; zum Zeitpunkt der Aufnahme waren die Blätter in Entwicklung oder mindestens die Knospen sichtlich geöffnet
- 2: frühaustreibend; zum Zeitpunkt der Aufnahme waren die Blätter bereits voll entwickelt. (vgl. Abbildung 19)

### Ökotypus

Bei der Wuchsform der Krone wurde zwischen S- und C-Typen unterschieden. Bei S-Typen wachsen auch die Seitenäste mehr oder weniger aufrecht (vgl. Abbildung 20), daraus ergibt sich ein säulenförmiges Kronenbild. Bei C-Typen wachsen die Seitenäste mehr waagrecht vom Stamm weg, was zu einer pyramidalen Kronenstruktur führt. (vgl. Abbildung 18).



Abbildung 20; Baum #70 mit S-Wuchs



Abbildung 18; Baum #101 mit C-Wuchs



Abbildung 19; *Quercus frainetto* (#28) treibt bereits Ende April aus.

### 2.3.4 Planungs- und Bewirtschaftungseinflüsse

Um den Einfluss von Planungs- oder Bewirtschaftungsfaktoren, wie Standortbedingungen, Unterpflanzung oder Pflanzhöhe auf die Vitalität der Eichen zu untersuchen, wurden in Tabelle 2 weitere Daten erhoben.

#### Wurzelanlauf

Eine richtige Pflanzhöhe ist für die weitere Entwicklung eines Baumes von entscheidender Bedeutung. Ein zu tiefes Verpflanzen kann eine dauerhafte Wachstumsstörung oder gar das Absterben des Baumes zur Folge haben kann (Balder, 1998, S. 95). Die Einteilung der Bäume nach der Pflanzhöhe wurde wie folgt kategorisiert:

W0 der Wurzelanlauf ist nicht sichtbar (vgl. Abbildung 21)

W1 der Wurzelanlauf ist gut sichtbar (vgl. Abbildung 22)

W2 die obersten Bereiche der Wurzel liegen frei (vgl. Abbildung 23)



Abbildung 23; Beispiel eines tief gepflanzten Baumes, der Wurzelanlauf ist nicht sichtbar



Abbildung 21; Beispiel eines gut gepflanzten Baumes, der Wurzelanlauf ist sichtbar



Abbildung 22; Beispiel eines zu hoch gepflanzten Baumes, die Wurzel steht in der Luft.

Tabelle 2; Faktoren von Planungs- und Bewirtschaftungseinflüssen

Parameter	Aufnahmedatum	Faktor	Erläuterung
<b>Standort</b> (vgl. Abbildung 24)		Wiese (W)	Gewachsener Boden um Baumgrube, mögliche Bodenverdichtung
		Böschung (B)	Grosser Wurzelraum in Böschung hinein
		Fahrradparkplatz (F)	Starke Rückstrahlung durch Asphalt und Glasdächer; mögliche Bodenbelastung durch Tritte
		Retentionsbecken / OST (RO)	Starke Rückstrahlung Hauptgebäude und Strasse, Grosser Wurzelraum in Becken hinein
		Retentionsbecken NORD (RN)	Grosser Wurzelraum in Becken hinein
		Parkplatz (PP)	Rückstrahlung Parkplätze, Vollsonne
		Chaussierung (Ch)	Hohe Abstrahlung, Verdichtung
		Strasse (S)	Hohe Abstrahlung der Strasse, erhöhte Luftemissionswerte, Südexponiert, Salzeintrag
<b>Unterpflanzung</b>	15.07.2019	S – Stauden (S)	Stauden dominieren die Unterpflanzung
		G – Gräser (G)	Gräser dominieren die Unterpflanzung
<b>Deckungsgrad Bepflanzung</b>	15.07.2019	Deckungsgrad %	Gesamter Deckungsgrad auf der Baumscheibe

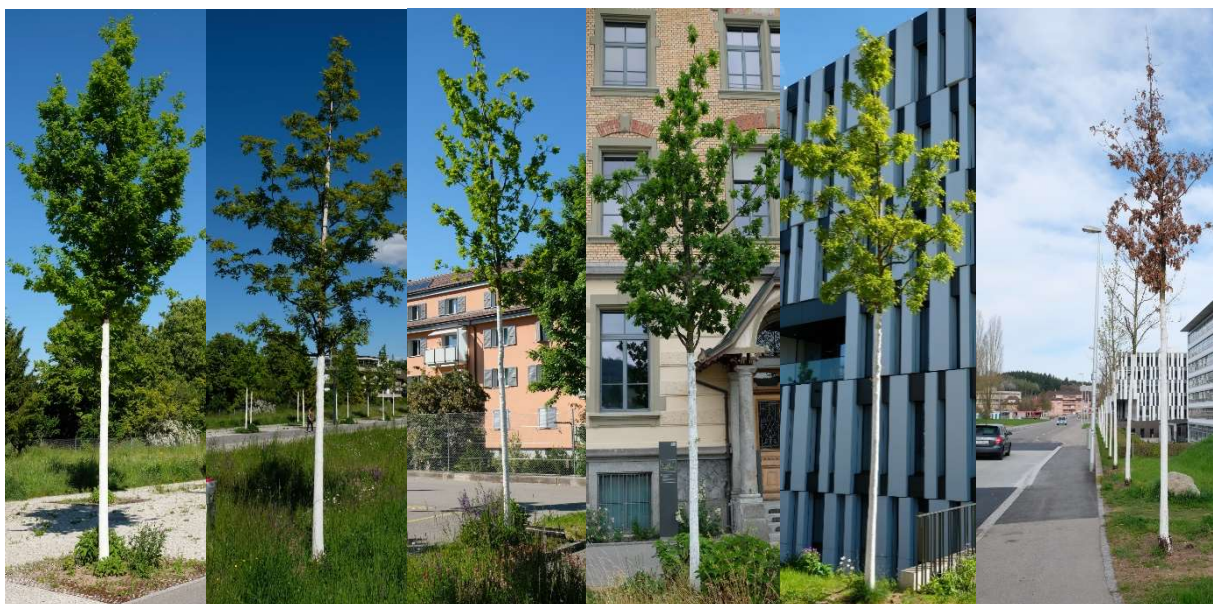


Abbildung 24; Beispiele der Standorte (v.l.n.r); Chaussierung (mit Stauden Unterpflanzung), Wiese, Parkplatz, Retentionsbecken NORD (mit Stauden Unterpflanzung), Böschung (mit Gras Unterpflanzung), Strasse

### 2.3.5 Beurteilung der gefälltten Bäume

Im Frühjahr 2019 wurden 10 Bäume der Art *Quercus robur* durch die Baumpflegefirma Anton Hofstetter gezogen. Zuerst wurde der Baum auf einer Höhe von 120 cm gefällt. Anschliessend wurden Lastgurte am noch vorhandenen Reststamm festgemacht und mithilfe eines Lastkrans aus dem Substrat gezogen (vgl. Abbildung 29). Zu einem späteren Zeitpunkt wurden die Wurzelballen mit einem Hochdruckreinigungsgerät ausgespült, um Einsicht in die Wurzelstruktur zu gewinnen. Zusätzlich wurde von jedem Stamm ein Querschnitt präpariert, um durch eine Jahrringanalyse Rückschlüsse auf das Wachstum seit und vor der Verpflanzung ziehen zu können. Die an den gefälltten Bäumen oberirdisch sichtbaren Parametern sind in Tabelle 3 ersichtlich, die erhobenen Daten zur Wurzel in Tabelle 4 und die des Ballens in Tabelle 5.

Tabelle 3; oberirdische Beurteilung der gefälltten Bäume

Parameter	Aufnahmedatum	Faktor	Erläuterung
<b>Stamm / Krone</b>	30.05.2019		
Stammumfang		cm	Auf 1 m Höhe
Stammlänge		cm	Ab Wurzelansatz bis ersten Ast
Kronenlänge		cm	Ab ersten Ast
Kronenvolumen		m <sup>3</sup>	$(\pi * r^2 * \text{Kronenlänge})/2$
Baumlänge		cm	Stammlänge + Kronenlänge
Verhältnis Krone / Stamm		1:x	= h/d - Wert
Wuchsform		C- oder S-Typ	Siehe Abschnitt X
Zweite Krone		0 – nein 1 - ja	Wenn Seiten- zu Leittrieb umerzogen wurde 1; sonst 0
Anzahl Äste		#	
<b>Pflege</b>	30.05.2019		
Astkappungen Stamm		#	
Astkappungen Krone		#	
beschnittene Äste		#	
<b>Pflanzung</b>	30.05.2019		
Tiefpflanzung		cm	Distanz zwischen Pflanzhöhe und Wurzelanlauf
Adventivwurzel		0 – nein 1 - ja	Kam es neben den Hauptwurzeln zum Austrieb neuer Wurzeln? Wenn ja 1; sonst 0

Tabelle 4; Parameter zur Wurzelbeurteilung

Parameter	Aufnahmedatum	Faktor	Erläuterung
<b>Wurzel</b>	30.05.2019		
Wurzelverzweigung im Ballen		fein / grob	Sind Fein- ( $\varnothing > 0.5\text{cm}$ ) oder nur Grobwurzeln ( $\varnothing < 0.5\text{cm}$ ) erkennbar
Wurzelverzweigung ausserhalb Ballen		keine / fein / grob	Sind Fein- und Grob-- ( $\varnothing > 0.5\text{cm}$ ) oder nur Grobwurzeln ( $\varnothing < 0.5\text{cm}$ ) erkennbar oder keine Verwurzelung
Feinwurzel ausserhalb Ballen		#>25; >50; >100; >250	
Feinwurzeln Wuchsrichtung		Senkwurzel; Flachwurzel	Wenn unten aus Ballen = Senkwurzel; wenn waagrecht aus Ballen = Flachwurzel
Grobwurzeln ausserhalb Ballen		#>25; >50; >100; >250	
Grobwurzeln Wuchsrichtung (ausserhalb Ballen)		Senkwurzel; Flachwurzel	Wenn unten aus Ballen = Senkwurzel; wenn waagrecht aus Ballen = Flachwurzel
Länge Wurzel		max. Länge	Längste aus Ballen herausragende Wurzel; gemessen ab Austritt Ballen
Rücktrocknung Wurzeln		0 – nicht sichtbar 1 – sichtbar	vgl. Abbildung 26
Würgewurzel		0 – nicht vorhanden 1 - vorhanden	vgl. Abbildung 25
Austrieb Wurzelkappung		0 – nein 1 – ja 2 - stark	Kappungen beim Umpflanzen in der Baumschule; wenn kein Neuaustrieb = 0; schwacher Neuaustrieb = 1; starker Neuaustrieb = 2



Abbildung 26; Zurückgetrocknete Feinwurzeln



Abbildung 25; Beispiel einer Würgewurzel (links des Zollstockes)

Tabelle 5; Parameter zur Ballenbeurteilung

<b>Ballen</b>	30.05-2019		
Oberfläche		m <sup>2</sup>	max. Länge * max. Breite
max. Höhe		cm	
Wurzelvolumen		m <sup>3</sup>	max. Länge * max. Breite * max. Tiefe
Ballenbeschaffenheit		Konsistenz	Siehe Abbildung 27
Substrat		Bodentyp	Siehe Abbildung 28
Anzahl Drahtkörbe		#	Anzahl noch sichtbare Drahtkörbe im und um den Ballen
Verrottungszustand Drahtkörbe		0 – nicht verrottet 1 - verrottet	
Wurzel / Spross Verhältnis		1:x	Volumen Wurzelballen / Volumen Krone



Abbildung 28; Baum #73; Basler Baums substrat (hellbraun), erstes Ballensubstrat (dunkelbraun), und zweites Ballensubstrat (rechts, orange)



Abbildung 27; festes, nicht durchwurzelbares Ballensubstrat



Abbildung 29; die zehn gefällten Bäume auf dem Campus Liebefeld

## 2.4 Auswertung der Daten

Die im Feld erfassten Daten wurden mit «Microsoft Excel für Office 365 MSO» (Version 16.0.11727.20222) digitalisiert und für die Auswertung aufgearbeitet. Die Rohdaten sind im Anhang 2 & 3 ersichtlich Mittels PIVOT-Tabelle wurden die Parameter einander gegenübergestellt. Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm «R-Studio» (Version 1.2.1335) durchgeführt (*R-Studio*, 2009).

### 2.4.1 Vitalitätsbeurteilung

Um die Vitalitätsbeurteilung mit den anderen Einflussfaktoren zu vergleichen, wurden die drei Werte in eine Zahl umgewandelt (Tabelle 6). Diese drei Werte wurden aufaddiert woraus für jeden Baum ein Vitalitätsfaktor zwischen 0 – 12 entstand. Mit diesem Faktor liessen sich die anderen Parameter vergleichen.

Tabelle 6; Schlüssel zur Erstellung des Vitalitätsfaktor

Erhobenen Parameter	Punkte NEU
K0; A0; J0	0
K1; A1; J1	2
K2; A2; J2	4

### 2.4.2 Jahrringbeurteilung

Um die Jahrringe zu beurteilen, wurden die Querschnitte abgeschliffen und anschliessend geölt. Auf den Querschnitten wurde mit dem Bildbearbeitungsprogramm Paint (Version 1803) die Jahrringe bis zu einem Jahr vor der Pflanzung markiert. Tabelle 7 zeigt die Farbskala.

Tabelle 7; Farbskalierung für die Jahrringbeurteilung

Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Farbe						



### 2.4.3 Statistische Tests

Nicht signifikante Zusammenhänge zwischen den Daten wurden mittels PIVOT – Tabelle aufgezeigt. Im R-Skript «IAS-Library» des Instituts für Angewandte Simulation der ZHAW Department N sind Visualisierungen und Abläufe verschiedener Tests in einzelne Befehle zusammengefügt. Tabelle 8 zeigt den Testablauf für den Vergleich der verschiedenen Datentypen. Das R-Script ist dem Anhang 4 zu entnehmen.

Tabelle 8; Ablauf der statistischen Tests

Testablauf 1	Daten: num/num	p-value
IAS - Library	vis_regr	
testet:	Shapiro-Wilk / Kolomogorov-Smirnoff	> 0.05
wenn $p > 0.05$ ►	Regressionsanalyse	< 0.05
Testablauf 2	Daten: num/ord (> 2 Stufen)	
IAS - Library	vis_ANOVA_clusters	
testet	Shapiro-Wilk / Kolomogorov-Smirnoff	> 0.05
wenn $p > 0.05$ ►	einfaktorielle ANOVA + post-hoc Test	< 0.05
Wenn $p < 0.05$ ▼		
IAS – Library	vis_Kruskal_Wallis_clusters	
	Kruskal-Wallis-Test + post-hoc Test	< 0.05
Testablauf 3	Daten: num/ord (2 Stufen)	
IAS - Library	two_sample_WilcoxonTest	< 0.05

### 3 Resultate

Die Auswertung der Vitalität der Bäume wird in Kapitel 3.1 aufgezeigt. Ob es signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten oder Einflussfaktoren hinsichtlich der Vitalität gibt, wird in den darauffolgenden Unterkapiteln aufgezeigt. Kapitel 3.2 führt die Auswertung der gefälltten Bäume auf.

#### 3.1 Vitalitätsbeurteilung

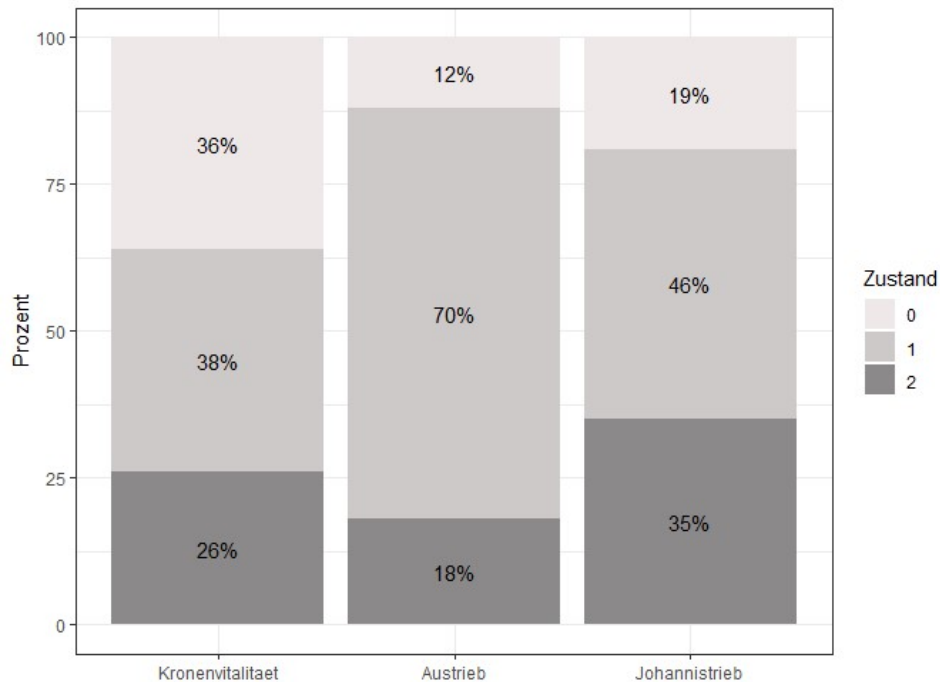


Abbildung 30; Stackerplot der Vitalitätsfaktoren

In Abbildung 30 sind die Verteilungen der Vitalitätsstufen der drei Vitalitätsfaktoren ersichtlich. Dass Bäume, welche eine besser beurteilte Krone besitzen, auch besser austreiben, und ob einen vitaleren Austrieb auch einen Einfluss auf die Qualität des Johannistriebs hat, ist in Tabelle 9 ersichtlich.

Tabelle 9; Einfluss des Ausgangs- auf den Folgeparameter

Zustand Ausgangsparameter	Folgeparameter	Ø Vitalitätsfaktor A
K0	Austrieb	0.81
K1	Austrieb	1.15
K2	Austrieb	1.25
Zustand Ausgangsparameter	Folgeparameter	Ø Vitalitätsfaktor J
A0	Johannistrieb	0.61
A1	Johannistrieb	1.20
A2	Johannistrieb	1.36

### 3.1.1 Weitere Parameter

Die prozentuale Verteilung der Genotyp- resp. Planungs- und Bewirtschaftungsparameter ist in Tabelle 10 ersichtlich.

Tabelle 10; Prozentuale Verteilung der Genotyp- resp. Planungs- und Bewirtschaftungsparameter

Parameter		%		%		%
<b>Wurzelanlauf</b>	tief	<b>72 %</b>	gut	<b>26 %</b>	hoch	<b>2 %</b>
<b>Belaubung Vorjahr</b>	Nein	<b>74 %</b>	wenig	<b>23 %</b>	voll	<b>3 %</b>
<b>Zeitpunkt Austrieb</b>	Spät	<b>15 %</b>	normal	<b>78 %</b>	früh	<b>7 %</b>
<b>Zurückgetrocknete Triebe</b>	nein	<b>68 %</b>	Ja, K	<b>9 %</b>	Ja, S	<b>23 %</b>
<b>Gestützte Krone</b>			nein	<b>2 %</b>	ja	<b>98 %</b>
<b>Zweite Krone</b>			nein	<b>36 %</b>	ja	<b>64 %</b>
<b>Sämlinge</b>			nein	<b>21 %</b>	ja	<b>79 %</b>
<b>Stammausschlag</b>			nein	<b>16 %</b>	ja	<b>84 %</b>

#### Wurzelanlauf

Ein Viertel der Bäume wurde korrekt gesetzt. Bei der Mehrheit der Bäume ist der Wurzelanlauf nicht sichtbar. Bei zwei Individuen wurde die Pflanzung als zu hoch eingeschätzt. Der Wurzelanlauf beeinflusst weder die Kronenstruktur, noch den Austrieb noch den Johannistrieb in ihrer Ausprägung.

#### Belaubung Vorjahr / Austriebzeitpunkt

Drei Viertel der Bäume trugen im Frühjahr kein Laub mehr, wobei keine der noch Laub vom Vorjahr tragenden Bäume früh austrieb. Es konnte kein weiterer Faktor gefunden werden, welcher Bäume in ihrem Austriebzeitpunkt beeinflusst.

#### Wasserhaushalt

Bei einem Drittel der Bäume trockneten in der letzten Vegetationsperiode Triebe zurück. Von diesen zeigten 80 % weitere Wasserhaushaltsstörungen beim Austrieb. Bei zwei Drittel der Bäume wurde bereits eine zweite Krone erzogen.

## Sämlinge

80 % der Eichen hatten bereits Früchte getragen. Dabei konnte kein Zusammenhang zwischen verschiedenen Stressfaktoren (Wasserhaushaltstörung, zurückgetrocknete Triebe, Standorte) und erfolgter Fruktifikation aufgezeigt werden.

## Stammschäden / Blattnekrosen

Bäume #1, #3, #11 haben Anfahrschäden am Stammfuss, #29 am Wurzelanlauf. Diese scheinen unbehandelt. (vgl. Abbildung 31)

Bäume #6, #8, #13, #15, #51, #58, #88, #89, #100, #103 zeigen unterschiedliche Schadbilder am Laub, wobei keines das Erscheinungsbild beeinträchtigt. (vgl. Abbildung 32 & 33)

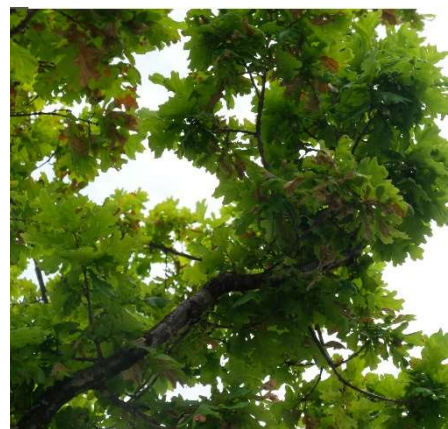


Abbildung 31; unbehandelte Stamm- und Wurzelschäden

Abbildung 32; Blattnekrosen



Abbildung 33; Links: Blattnekrosen; rechts oben: eingerollte Blätter; rechts unten: Verfärbungen an den Blättern

## 3.2 Statistische Resultate

### Stammumfang

*H0: Der Stammumfang korreliert nicht mit der Vitalität.*

Es besteht eine Korrelation zwischen dem Stammumfang und der Vitalität. Die Bindung mit einem  $r^2$  – Wert von 0.16 ist jedoch schwach. (vgl. Abbildung 34)

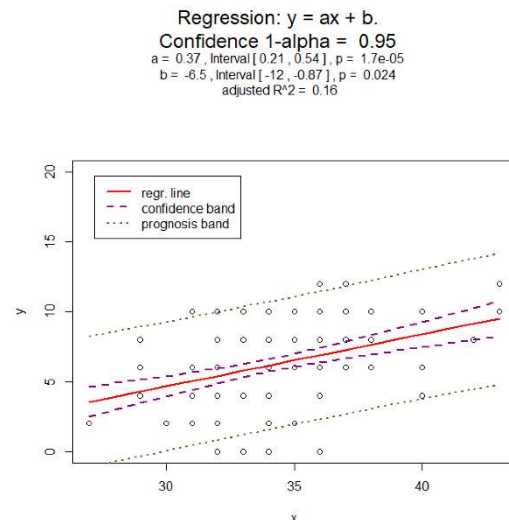


Abbildung 34; Plot der Regressionsanalyse

### Baumart

Da die Pflanzung aus 105 Individuen der Art *Quercus robur* und jeweils zwei resp. drei Individuen der restlichen Baumarten besteht, kann keine statistisch relevante Aussage über Vitalitätsunterschiede zwischen den Arten getroffen werden.

### Ökotyp

*H0: Die Ökotypen unterscheiden sich nicht signifikant in ihren Vitalitätsfaktoren.*

Mit einem p-Wert von  $p=0.42$  kann die Nullhypothese bestätigt werden, es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Ökotypen hinsichtlich der Vitalität zu erkennen. (vgl. Abbildung 35)

### Ökotyp / Austriebszeitpunkt

*H0: Der Ökotyp und der Austriebszeitpunkt haben keinen Einfluss auf die Vitalität.*

Mit einem p-Wert von  $> 0.05$  kann die Nullhypothese bestätigt werden (vgl. Abbildung 37). Der Ökotyp und der Austriebszeitpunkt haben keinen signifikanten Einfluss auf die Vitalität. Den maximalen Wert erreichen jene S-Bäume, welche spät Austreiben. Jedoch würde die Stichprobenmenge von  $n=2$  auch bei einem signifikanten Unterschied keine abschliessende Aussage zulassen.

### Ökotyp / Standort

*#H0: Der Ökotyp und Standort hat keinen Einfluss auf die Vitalität.*

Mit einem p-Wert von  $> 0.05$  kann die Nullhypothese bestätigt werden. Obwohl aus der Grafik Unterschiede ablesbar sind (vgl. Abbildung 36), sind diese statistisch nicht signifikant.

#H0: Der Ökotyp und Standort hat keinen Einfluss auf den Stammumfang.

Mit einem p-Wert von  $> 0.05$  kann die Nullhypothese bestätigt werden. Auch hier sind Unterschiede sichtbar (vgl. Abbildung 39), diese sind jedoch nicht signifikant.

### Laubabwurf Vorjahr

#H0 Der Laubabwurfszeitpunkt hat keinen Einfluss auf die Vitalität

Mit einem p-Wert des Kruskal-Wallis-Test von  $> 0.05$  kann die Nullhypothese bestätigt werden. (vgl. Abbildung 37) Der Zeitpunkt des Laubabwurfes lässt keine Rückschlüsse auf die Vitalität zu.

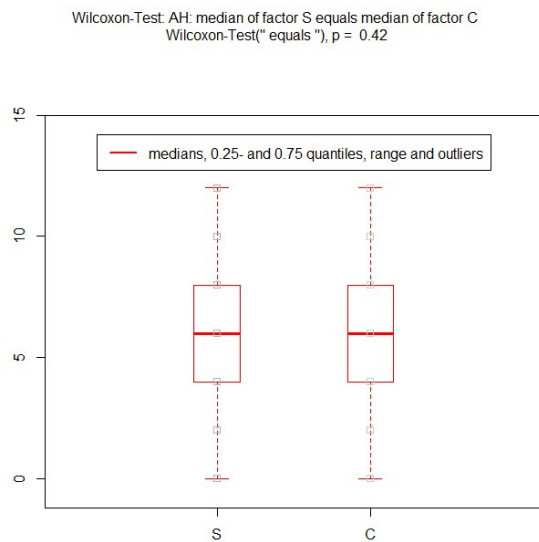


Abbildung 35; Plot des Wilcoxon-Test. Y = Vitalitätsfaktor, X = Ökotypen

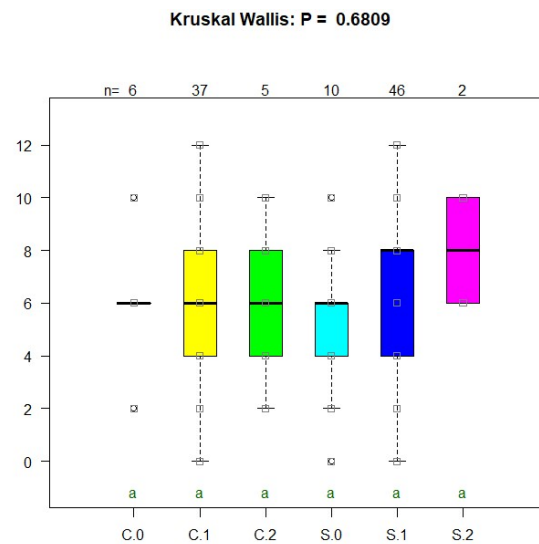


Abbildung 37; Plot des Kruskal-Wallis-Test, Y = Vitalitätsfaktor, X = Ökotyp (C/S) und Austriebszeitpunkt (0-2)

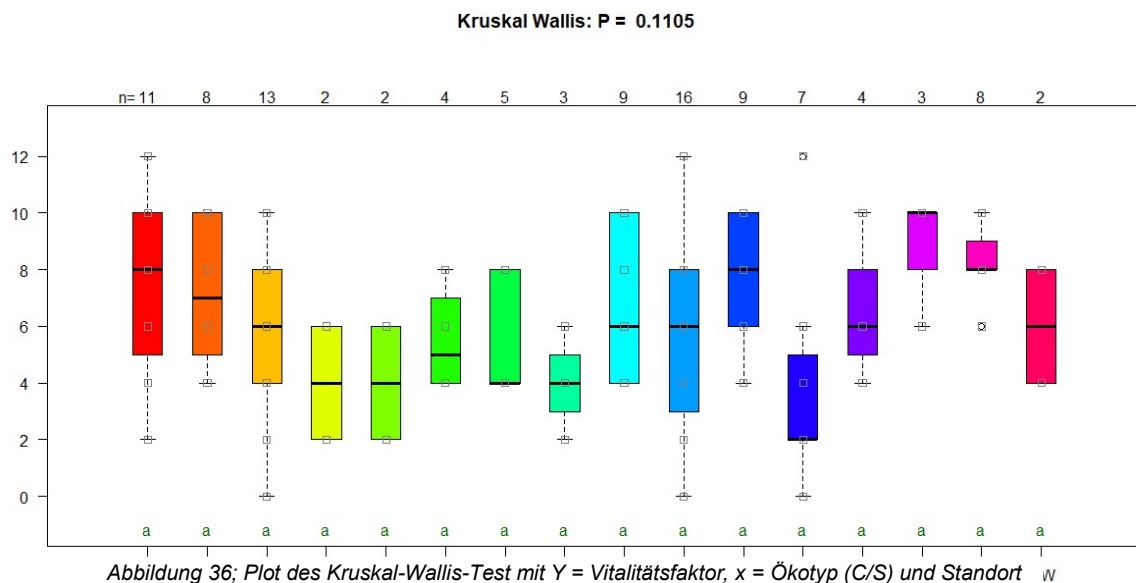


Abbildung 36; Plot des Kruskal-Wallis-Test mit Y = Vitalitätsfaktor, x = Ökotyp (C/S) und Standort w

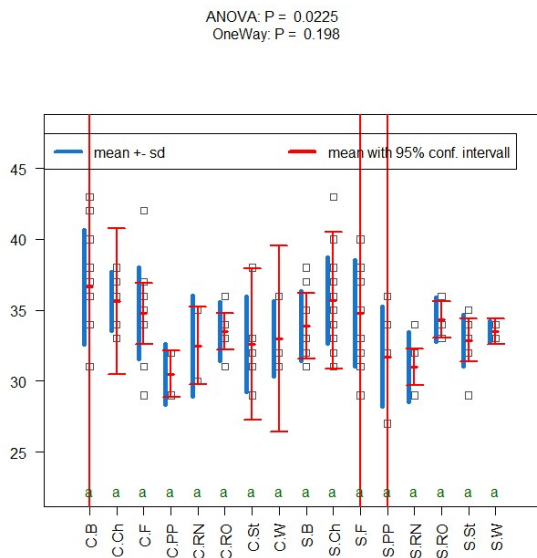


Abbildung 39; ANOVA - Plot, y = Stammumfang, x = Ökotyp (C/S) und Standort

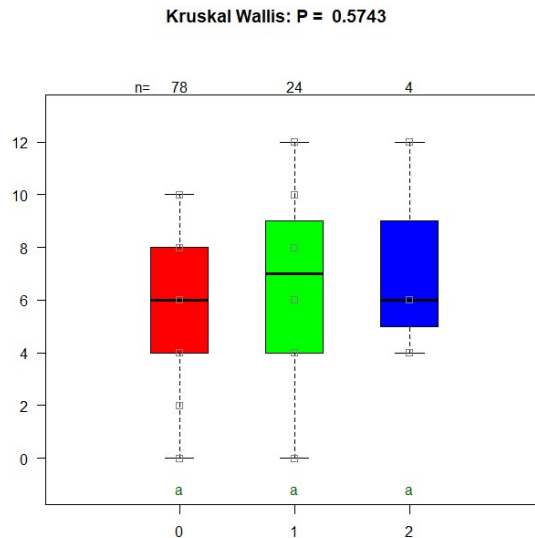


Abbildung 38; Kruskal-Wallis-Test-Plot, mit y = Vitalitätsfaktor, x = Austriebszeitpunkt

**Wurzelansatz**

#H0 Der Wurzelansatz hat keinen Einfluss auf die Vitalität

Mit einem p-Wert des Kruskal-Wallis-Test von > 0.05 kann die Nullhypothese bestätigt werden (vgl. Abbildung 41). Es gibt keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Pflanzhöhe auf die Vitalität.

#H0 Der Wurzelansatz hat keinen Einfluss auf den Stammumfang

Wie in Abbildung 40 ersichtlich konnte liegt der p-Wert der ANOVA > 0.05. Damit kann die Nullhypothese bestätigt werden. Somit kann kein signifikanter Unterschied zwischen dem Wurzelansatz bezüglich des Stammumfangs ermittelt werden.

**Standort**

H0: Der Standort hat keinen signifikanten Einfluss auf die Vitalität.

Wie in Abbildung 39 ersichtlich konnte liegt der p-Wert der ANOVA > 0.05. Damit kann die Nullhypothese bestätigt werden. Somit kann kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Standorten bezüglich der Vitalität ermittelt werden.

**Unterpflanzung**

#H0 die Unterpflanzung und deren Deckungsgrad haben keinen Einfluss auf die Vitalität.

Wie in Abbildung 42 ersichtlich konnte liegt der p-Wert der ANOVA > 0.05. Damit kann die Nullhypothese bestätigt werden. Somit konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Unterpflanzung und dem Deckungsgrad ermittelt werden.

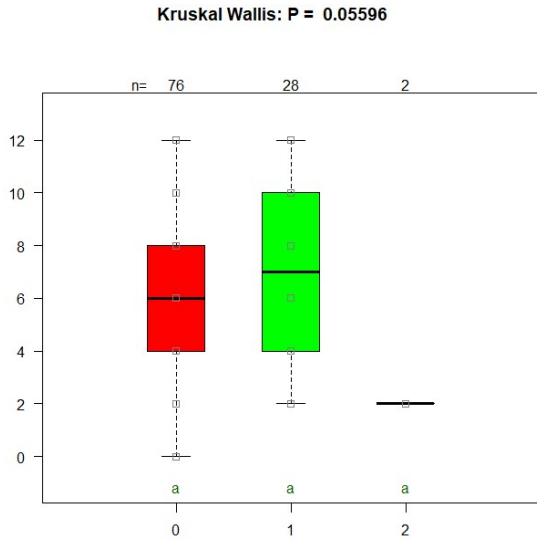


Abbildung 41; Plot Kruskal-Wallis-Test mit y=Vitalitätsfaktor, x= Wurzelansatz

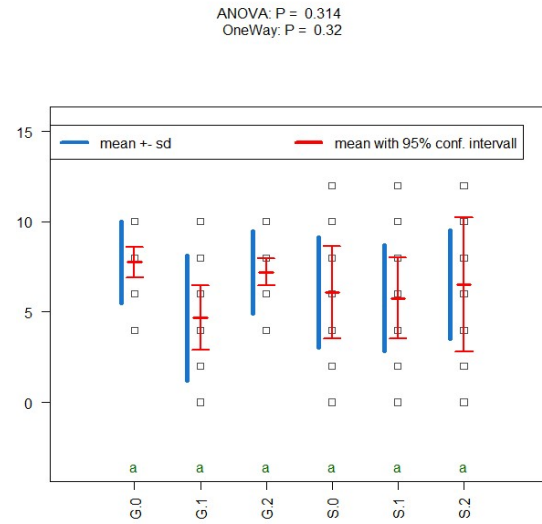


Abbildung 40; Plot ANOVA, y = Vitalitätsfaktor, x = Art Unterpflanzung (S/G) und Deckungsgrad

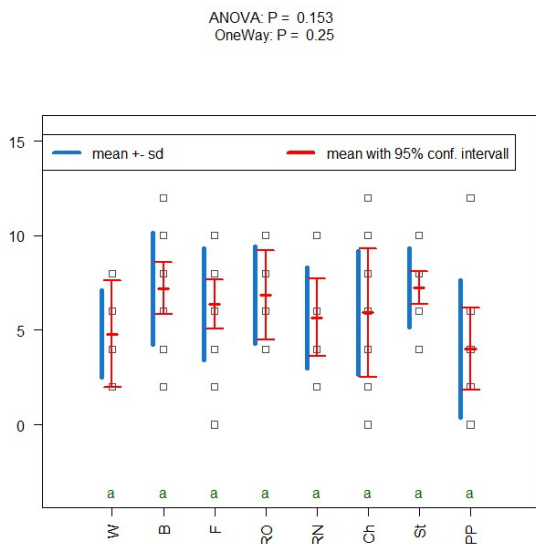


Abbildung 42; Plot ANOVA, y = Vitalitätsfaktor, x = Standort

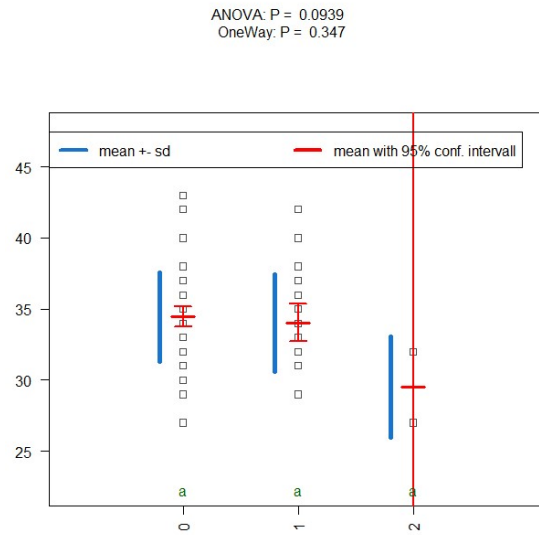


Abbildung 43; ANOVA Plot, y = Stammumfang, x = Wurzelansatz



### 3.3 Gefällte Bäume

#### 3.3.1 Pflanzung

9 von 10 Bäumen wurden zu tief eingepflanzt. Durchschnittlich wurden die Bäume 10.3cm zu tief gepflanzt, wobei die die Werte zwischen 6-15cm liegen. Sechs der Bäume bildeten bereits Adventivwurzeln (siehe Abbildung 44), wobei alle sechs mindestens 10 cm zu tief standen.



Abbildung 44; Baum #105 mit Adventivwurzel (rechts des Zollstocks) aufgrund von Tiefpflanzung



Abbildung 46; Baum #68; die Tiefpflanzung ist an der Grenze des Arboflexanstrichs zu erkennen.

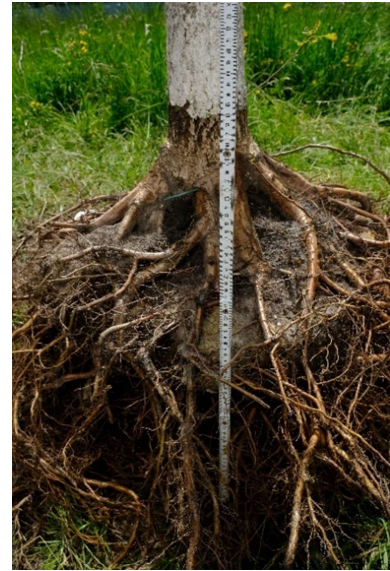


Abbildung 45; Baum #73, die Tiefpflanzung ist an der Grenze des Arboflexanstriches zu erkennen. Mit eingewachsenem Ballenring an der Wurzel

#### 3.3.2 Stamm / Krone

Drei der Bäume entsprachen dem Ökotypus «C», die restlichen dem Typus «S». Allen Bäumen bis auf #42 musste eine zweite Krone erzogen werden. Die restlichen Kronen / Stamm – Parameter sind in Tabelle X ersichtlich.

Tabelle 11; Ergebnisse der restlichen Kronen-/Stammparameter

Parameter	Ø	min.	max.	SA	Normalverteilung
Stammdurchmesser (cm)	33.3	30	38	2.83	Keine
Stammlänge (cm)	305.3	254	363	39.86	Keine
Kronenlänge (cm)	392.5	250	499	72.4	Keine
Kronenradius (cm)	90	75	125	17.48	keine
Kronenvolumen (m <sup>3</sup> )	5.17	2.96	8.84	2.28	Ja
Baumlänge (cm)	695.4	600	760	55.02	Keine
					<b>Korrelation</b>
Verhältnis Stamm-/Kronenlänge	0.82	0.51	1.4	0.26	nein
Anzahl Äste (Anzahl)	15.2	10	22	4.13	



Abbildung 47; Bei Baum #16 ist der Rückschnitt der Krone und die nur schwach überwachsenen Astnarben gut ersichtlich.

### 3.3.3 Pflege

Alle Äste der Bäume wurden mindestens einmal eingekürzt (Siehe Abbildung 47 & 48). Die restlichen Parameter sind in Tabelle 12 ersichtlich. Auffallend ist zudem, dass die wenigsten Astnarben gut überwachsen sind (siehe Abbildung 47).

Tabelle 12; Pflegeparameter

Parameter	∅	min.	max.	SA
Schnitte am Stamm (Anz.)	6.5	3	9	2.84
Schnitte in der Krone (Anz.)	8.4	6	13	1.84
Durchschnittliche Aufastungshöhe (cm)	305.3	254	363	39.86



Abbildung 48; Baum #73; die Schnitte der Äste sind gut ersichtlich

### 3.3.4 Jahrringanalyse

Durch das Auszählen der Jahrringe konnte das Alter der Bäume ermittelt werden. Die Bäume waren bei der Fällung ungefähr 15 Jahre alt. Nach dem alle Bäume im letzten Standjahr in der Baumschule den grössten, absoluten Zuwachs ihres Lebens erzielten, erholten sich die wenigsten vom «Pflanzschock» (oranger Jahrring). Auch jene, welche ein Jahr nach der Verpflanzung wieder einen Zuwachs erzielten (Siehe Abbildung 49 - 52), stellten sie diesen in den darauffolgenden Jahren wieder grösstenteils ein, wobei gewisse Jahrringe teilweise gar nicht ausgeprägt wurden.



Abbildung 50; Baum # 16



Abbildung 49; Baum # 68



Abbildung 51; Baum # 69



Abbildung 52; Baum #105

#### Baum #73

Baum #73 musste aufgrund eines Russpilzes gefällt werden (mündliche Information von Axel Heinrich, 16.04.2019). Dieser wird durch den Erreger *Fusicoccum quercus* ausgelöst. In Abbildung 53 ist gut ersichtlich, wie der Pilz das Kambium und Teile des Splintholzes zersetzt und wie der Baum mit verstärktem

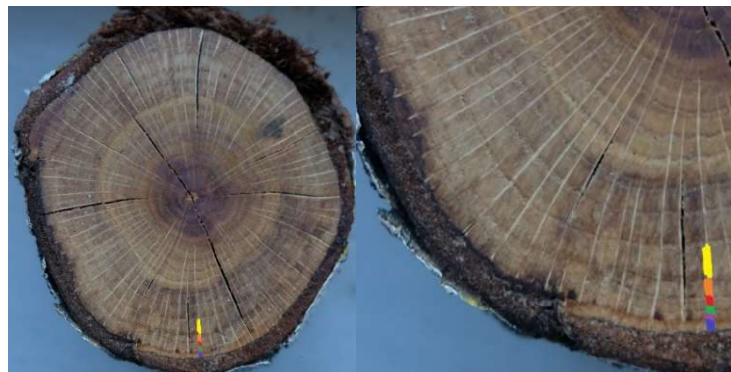


Abbildung 53; Baum #73

Dickenwachstum neben der befallenen Zone reagiert. Ansonsten hat der Baum den Pflanzschock besser überwunden als die anderen gefällten Bäume.

### 3.3.5 Wurzel / Ballen

Die Ergebnisse der Wurzelparameter sind in Tabelle 13 ersichtlich, die der Wurzelballen können Tabelle 14 entnommen werden.

Tabelle 13; Ergebnisse der Wurzelparameter

Wurzel	Anzahl (x); X%	Anzahl (x); X%	Anzahl (x); X%	Anzahl (x); X%
Wurzelverzweigung im Ballen		fein (5); 50%	Grob (5); 50% (Abbildung 57)	
Wurzelverzweigung ausserhalb Ballen		keine (5); 50% (Abbildung 55)	fein (4); 40% (Abbildung 54)	Grob (1); 10%
Feinwurzel ausserhalb Ballen	>25 (2); 20%	>50 (0); 0%	>100 (6); 60%	>250 (1); 10%
Grobwurzeln ausserhalb Ballen	>25 (4); 40%	>50 (3); 30%	>100 (3); 30%	>250
	<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>
Feinwurzeln Wuchsrichtung	Keine (3); 30%	Senkwurzel (1); 10%	Flachwurzel (20);	Flach-/ Senkwurzel (4); 40% (Abbildung 54)
Grobwurzeln Wuchsrichtung	Keine (1); 10% (Abbildung 54)	Senkwurzel (0); 0%	Flachwurzel (5); 50% (Abbildung 56)	Flach-/ Senkwurzel (4); 40% (Abbildung 54)
	<b>∅</b>	<b>min.</b>	<b>max.</b>	<b>SA</b>
Länge (cm)	111	50	200	0.55
		<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>
Rücktrocknung Wurzeln		0; (5); 50%	1; (5); 50% (Abbildung 26)	
Würgewurzel		0; (6); 60%	1; (4); 40% (Abbildung 25)	
Austrieb Wurzelkappung		0; (3); 30%	1; (5); 50%	2; (2); 20%



Abbildung 55; Wurzelballen des gefällten Baumes #42. Ausserhalb des Ballens ist keine Verzweigung erkennbar, wobei auch im Ballen nur eine grobe Verzweigungsstruktur ersichtlich ist.



Abbildung 54; Beim ziehen des Baum #69 ist eine Verzweigungsstruktur ausserhalb des Wurzelballens ersichtlich. Es sind Such- und Feinwurzeln erkennbar.

Tabelle 14; Ergebnisse der Ballenparameter

Ballen	Ø	min.	max.	SA
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	2.32	0.84	4.5	1.34
Max. Höhe (cm)	66.3	50	80	10.76
Wurzelvolumen (m <sup>3</sup> )	1.60	0.42	3.38	1.06
	<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>
Ballenbeschaffenheit		locker (2); 20%	Fest (8); 80%	
Substrat	sandig (gelb) (2); 20%	sandig (braun) (2); sandig braun	lehmig (schwarz) (3); 30%	Lehmig (gelb) (3); 30%
	Ø	min.	max.	SA
Anzahl Drahtkörbe	1.7	1	2	0.48
		<b>Anzahl (x); X%</b>	<b>Anzahl (x); X%</b>	
Verrottungszustand Drahtkörbe		0 (10); 100% (Abbildung 58)	1 (0)	

### 3.3.6 Wurzel / Spross Verhältnis

Die Auswertung des Wurzel- / Spross Verhältnis ist in Tabelle X ersichtlich.

Tabelle 15; Auswertung des Wurzel-/ Spross Verhältnis

	Ø	min.	max.	SA
Verhältnis Kronen-/Wurzelvolumen	4.86	1.12	10.56	3.36



Abbildung 56; Baum #68 eine Durchwurzlung des Substrats nach unten ist nicht möglich



Abbildung 59; Baum #67 eine Durchwurzlung des Substrats nach unten ist nicht möglich



Abbildung 58; Baum #42 der Drahtballen ist nicht verrottet



Abbildung 57; Feine Wurzelverzweigung im Ballen bei Baum #73

## 4 Diskussion

In Kapitel 4.1 werden die Ergebnisse der gefälltten Bäume mit der Literatur verglichen, um Gründe für den Ausfall dieser Bäume benennen zu können. In Kapitel 4.2 werden die noch lebenden Bäume diskutiert und abschliessend wird in Kapitel 4.3 auf die Ausgangsfrage eingegangen und diese beantwortet.

### 4.1 Gefällte Bäume

Grosse Bedeutung für den Erfolg einer Baumpflanzung haben laut Roloff (2018) die Lebensbedingungen des Baumes vor der Verpflanzung. Eine Aufzucht von Bäumen in verschiedenen Klimazonen und Bodentypen ist für das rasche Anwachsen am Pflanzstandort nicht hilfreich, denn es vermindert das Potential zur Akklimation eines Baumes an den Pflanzstandort und führt zum Verlust der inneren Resistenz (Balder, 1998, S. 91). In einer Untersuchung stellte Marzini (1997) fest, dass das Anwachsergebnis von autochthonen Bäumen im Vergleich zu herkunftsfremden Gehölzen deutlich höher und dadurch die Ausfallrate wesentlich geringer war. Derweilen wird der Handel mit Baumschulpflanzen immer internationaler. So umfasste allein der innereuropäische Handel mit nichtforstlichen Gehölzpflanzen im Jahr 2016 ein Volumen von 800 Millionen Euro und verzeichnete seit 2005 einen Zuwachs von 37% (Unit G.2 of DGAGRI, 2017, S. 45). Auch dürfen Auftraggeber nach den Richtlinien von Büttner & FFL (2015) für Baumpflanzungen nur in Ausnahmefällen auf bestimmte Herkünfte oder Ursprungsorte verweisen. Die untersuchten Wurzelballen unterschieden sich deutlich in den vorgefundenen Ballensubstraten, was auf die Herkunft aus mehreren Baumschulstandorten und damit auch Lebensbedingungen hinweisen könnte. Bei einer Mehrzahl der Bäume waren noch innerhalb des Wurzelraums verschiedene Bodentypen ersichtlich. So trat bei einigen Ballen die Situation auf, dass auf ein erstes, lehmiges Substrat ein zweites, sandiges folgte. Dies kann so interpretiert werden, dass die Jungbäume während der Aufzucht bereits einmal verkauft, in eine andere klimatische Region transportiert und dort wieder verpflanzt wurden. Eine abschliessende Aussage kann jedoch nicht getroffen werden, da Informationen über die Herkunft der Jungbäume nicht zur Verfügung standen. Um dem entgegenzuwirken empfiehlt Taeger (2017, S. 89) die vollständige Dokumentation der proklamierten Zukäufe aus anderen Klimazonen an die Ausschreibung zu koppeln. Zusätzlich würde es auch der weiteren Forschung über die Plastizität verschiedener Öko-/Genotypen oder der Eignung gewisser geographischer Regionen als Stadtbäume dienen, wenn die Herkunft des Pflanzgutes immer nachvollziehbar wäre. In der Forstwirtschaft den oben besprochenen Problematiken bereits mehr Beachtung geschenkt. So bedarf es zum Import von forstlichen Vermehrungsgut einer Bewilligung des Bundesamts für Umwelt (BAFU, 2019). Diese untersagt unter anderem die Einfuhr von Vermehrungsgut, welches in klimatischen abweichenden Verhältnissen gewonnenen wurde.

Bei der Abnahme von Bäumen aus der Baumschule seien aufgrund technischer und baumartspezifischer Eigenheiten eine geringe Tiefpflanzung (max. 7cm) zu tolerieren, ein genauer Richtwert muss aber artspezifisch erst noch erarbeitet werden (Taeger, 2017, S. 81). Auch mit dieser Toleranz von 7cm standen sieben der zehn gefälltten Bäume in Bern noch zu tief. Ob die Bäume dabei wirklich bereits in der Baumschule zu tief standen ist nicht mehr nachvollziehbar. Um die negativen Auswirkungen einer zu tiefen Baumpflanzung zu erfassen, hat Uehre (2015) eine Untersuchung an einer Versuchsallee mit *Acer platanoides* durchgeführt. Dabei hatte eine zu tiefe Pflanzung von bis zu 20cm bereits im ersten Standjahr eine deutliche Reduktion der Vitalität zur Folge. So führt ein zu tiefer Stand zu ähnlich schlechten Zuwachsraten wie versäumte Wässerungen und birgt auch vergleichbare Symptome wie das frühzeitige Verfärben und Abwerfen des Laubes (Granda Alonso, 1996, S. 35). Selbst durch ein Hochsetzen der Bäume nach einer Vegetationsperiode wirkte sich die Tiefpflanzung noch über die nächsten vier Jahre anhand einer Wuchsdepression aus. Vermeidbar ist dieses «Pflanztrauma» (Uehre, 2015) bereits in der Aufzucht, indem der Wurzelhals sichtbar markiert wird (Taeger, 2017, S. 82).

Ausgehend von Beobachtungen aus der Natur kann ein Wurzelsystem als gesund bewertet werden, wenn die Hauptwurzel eine Verlängerung des Stammes bildet, respektive die Dichte von Stark- und Derbwurzeln in dieser Verlängerung am höchsten ist (Kutschera & Lichtenegger, 2013). Nach der Keimung bilden die hier untersuchten *Quercus spp.* ein Pfahlwurzelsystem. Dieses erreicht Tiefen von 2-3m und wandelt sich im fortschreitenden Alter zu einem Herzwurzelsystem um (Roloff & Kehr, 2013, S. 134, 135). Das Tiefenstreben der Wurzeln hängt neben der genetischen Veranlagung von Ökotypen, vom Klima, wie von der Beschaffenheit der Böden ab. So finden sich bei Eichen bei abnehmender Niederschlagsmenge auch grössere Wurzeltiefen (Kutschera & Lichtenegger, 2013). In Baumschulen wird die Pfahlwurzel jedoch bereits beim Verpflanzen in das Verschulbeet und später in den Baumschulquartieren regelmässig gekürzt, so dass die Wurzelentwicklung der Baumschulbeständen stark von naturverjüngten Eichen abweicht (Taeger, 2017; Roloff et al, 2015, S. 23). Trotzdem kann es bei Eichen zu einer erneuten Auswurzelung in der Verlängerung der Sprossachse kommen, was der Stand der momentanen Baumschultechnik sein sollte (Taeger, 2017). Bei keinem der untersuchten Bäume war die Ausprägung von Derb- oder Grobwurzeln in der Verlängerung der Sprossachse ersichtlich. Während im umgebenden Substrat oft eine Durchwurzelung mit Grob- und Feinwurzeln ersichtlich war, fehlt eine Durchwurzelung nach unten oftmals komplett. Ähnliche Beobachtungen dokumentierte Taeger (2017, S. 87) im Projekt «Stadtgrün 2021» bei einigen Individuen von *Zelkova serrata* «Green Vase», welche am Naturstandort auch eine dominante Pfahlwurzel ausbilden. Sie verweist bei der fehlenden Verwurzelung nach unten auf einen verdichteten Baumschulstandort (Taeger, 2017, S. 87). Dieser Rückschluss kann auch bei einigen hier untersuchten Ballen gezogen werden. Viele Ballensubstrate waren un-

terseits so stark verdichtet, dass eine Ausspülung des Substrats auch unter Hochdruck nicht möglich war (vgl. Abbildung 56 & 59).

Die Entwicklung von Wurzeldeformationen haben Nörr & Baumer (2002) im Forst untersucht. Ihre Untersuchungen haben gezeigt, dass ursprüngliche und bei der Pflanzung nicht behobene Deformationen über Jahrzehnte erhalten bleiben. Bezogen auf die vorliegende Untersuchung sind Würgeurzeln bei vier der zehn Bäume erkennbar. Durch das sekundäre Dickenwachstum schränken sie die Vitalität der Bäume mit zunehmendem Alter ein. Meist ist die Ursache von Würgeurzeln und ähnlichen Wurzeldeformationen im Aufschulen von Sämlingen mit Pflanzmaschinen zu finden. Dieses Verfahren macht es nötig, den Wurzelraum zu komprimieren, was zu Verschlingungen und Verdrehungen der Wurzeln führen kann (Taeger, 2017, S. 82)

Da bei der Rodung in der Baumschule mehr als 90% des Wurzelsystems vom Wurzelballen abgetrennt werden (G. W. Watson, 1994), sind sowohl die schnelle Neubildung von Saugwurzeln (Balder, 1998, S. 92), wie auch die Anzahl noch vorhandener Feinwurzeln im Ballen (Plietzsch, 2017, S. 208) entscheidend für eine ungestörte Wasserversorgung des Baums nach der Pflanzung. Bei der Hälfte der gefälltten Bäume in Bern waren keine Feinwurzeln innerhalb des Ballens ersichtlich. Eine schnelle Neubildung von Wurzeln kann durch Schäden oder Mängel in der Wurzelarchitektur, aber auch durch Wechselwirkungen zwischen dem Ballen- und Pflanzsubstrat weiterhin gehemmt werden (Balder, 1998).

Die Bäume in der Chaussierung konnten das Baumsubstrat zwar stark durchwurzeln, jedoch reichten die Wurzeln nicht weiter als einen Meter aus dem Ballen hinaus. Auf den Wiesenstandorten waren die Bäume kaum fähig, erneut aus dem Pflanzballen auszutreiben. Hinsichtlich der früheren Nutzung des Campus als landwirtschaftliche Versuchsfläche kann ein verdichteter Boden als Grund vermutet werden. Dies müsste aber in einer weiteren Untersuchung überprüft werden. Baum #60, welcher nahe der mit Stauden bepflanzten Böschung stand, hatte die weitreichendsten Grobwurzeln aller gezogener Bäume. Auch hier war eine Verzweigung des Wurzelsystems ausserhalb des Ballens nicht erkennbar, obwohl der Standort, mit einem grossen Wurzelraum in die bepflanzte Böschung hinein, vielversprechend wäre. Beide Individuen, welche sich in der Nähe zu Fahrradabstellplätzen befanden und damit Trittbelastungen ausgesetzt waren, zeigten den grössten Feinwurzelanteil. Unabhängig vom Standort waren jedoch Rücktrocknungen von Fein- und Feinstwurzelstrukturen an den Suchwurzeln erkennbar. Gaertig (2001) untersuchte an Eichenbeständen im Forst, ob verdichtete Oberböden zu Belüftungsempässen im Wurzelraum führen. So gehen nach seinen Erkenntnissen bei einem unzureichenden Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und dem verdichteten Oberboden die Stoffwechselaktivitäten und damit die Wachstumsraten der Feinwurzeln zurück. Dabei kann es auch zu Rücktrocknungserscheinungen kommen. Ob dies auch der Grund



für die Rücktrocknung der Feinwurzeln der Eichen auf dem Campus Liebefeld zutrifft, müsste in einer Folgeuntersuchung geklärt werden.

Das Fällen in der Baumschule und die damit einhergehende Wurzelkappung haben zur Folge, dass nach der Pflanzung ein sehr kleiner Teil der Wurzeln die Krone mit Wasser und Nährstoffen versorgen muss (Plietzsch, 2017, S. 208). In diesem Zusammenhang wird von einem «Pflanzschock» gesprochen (Watson & Himelick, 2013). Dem kann auf unterschiedliche Weisen begegnet werden, wobei sich die Literatur in der Handhabung nicht einig ist. Autoren wie Blauermel (1982), Granda Alonso (1996) und Scholz (1991) befürworten einen Kronenrückschnitt von bis zu 2/3 der Krone. Dieser Rückschnitt sei nötig, um das Wurzel/Spross-Verhältnis wieder in ein Gleichgewicht zu bringen und sollte gleichzeitig mit dem Aufbau eines standortgerechten, stabilen Kronengerüst verbunden werden (Balder, 1998, S. 96). Scholz (1991; S. 44 - 54) hat für verschiedene Baumarten Zeichnungen von artspezifischen Rückschnitte erstellt. Autoren wie Hummel & Johnson (1986) und Kristoffersen, Bühler, Larsen, & Randrup (2010) empfehlen hingegen, Eingriffe beim Pflanzschnitt sehr gering zu halten und nur kleinere Korrekturen in der Krone vorzunehmen, da in ihren Untersuchungen ein moderater Pflanzschnitt nur einen geringen Einfluss auf das nachfolgende Wurzel- und Triebwachstum hatte, vorausgesetzt es wurde genug bewässert. Watson & Himelick (2013) argumentieren dabei, dass bei einem zu starken Einschnitt die Photosyntheseleistung so stark sinken kann, dass das Wurzelwachstum beeinträchtigt wird. Hier ist jedoch anzumerken, dass bei den Studien von Kristoffersen et al. (2010) und Hummel & Johnson (1986) die Vergleichsgruppe nur um 20-30% eingekürzt wurde, und damit nur halb so viel wie von z.B. Granda Alonso (1996) empfohlen. Es muss zudem angemerkt werden, dass Befürworter von starken Pflanzschnitten wie Scholz (1991) keineswegs auf eine regelmässige Bewässerung in der Jungbaumpflege verzichten, sondern diese für essenziell halten. Über genügende Bewässerungsmengen und -intervalle hat Edward F. Gilman mehrere Studien publiziert. Aus diesen lässt sich schliessen dass eine grössere Wassermenge den Bewässerungsintervall nicht kompensiert (Gilman, Black, & Dehgan, 1998) und dass die Bewässerung über einen grösseren Zeitraum sowohl die Ausfallrate minimierte wie auch die Wachstumsrate verdoppelte (Gilman, 2001; Gilman, 2004). So darf laut Watson & Himelick (2013) die Bewässerungshäufigkeit erst eingestellt werden, wenn das Wurzelsystem etwa den dreifachen Durchmesser des Pflanzballen erreicht hat. Es zeigt sich, dass sowohl die Befürwortenden eines starken Pflanzschnittes wie auch die, die solch einem Eingriff widersprechen, schlussendlich mit ihren Massnahmen auf ein gesundes Wurzel-Spross-Verhältnis abzielen. Bohne, Bremer, Baldin, & Schlüter (2005) legen für Forstpflanzen Richtwerte zwischen 1:1-1:3 fest, obwohl Roloff (2018) anmerkt, dass diese Korrelation nur in jungen Jahren zutrifft. Um dieses Verhältnis zu erreichen, wird entweder die Krone zu Gunsten der Wurzel eingekürzt oder die Wurzel wird mit einer stetigen Bewässerung so lange unterstützt, bis das Kronenvolumen wieder versorgt werden

kann. Aus Mitteilungen des Bundesgärtner Peter Gabi ist ersichtlich, dass die Jungbäume nach dem «Lübecker Modell» geschnitten und nur bei Trockenheit gewässert wurden. In welchem Intervall konnte aus dem Dokument leider nicht herausgelesen werden. Werden jedoch die Stammquerschnitte betrachtet, ist bei allen Bäumen ausser #73 ein eindeutiger Pflanzschock erkennbar. Die Neuholzbildung stellte sich nach der Pflanzung praktisch ein oder erreichte nur Bruchteile des Zuwachses, der in der Baumschule erzielt worden ist. Das Wurzel-Spross-Verhältnis lag bei sechs Bäumen tiefer als 1:3.

Bei Baum #73 kam die Vermutung auf, dass der ansonsten vitale Baum erst durch den weissen Stammanstrich anfällig für den Pathogenen wurde, an dem die Eiche schlussendlich erlag. Lehmann & Stobbe (2015) haben in einem mehrjährigen Versuch die eventuell schädliche Wirkung eines Stammanstrich an Jungbäumen untersucht. Zwar wurde in der vorhergehenden Aufarbeitung von Praxisfällen, bei denen weiss gestrichene Bäume Schäden an der Rinde aufwiesen, mehrmals der Erreger *Fusicoccum spp.* dokumentiert. Doch konnten sie in den zwei Versuchen an 80 Bäumen weder einen fördernden noch schädlichen Einfluss des Anstriches auf Infektionen im Bereich des Stammes, Stammgrundes und der Wurzeln feststellen. Darum ist es von Bedeutung, die Bäume vor dem Anstrich auf den Befall mit pilzlichen, bakteriellen und tierischen Schadorganismen zu kontrollieren (Lehmann & Stobbe, 2015 S. 211). Auch Schneidewind (2010) sieht in einer fachgerechten Behandlung mit ARBO-FLEX keine Nachteile für die Gesundheit der Bäume.

## 4.2 Vitalitätsbeurteilung

Obwohl die jeweiligen Stückzahlen der Baumarten keine statistisch relevanten Aussagen über die Kronenvitalität zulassen, decken sich die Ränge der Mittelwerte der Kronenvitalität mit den Potential der verschiedenen Eichenarten betreffend der Toleranz von Hitze- und Trockenstress. So haben alle drei Individuen von *Quercus cerris* eine vitale Kronenstruktur ( $\emptyset K2$ ), während *Q. frainetto*, *Q. rubra* und *Q. robur* im Durchschnitt die Explorationsphase bereits eingestellt haben ( $\emptyset K1$ ) und *Q. palustris* in Mittel nochmals etwas abfällt ( $\emptyset K0.6$ ). In der Klimaartenmatrix (KLAM) von Roloff et al. (2009, S. 299 - 304) wird die Zerreiche als sehr geeigneter Stadtbaum eingestuft, während die anderen Arten in mindestens einer der beiden Kategorien eine Stufe tiefer (geeignet) eingeordnet wurden. Die «Right Trees for Changing Climate Database» warnt, dass *Quercus palustris* nur kurze Dürreperioden überstehen kann (UK Forestry Commisison, 2019). Körber (2017) beobachtete im Rahmen des Projekts «Stadtgrün 2021», dass *Q. palustris* in Substraten mit einem pH von über 6.5 starke Chlorosen zeigt. Dies konnte an den untersuchten Bäumen nicht festgestellt werden, obwohl das Basler Baums substrat einen pH von deutlich über 6.5 aufweist.

Auch die Gartenamtsleiterkonferenz (GALK, 2019) bestätigt das Potential von Eichen im städtischen Raum. Sie bewertet alle Eichen als geeignet für den Strassenraum. Doch allein *Quercus cerris* wird ohne Einschränkungen empfohlen, was die Ergebnisse der Kronenvitalität unterstützen. Diese überlegene Toleranz gegenüber Trockenheit konnte auch Brèteau-Amores (2018) in einer Untersuchung eines achtjährigen Aufforstungsprojekts im Rheintal aufzeigen. *Quercus cerris* konnte sowohl eine höhere Wassernutzungseffizienz als auch eine bessere Photosyntheserate vorweisen. Grossnickle (2005) bewies am selben Projekt, dass *Q. cerris* mehr Feinwurzelanteile ausbildete. Dies mehrheitlich in tieferen Bodenschichten, verglichen mit *Q. robur*. Darüber hinaus ergab die Analyse des radialen Stammwachstums einen Trend zu einem höheren Frühholzanteil verglichen mit den einheimischen Eichen (Brèteau-Amores, 2018). Ob dies eine Anpassung an das südeuropäische Klima mit niederschlagsärmeren Sommern sei, konnte nicht abschliessend beantwortet werden. In einer Studie an Eichen von Früchtenicht, Neumann, Klein, Bonal & Brüggemann (2018) haben Individuen von *Quercus frainetto* weniger auf Trockenheit reagiert als *Quercus robur* und zudem unter anhaltender Trockenheit das tiefgreifendste Wurzelsystem der untersuchten Baumarten (*Q. frainetto*, *Q. robur*, *Q. petraea*) entwickelt.

Bäume mit einer höheren Kronenvitalität trieben im Durchschnitt auch besser aus. Dies deckt sich mit der Vitalitätsbeurteilung der Baumkronen nach Roloff (2018), welcher aus der Kronenvitalität das Kompensations-, Puffer-, Kompartimentierung- und Regenerationsvermögen und schlussendlich die Reaktionsfähigkeit eines Baumes ableitet. Im trockenem Sommer 2018 (MeteoSchweiz, 2018) haben die wenigsten Bäume Knospenanlagen für Langtriebe gebildet. Die Auswertung des Johannistriebes, und damit der erneute Austrieb der im Frühjahr gebildeten Knospen, bestätigt jedoch das Revitalisierungspotential von Eichen. So trieben die meisten Eichen ein zweites Mal aus, und dies im Schnitt stärker als im Frühjahr. Auch Spieß et al. (2012) haben festgestellt, dass eine milde Dürre über einen Zeitraum von zwei Jahren zwar Anpassungsprozesse in Eichenpflanzen (*Q. robur*) auslöst, die das Überleben sichern, doch werden irreversible Schäden geringgehalten und nach dem Bewässern erfolgt eine vollständige Erholung.

Dass keine Beeinflussung der Vitalität durch die Tiefpflanzung feststellbar war, widerspricht den Untersuchungen von Uehre (2015). Es ist jedoch zu vermuten, dass aufgrund der geringen Stückzahl korrekt gepflanzter Eichen und der Vielzahl anderer Einflussfaktoren auf die Vitalität kein direkter Unterschied durch die Pflanztiefe erkennbar ist. Eine Folgeuntersuchung zum Eintrittszeitpunkt der Herbstfärbung wäre zu empfehlen, da ein verfrühter Eintritt auf Trockenstress durch Tiefpflanzung hindeutet (Granda Alonso, 1996, S. 34 - 35).

Eine weitere Untersuchung müsste aufzeigen, ob sich gewisse Individuen an den Hitze- und Trockenstress adaptiert haben, indem sie kleinere Blattoberflächen ausbilden. Dies bedarf ei-

ner genauen Betrachtung der Blattmasse und war im Umfang dieser Untersuchung nicht möglich.

Obwohl keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten und Ökotypen betreffend dem Vitalitätsfaktor und Stammumfang festgestellt werden konnten, sind doch Tendenzen erkennbar. So scheinen Eichen, welche einen S-Ökotypus haben, besser mit Standorten hoher Umgebungsabstrahlung (Strasse, Retentionsbecken NORD, Fahrradparkplatz) umgehen zu können. Nichtzutreffend ist dies auf dem Standort Parkplatz, wo beide Ökotypen sehr tiefe Vitalitätswerte erzielten. Dies kann so gedeutet werden, dass die Parkplätze, mit ihren schmalen Baumscheiben zwischen versiegelten Asphaltflächen, auch für Bäume zu extrem war, welche normalerweise besser mit solchen Bedingungen zurechtkommen. Beide Ökotypen verzeichnen die beste Vitalität, wenn sie nahe an den Böschungen gepflanzt wurden, was mit der unversiegelten durchwurzelbaren Staudenpflanzung in der Böschung erklärbar ist. Auch in der Chaussierung sind die Bäume überdurchschnittlich vital, wobei gegen die Erwartungen C-Typen vitaler sind als S-Typen. Aufgrund der Abstrahlung hätte eine umgekehrte Verteilung vermutet werden können. Ob gewisse Ökotypen für gewisse Standorte zu empfehlen sind, müssen weitere Untersuchungen aufzeigen. Im Allgemeinen kann jedoch gesagt werden, dass eine zu hohe Abstrahlung und ein zu grosser Versiegelungsgrad für keinen der Ökotypen ertragbar ist. So haben Gaertig & Schönemann (2015) an 231 Eichen untersucht, wie der Versiegelungsgrad des Boden die Vitalität einschränkt. Sie kamen zum Schluss, dass ein Versiegelungsgrad von 40% im Bereich der Kronenschirmfläche des ausgewachsenen Baumes als nicht mehr tolerierbar erachtet werden kann, wenn der Baum sein Wachstumspotential ausschöpfen und langfristig vital bleiben soll.

Auch der Austriebzeitpunkt ist kein Indikator für eine bessere Vitalität. Als spannend erweisen könnte sich eine Selektion nach dem Austriebzeitpunkt, in Anbetracht des im Laufe des Klimawandels möglicherweise in die Schweiz einwandernde Eichenprozessionsspinner (EPS). Die Eier dieser Nachfalterart schlüpfen zwischen Mitte April und Mitte Mai und fressen die frisch ausgetriebenen Blätter bis auf die Mittelrippe ab (NABU, 2013). Eine Selektion nach spätaustreibenden (ab anfangs Juni) Eichen könnte die Nahrungsgrundlage und damit Überlebenschancen der Raube verringern. Für diese Hypothese sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Auch keinen signifikanten Einfluss auf die Vitalität hatte die Unterpflanzung. So nahm weder der Deckungsgrad noch die Unterscheidung von tiefwurzelnden Stauden und oberflächlich wurzelnden Gräser einen Einfluss auf die Vitalität. Granda Alonso (1996, S.34) berichtet von negativen Einflüssen auf die Zuwachsraten von Jungbäumen, wenn sie auf intensiv gepflegten Rasenflächen stehen. Dies führe zu oberflächiger Austrocknung und damit zu Trockenstress

an den Jungbäumen. In dieser Untersuchung wurde die Pflegeintensivität der Rasenflächen Unterpflanzung nicht berücksichtigt, was in einer Folgeuntersuchung spannend wäre.

### 4.3 Synthese

Die Hypothese «Eichen sind klimawandelgerechte Stadtbäume, wenn sie sich durch eine artgerechte Aufzucht und Pflanzung frühzeitig an einen gegebenen Standort anpassen können.» kann mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit verifiziert werden. Aus der Literatur konnte hergeleitet werden, dass sowohl heimische Eichenarten und insbesondere Arten aus Regionen unseres künftigen Klimas mit den städtischen Gegebenheiten umzugehen wissen. Blaser et al. (2016) haben bereits eine Liste mit potentiellen Zukunftsbaumarten für die Stadt Bern publiziert. Dabei wurden von den beiden untersuchten Eichenarten die Zerreiche (*Quercus cerris*) als viertbestgeeignete aller Baumarten für das Stadtklima eingestuft. Auch die Stieleiche (*Quercus robur*) ist laut dieser Empfehlung für die zukünftigen Verhältnisse der Stadt Bern geeignet. Ob gewisse Ökotypen besonders für den Einsatz im urbanen Umfeld geeignet sind, konnte nicht abschliessend beantwortet werden. Die Untersuchung und die Literatur zeigen auf, dass Eichen ein hohes Regenerationspotential besitzen, und sich von einzelnen, niederschlagsarmen Sommern wieder zu erholen vermögen. Trotzdem haben die Eichen auf dem Campus Liebefeld die Dürreperioden und gegebenen Standortbedingungen nicht problemlos kompensiert. Das ist, neben dem Ausfall von zehn Bäumen in den ersten fünf Standjahren, an der bei 80% der Eichen bereits erfolgte Fruktifikation ersichtlich, obwohl diese bei der Stieleiche im natürlichen Freiland erst nach 40 Jahren beginnen sollte (Schütt et al., 2007).

Faktoren, welche sich limitierend auf die Vitalität der Bäume auf dem Campus Liebefeld auswirkten, sind mehrheitlich in der Aufzucht, der Pflanzung und potentiell in der Anzuchtpflege zu finden. Diese wären grösstenteils vermeidbar, wenn die natürliche Entwicklung der Bäume in die Planung und Aufzucht miteinbezogen werden. Gewisse Eingriffe, wie die Verpflanzung aus der Baumschule an den zukünftigen Standort, sind nicht vermeidbar. Doch können diese von den Bäumen besser kompensiert werden, wenn sie in kleineren Grössen gepflanzt werden. So empfiehlt Scholz (1991) als Wahl der Eichenqualität einen Stammumfang von 12/14-14/16cm. Granda Alonso & Hülbusch (1996) empfehlen nach der Überarbeitung des Notizbuch «über den Umgang mit Bäumen» von Scholz (1991) sogar Stammstärken von nur 10/12cm, da diese in der Regel bereits nach 4 -5 Jahren Pflanzungen mit Stammstärken 14/16cm überholt haben. Dies ist die halbe Stärke, mit welcher die Bäume 2014 gepflanzt wurden. G. W. Watson (1985) demonstrierte an einer Untersuchung der Wurzelentwicklung die Vorteile von Baumpflanzungen in geringer Stärke. Auch neuere Forschungsergebnisse wie die von Dressler et al. (2015) oder Bonfils et al. (2013) sprechen für eine Pflanzung jüngerer Bäume.

Da der Verfasser bis anhin kein Pflanzprojekt über längere Zeit begleitet hat, ist eine definitive Empfehlung an eine zukünftige Baumpflanzung hier nicht angebracht. Doch schliesst sich aus der Literatur, dass die Auswahl von Gehölzen in kleiner Qualität, eine gründliche Betrachtung des Pflanzgut, eine sorgfältige Pflanzung und eine intensive Begleitung der Jungbäume über mehrere Vegetationsperioden die Langlebigkeit von Bäumen erheblich steigern kann.

Schlussendlich stellt sich bei der Planung von Baumpflanzungen die Frage, ob Bäume ihr Wachstumspotential ausschöpfen, lange vital bleiben und uns damit die Ökosystemdienstleistungen erbringen sollen, welche wir uns von städtischem Grün erhoffen. Diese Frage scheint überflüssig, doch ist sie in Anbetracht der heutigen Lebenserwartung von Stadtbäumen dringend zu stellen. Hat die Langlebigkeit von Bäumen erste Priorität, müssen andere Aspekte von Bauvorhaben an die Pflanzung angepasst werden, nicht andersrum. Würden wir alle Dienstleistungen, welche uns Bäume zur Verfügung stellen, miteinrechnen, würde sich eine kostenintensivere Pflege oder das aufwändigere Produzieren von Saatgut und Jungpflanzen wieder rechnen. Vielleicht, und dies ist die persönliche Meinung des Verfassers, ist der alten Literatur, mit deren Erkenntnisse die alten Baumbestände unserer Städte ihr heutiges Alter erreicht haben und wo, aufgrund des Fehlens technischer Lösungen, mehr mit dem Wissen über die Phänologie und Ontogenese der Pflanzen gearbeitet wurde, wieder mehr Beachtung zu schenken.

## 5 Schlussfolgerungen

Die im Laufe dieser Arbeit herausgearbeitete Vitalitätsbeurteilung, angelehnt an (Roloff, 2018), war ein Versuch, aus der Kronenstruktur und den diesjährigen Austrieben Rückschlüsse auf den Umgang der Individuen mit Hitze- und Trockenstress zu ziehen, und gleichzeitig einen Eindruck über deren Revitalisierungskräften zu gewinnen. Diese Einteilung macht aus Sicht des Verfassers Sinn, da der Verlauf der Vitalitätsstufen zwischen der Kronenstruktur (Langzeit) und dem Johannistrieb (Revitalisierung) sehr unterschiedlich war. Trotzdem basiert sie auf einer visuellen Beurteilung, und unterliegt daher der Varianz des menschlichen Ermessens. Auch war es die erste Vitalitätsuntersuchung des Verfassers, wobei gerade das Erfassen von nicht direkt messbaren Parametern auf Erfahrung beruht. Die Fülle an anderen Parametern, die während des Jahresverlaufes aufgenommen wurden, hätte nach intensiver Auseinandersetzung mit der Literatur sicherlich verkürzt werden können, doch halfen sie dabei, ein Auge für die Baumansprache zu gewinnen. Im Allgemeinen sind die hier getroffenen Aussagen über die Bewurzelung kritisch zu betrachten, da die Wurzeln der gefälltten Bäume nicht schonend freigelegt wurden. So waren ausserhalb des Ballens nur die Wurzeln sicht- und damit auch bewertbar, welche nach der Ziehung durch den Kran am Wurzelballen verblieben. Speziell für Feinwurzeln ist es naheliegend, dass viele durch die ausgeübte Kraft abgerissen und für die Untersuchung verborgen im Substrat geblieben sind. Auch durch das Ausspülen des Wurzelballens unter Hochdruck ist es denkbar, dass im Wurzelballen Feinwurzelstrukturen zerstört wurden und diese daher für die Erhebung nicht mehr ersichtlich waren.

Trotzdem konnte mit der Synthese der Vitalitätsbeurteilung und der Analyse der gefälltten Bäume Rückschlüsse auf den Erfolg und die Zukunft von Eichenpflanzungen im städtischen Kontext gezogen werden. Der Erfolg von zukünftigen Baumpflanzungen scheint von kritischer Bedeutung im Kontext des sich anbahnenden Klimawandels und der sich zuspitzenden Urbanisierung unserer Gesellschaften. Doch genau mit der zunehmenden Urbanisierung wird der Platz für anderes Leben immer knapper. Dies vermehrt auch unter dem Boden, wo Pflanzen lange Zeit nicht direkt mit dem Menschen konkurrieren mussten. Dieser Raum konnte in der vorliegenden Arbeit als kritischer Faktor für das Gelingen der Baumentwicklung identifiziert werden. In diesem Bereich ist noch viel Potential vorhanden, was unter anderem die Forschungen zur Wurzelentwicklung Axel Heinrich und Andrea Gion Saluz belegen (Heinrich & Saluz, 2017). Es besteht weiterhin Forschungsbedarf, um unsere Kenntnisse über die Plastizität einheimischer und nichteinheimischer Baumarten zu vergrössern (Roloff, 2018, S. 156). Im Forst wird die Eiche als vielversprechende Baumart gehandelt, da sie durch die Besiedelung unterschiedlicher Klimazonen und einer windbestäubten Fortpflanzung, die den Austausch von Genen über bis zu 80km ermöglicht, genetisch überdurchschnittlich variabel ist (Patrick Bonfils, Rigling, Brändli, & Brang, 2015). Wie diese natürliche Auslese von Genotypen im städtischen

Kontext erfolgen kann, wo Naturverjüngung nicht stattfindet, ist eine spannende Frage für weitere Forschungen an der Eiche als zukünftiger Klimastadtbaum.



## Literatur

- BAFU, B. für U. (2019). Forstliches Vermehrungsgut. Abgerufen 1. August 2019, von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wald-und-holz/wald-und-holz--fachinformationen/strategien-und-massnahmen-des-bundes/forstliches-vermehrungsgut.html>
- Balder, H. (1998). *Die Wurzeln der Stadtbäume: Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz; 38 Tabellen*. Berlin: Parey.
- Bärtels, A., & Schmidt, P. A. (Hrsg.). (2014). *Enzyklopädie der Gartengehölze: 15 Tabellen* (2., aktualisierte und erweiterte Auflage). Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer KG.
- Bassuk, N., Curtis, D. F., Murrance, B., & Neal, B. (2009). *Recommended urban trees: Site assessment and tree selection for stress tolerance* (S. 122). Abgerufen von Cornell University website: <http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/recurbtree/pdfs/~recurbtrees.pdf>
- Bastin, J.-F., Clark, E., Elliott, T., Hart, S., van den Hoogen, J., Hordijk, I., ... Crowther, T. W. (2019). Understanding climate change from a global analysis of city analogues. *PLOS ONE*, *14*(7), e0217592. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217592>
- BBL. (2018, März 12). *Neues Verwaltungsgebäude auf dem Areal Liebefeld in Köniz ist bezugsbereit*. Abgerufen von <https://www.bbl.admin.ch/bbl/de/home/dokumentation/nsb-news-traegerseite.msg-id-58522.html>
- Bernatzky, A. (1982). The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, *5*(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(82\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(82)90022-6)
- Blaser, J., Gardi, O., Kern, M., Mack, S., Wiedemar, M., & Remund, J. (2016). *Urban Green & Climate Bern—Die Rolle und Bewirtschaftung von Bäumen in einer klimaangepassten Stadtentwicklung* (S. 62) [Schlussbericht]. Bern: Berner Fachhochschule.
- Blauermel, G. (1982). Massnahmen zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Stadtbäume. In *Bäume in der Stadt*. Stuttgart: E. Ulmer.
- Bohne, H., Bremer, A., Baldin, B., & Schlüter, D. (2005). Wie werden Wachstumsparameter von Gehölzen auf unterschiedlichen Standorten durch das Verschulen beeinflusst? *Erwerbs-Obstbau*, *47*(4), 87–91. <https://doi.org/10.1007/s10341-005-0066-1>
- Böll, S., Schönfeld, P., Körber, K., & Herrmann, J. (Hrsg.). (2013). Stadtbäume der Zukunft—Erste Ergebnisse aus dem Projekt „Stadtgrün 2021“. In *31. Osnabrücker Baumpflegetage: 3. Und 4. September 2013; Tagung, Fachmesse, Workshops* (S. 11–27). Berlin Hannover: Patzer.
- Böll, Susanne. (2018). *Stadtbäume der Zukunft -Wichtige Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "Stadtgrün 2021"* (Nr. 184; S. 75–85). Veitshöchheimer: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Institut für Stadtgrün und Landschaftsbau.
- Bonfils, P., Kuster, T., Fonti, P., Arendt, M., Vollenweider, P., Junod, P., & Günthardt-Goerg, M. S. (2013). *Die Eiche reagiert plastisch. Die Eiche im Klimawandel, Teil 2: Trockenheit und Anpassung* (Nr. 3 / 13).

- Bonfils, Patrick, Rigling, A., Brändli, U., & Brang, P. (2015). *Die Eiche im Klimawandel—Zukunftschancen einer Baumart*. Abgerufen von [www.wsl.ch/publikationen](http://www.wsl.ch/publikationen)
- Brèteau-Amores, S. (2018). Drought Effects on Early Growth and Mortality of Three Oak Species in the Upper Rhine Valley. *American Journal of Climate Change*, 07(02), 336–354. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2018.72020>
- Büttner, T., & Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. (2015). *Empfehlungen für Baumpflanzungen 1 1*.
- Dressler, A., Korn, S., Roloff, A., & Scheewe, P. (2015). Trockenstressprojekt AdapTree—Bewässerungsmanagement bei der Anzucht von Stadtbäumen im Kontext des Klimawandels. *Aktuelle Fragen der Baumpflege und Bedeutung, Schutz und Risiken von Stadtbäumen*, 17, 85–99.
- Dubs, Y. (2017). *Einbauanleitung für Baumgrubensubstrate der Stadtgärtnerei Basel*. Stadtgärtnerei Basel.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Hrsg.). (2014). *Baumkontrollrichtlinien: Richtlinien für Regelkontrollen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen* (2. Ausg., Nachdr). Bonn: FLL.
- Früchtenicht, E., Neumann, L., Klein, N., Bonal, D., & Brüggemann, W. (2018). Response of *Quercus robur* and two potential climate change winners—*Quercus pubescens* and *Quercus ilex*—To two years summer drought in a semi-controlled competition study: I—Tree water status. *Environmental and Experimental Botany*, 152, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.01.002>
- Gaertig, T., & Schönemann, H. (2015). Wachstum und Vitalität von „Beuys-Eichen“ in Kassel auf unterschiedlich versiegelten Standorten. In *Jahrbuch der Baumpflege*. Braunschweig: Haymarket Media.
- Gaertig, Thorsten. (2001). *Bodengashaushalt, Feinwurzeln und Vitalität von Eichen*. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.
- GALK. (2019). GALK-Strassenbaumliste. Abgerufen 13. April 2019, von <http://www.galk.de/index.php/arbeitkreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste/galk-strassenbaumliste>
- Gillner, S., Bräuning, A., & Roloff, A. (2014). Dendrochronological analysis of urban trees: Climatic response and impact of drought on frequently used tree species. In *Trees* (S. 1079–1093).
- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Hofmann, M., & Roloff, A. (2015). Citree—Software zur gezielten Gehölzartenauswahl für urbane Räume. In *Tagungsband Dresdner Stadtbaumtage in Tharandt: Bd. 17. Aktuelle Fragen der Baumpflege und -verwendung, Stadtbaumeigenschaften und -wirkung* (S. 130–143). Tharandt: Selbstverlag der Fachrichtung Forstwissenschaften der TU Dresden.
- Gilman, E. (2001). Effect of nursery production method, irrigation, and inoculation with mycorrhizae-forming fungi on establishment of *Quercus virginiana*. *Journal of Arboriculture*, 27.
- Gilman, E. (2004). Effects of amendments, soil additives, and irrigation on tree survival and growth. *Journal of Arboriculture*, 30, 301–304.

- Gilman, E., J Black, R., & Dehgan, B. (1998). Irrigation volume and frequency and tree size affect establishment rate. *Journal of Arboriculture*, 24.
- Granda Alonso, E. (1996). Wie wachsen Bäume ins Holz? In *Notizbuch der Kasseler Schule: Bd. 38. Stadtbaumschule—"Vertrauliche Mitteilungen über Bäume"* (S. 17–47). Kassel: Arbeitsgemeinschaft Freiraum und Vegetation,.
- Granda Alonso, E., & Hülbusch, K. H. (1996). Bäume in der Stadt, Praktische Regeln für die Pflanzung, die Herstellungspflege und die Fertigstellungspflege der Stadt- und Strassenbäume. In *Notizbuch der Kasseler Schule: Bd. 38. Stadtbaumschule—"Vertrauliche Mitteilungen über Bäume"* (S. 232–248). Kassel: Arbeitsgemeinschaft Freiraum und Vegetation,.
- Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30(2–3), 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Günthardt-Goerg, M. S., Kuster, T. M., Arend, M., & Vollenweider, P. (2013). Foliage response of young central European oaks to air warming, drought and soil type: Oak foliage response to air warming, drought and soil pH. *Plant Biology*, 15, 185–197. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00665.x>
- Heinrich, A., & Saluz, A. G. (2017). Lenkung der Baumwurzeln in Stadtbaums substraten. *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*. <https://doi.org/10.21256/zhaw-1459>
- Hummel, R., & Johnson, C. R. (1986). Influence of Pruning at Transplant Time on Growth and Establishment of *Liquidambar styraciflua* L., Sweet Gum. *Journal of Environmental Horticulture*, 3(4), 83–86.
- Klug, P., Engels, J., & Klug-Engels-Binder-Kastner (Hrsg.). (2000). *Arbolex: Das Fachwörterbuch der Baumpflege* (1. Aufl). Steinen: Arbus-Verl.
- Körber, K. (2017). Bäume mit Zukunftscharakter: Evaluierung von Baumarten und -sorten aus Sicht der Baumschulen. In *Jahrbuch der Baumpflege 2017* (S. 115–136). Braunschweig.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kristoffersen, P., Bühler, O., Larsen, S. U., & Randrup, T. B. (2010). Growth of newly established *Tilia platyphyllos* „Rubra“ roadside trees in response to weed control and pruning. *Arboriculture and Urban Forestry*, 36(1), 35–40.
- Kuster, T. M., Dobbertin, M., Günthardt-Goerg, M. S., Schaub, M., & Arend, M. (2014). A Phenological Timetable of Oak Growth under Experimental Drought and Air Warming. *PLoS ONE*, 9(2), e89724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089724>
- Kutschera, L., & Lichtenegger, E. (2013). *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher* (2. Aufl). Graz: Stocker.

- Lehmann, M., & Stobbe, H. (2015). Anwendungsfehler beim weissen Stammanstrich und wie man sie verhindern kann. In *Jahrbuch der Baumpflege 2015* (S. 198–211). Braunschweig.
- Marzini, K. (1997). Was ist dran an der Autochthonie? *Deutsche Baumschule*, 49, 557–559.
- MeteoSchweiz. (2014). *Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht* (Fachbericht Nr. 243; S. 36). Bern.
- MeteoSchweiz. (2018). *Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018—Eine klimatologische Übersicht* (Fachbericht Nr. 272; S. 38). Abgerufen von [https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/Fachbericht\\_TrockenheitHitze\\_2018\\_final\\_d.pdf](https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/Fachbericht_TrockenheitHitze_2018_final_d.pdf)
- MeteoSchweiz. (2019a). *Klimabulletin Frühling 2019*. Zürich.
- MeteoSchweiz. (2019b). *MeteoSchweiz 2019: Klimareport 2018* (S. 94). Zürich: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie.
- NABU. (2013). *Der Eichenprozessionsspinner*. Abgerufen von Naturschutzbund Deutschland website: <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/wald/130506-nabu-hintergrundpapier-eichenprozessionsspinner-2.pdf>
- Niinemets, Ü., & Valladares, F. (2006). Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(2006\)076\[0521:TTSDAW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2006)076[0521:TTSDAW]2.0.CO;2)
- Nörr, R., & Baumer, M. (2002). *Pflanzung—Ein Risiko für Bestandesstabilität?* Abgerufen von Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF website: [https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w37\\_pflanzung-ein\\_risiko\\_fuer\\_die\\_bestandesstabilit%C3%A4t\\_gesamtheft\\_gesch.pdf](https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w37_pflanzung-ein_risiko_fuer_die_bestandesstabilit%C3%A4t_gesamtheft_gesch.pdf)
- Peper, P. J., & McPherson, E. G. (2003). Evaluation of four methods for estimating leaf area of isolated trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(1), 19–29. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00020>
- Plietzsch, A. (2017). Jungbaumpflege—Kritische Anmerkung zu Pflanzschnitt, Düngung, Mulch und Bewässerung, einschliesslich Baumbewässerungssets. In *Jahrbuch der Baumpflege* (S. 206–217). Braunschweig: Haymarket Media.
- Roloff, A., Korn, S., & Gillner, S. (2009). The Climate-Species-Matrix to select tree species for urban habitats considering climate change. In *Urban Forestry & Urban Greening* (Bd. 8, S. 295–308).
- Roloff, Andreas. (2001). *Baumkronen: Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens*. Stuttgart: Ulmer.
- Roloff, Andreas. (2018). *Vitalitätsbeurteilung von Bäumen: Aktueller Stand und Weiterentwicklung* (1. Auflage 2018). Braunschweig: Haymarket Media.

- Roloff, Andreas, Gillner, S., Kniesel, R., & Zhang, D. (2018). Interesting and new street tree species for European cities. *Journal of Forest and Landscape Research*, Vol 3 No 1 (2018)-. <https://doi.org/10.13141/jflr.v3i1.1995>
- Roloff, Andreas, & Kehr, R. (2013). *Bäume in der Stadt: Besonderheiten - Funktion - Nutzen - Arten - Risiken ; 12 Tabellen*. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- Roloff, Andreas, Thiel, D., & Weiß, H. (Hrsg.). (2015). *Aktuelle Fragen der Baumpflege und -verwendung, Stadtbaumeigenschaften und -wirkungen: Tagungsband Dresdner StadtBaumtage in Tharandt 12./13.03.2015* (März 2015). Tharandt: Selbstverlag der Fachrichtung Forstwissenschaften der TU Dresden.
- R-Studio (Version 1.2.1335) [Windows]. (2009). Abgerufen von <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>
- Rubel, F., Brugger, K., Haslinger, K., & Auer, I. (2017). The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100. *Meteorologische Zeitschrift*, 26(2), 115–125. <https://doi.org/10.1127/metz/2016/0816>
- Schneidewind, A. (2010). Aktuelle Untersuchungen zum Stammschutz für Jungbäume. In *Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt Beiheft: Bd. 9. Aktuelle Fragen der Baumpflege und Bedeutung, Schutz und Risiken von Stadtbäumen: Tagungsband Dresdner StadtBaumtage, Tharandt und Dresden 11./12.3.2010* (März 2010, S. 26–32). Tharandt: Selbstverlag der Fachrichtung Forstwissenschaften der TU Dresden.
- Scholz, N. (1991). *Über den Umgang mit Bäumen -oder: Praktisch-handwerkliche Erfahrungen zur Technik des Bäumeplantzens*. Kassel: Arbeitsgemeinschaft Freiraum und Vegetation,.
- Schütt, P., Schuck, H. J., Stimm, B., Aas, G., Baasch, R., & Blaschke, H. (Hrsg.). (2007). *Lexikon der Baum- und Straucharten: Das Standardwerk der Forstbotanik; Morphologie, Pathologie, Ökologie und Systematik wichtiger Baum- und Straucharten* (Lizenzausgabe 2007). Hamburg: Nikol Verlagsgesellschaft.
- Spieß, N., Oufir, M., Matušíková, I., Stierschneider, M., Kopecky, D., Homolka, A., ... Wilhelm, E. (2012). Ecophysiological and transcriptomic responses of oak (*Quercus robur*) to long-term drought exposure and rewatering. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.11.010>
- Taeger, C. (2017). Wurzelqualität ist Baumqualität; Balleneigenschaften und ihre Bedeutung für eine gelungene Pflanzung. In *Jahrbuch der Baumpflege 2017* (S. 74–90). Braunschweig.
- Uehre, P. (2015). *Einfluss von zu tiefer Pflanzung auf die Baumvitalität*. Abgerufen von <https://www.hortigarte.de/bericht?nr=66682>
- UK Forestry Commisison. (2019). Right Trees for Changing Climate Database [Database]. Abgerufen 5. August 2019, von The Right Trees for Changing Climate Database website: <http://www.righttree4cc.org.uk/>

- Unit G.2 of DGAGRI. (2017). *Flowers and ornamental plants—Statistic 2006—2016*. Abgerufen von [https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/fruit-and-vegetables/product-reports/flowers/statistics-2017\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/fruit-and-vegetables/product-reports/flowers/statistics-2017_en.pdf)
- Watson, G. W. (1985). Tree size affects root regeneration and top growth after transplanting. *Journal of Arboriculture*, 11, 37–40.
- Watson, G. W. (1994). Root Development after Transplanting. In *The Landscape Below Ground. Proceedings of an International Workshop on Tree Root Development in Urban Soil*. (S. 54–68). Savoy, Illinois: International Society of Arboriculture.
- Watson, Gary W., & Himelick, E. B. (2013). *The practical science of planting trees*. Champaign, Ill: Internat. Society of Arboriculture.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1;	Lage des Campus Liebefelds nordöstlich des Liebefeldparks (Bild: geo.admin.ch, mod.) .....	10
Abbildung 2;	Klimadiagramm der Messstation Bern/Liebefeld. Rot = maximale Temperatur; Schwarz = durchschnittliche Temperatur; Blau = minimale Temperatur (Bild; MeteoSchweiz, 2014) .....	11
Abbildung 3;	Kronenvitalitätsstufen V0 - V2 nach Roloff (2018). (Bild; Roloff (2018), mod.) .....	12
Abbildung 4;	Beispiel K0 .....	13
Abbildung 5;	Beispiel K2 .....	13
Abbildung 6;	Beispiel K1 .....	13
Abbildung 7;	Beispiel A2 .....	14
Abbildung 8;	Beispiel A0 .....	14
Abbildung 9;	Beispiel A1 .....	14
Abbildung 10;	Austrieb im Frühjahr (links) und stark ausgebildeter Johannistrieb im Juli (rechts).....	15
Abbildung 11;	Quercus robur (#39) mit zurückgetrockneten Seitentrieben, Wasserhaushaltsstörungen und einer gestützten Krone .....	16
Abbildung 12;	Quercus robur (Baum #48) mit zurückgetrockneter Krone.....	16
Abbildung 13;	Quercus robur (#113) mit sekundärer Krone durch ehemaliger Rücktrocknung des Leittriebs.....	16
Abbildung 14;	Bei den meisten Baumscheiben waren Eichelns ersichtlich, welche im Verlauf des Frühjahrs keimten .....	16
Abbildung 15;	Baum # 47 hat den Grossteil des letztjährigen Laubes noch nicht abgeworfen ....	17
Abbildung 16;	Baum #51 hat noch verzezelte Blätter des Vorjahres an den Trieben .....	17
Abbildung 17;	Quercus rubra (#11) hat bis zum Frühling alles Laub abgeworfen .....	17
Abbildung 18;	Baum #101 mit C-Wuchs .....	18
Abbildung 19;	Quercus frainetto (#28) treibt bereits Ende April aus. ....	18
Abbildung 20;	Baum #70 mit S-Wuchs .....	18
Abbildung 21;	Beispiel eines gut gepflanzten Baumes, der Wurzelanlauf ist sichtbar .....	19
Abbildung 22;	Beispiel eines zu hoch gepflanzten Baumes, die Wurzel steht in der Luft. ....	19
Abbildung 23;	Beispiel eines tief gepflanzten Baumes, der Wurzelanlauf ist nicht sichtbar.....	19
Abbildung 24;	Beispiele der Standorte (v.l.n.r); Chausseierung (mit Stauden Unterpflanzung), Wiese, Parkplatz, Retentionsbecken NORD ( mit Stauden Unterpflanzung), Böschung (mit Gras Unterpflanzung), Strasse .....	20
Abbildung 25;	Beispiel einer Würge wurzel (links des Zollstockes).....	22
Abbildung 26;	Zurückgetrocknete Feinwurzeln.....	22
Abbildung 27;	festes, nicht durchwurzelbares Ballensubstrat .....	23
Abbildung 28;	Baum #73; Basler Baums substrat (hellbraun), erstes Ballens substrat (dunkelbraun), und zweites Ballens substrat (rechts, orange) .....	23
Abbildung 29;	die zehn gefällten Bäume auf dem Campus Liebefeld .....	24

Abbildung 30;	Stackerplot der Vitalitätsfaktoren .....	26
Abbildung 31;	unbehandelte Stamm- und Wurzelschäden.....	28
Abbildung 32;	Blattnekrosen .....	28
Abbildung 33;	Links: Blattnekrosen; rechts oben: eingerollte Blätter; rechts unten: Verfärbungen an den Blättern.....	28
Abbildung 34;	Plot der Regressionsanalyse .....	29
Abbildung 35;	Plot des Wilcoxon-Test. Y = Vitalitätsfaktor, X = Ökotypen.....	30
Abbildung 36;	Plot des Kruskal-Wallis-Test mit Y = Vitalitätsfaktor, x = Ökotyp (C/S) und Standort .....	30
Abbildung 37;	Plot des Kruskal-Wallis-Test, Y = Vitalitätsfaktor, X = Ökotyp (C/S) und Austriebszeitpunkt (0-2).....	30
Abbildung 38;	Kruskal-Wallis-Test-Plot, mit y = Vitalitätsfaktor, x = Austriebszeitpunkt .....	31
Abbildung 39;	ANOVA - Plot, y = Stammumfang, x = Ökotyp (C/S) und Standort.....	31
Abbildung 40;	Plot ANOVA, y = Vitalitätsfaktor, x = Art Unterpflanzung (S/G) und Deckungsgrad.....	32
Abbildung 41;	Plot Kruskal-Wallis-Test mit y=Vitalitätsfaktor, x= Wurzelansatz .....	32
Abbildung 42;	Plot ANOVA, y = Vitalitätsfaktor, x = Standort.....	32
Abbildung 43;	ANOVA Plot, y = Stammumfang, x = Wurzelansatz.....	32
Abbildung 44;	Baum #105 mit Adventivwurzel (rechts des Zollstocks) aufgrund von Tiefpflanzung .....	33
Abbildung 45;	Baum #73, die Tiefpflanzung ist an der Grenze des Arboflexanstriches zu erkennen. Mit eingewachsenem Ballenring an der Wurzel .....	33
Abbildung 46;	Baum #68; die Tiefpflanzung ist an der Grenze des Arboflexanstrich zu erkennen. ....	33
Abbildung 47;	Bei Baum #16 ist der Rückschnitt der Krone und die nur schwach überwachsenen Astnarben gut ersichtlich.....	34
Abbildung 48;	Baum #73; die Schnitte der Äste sind gut ersichtlich .....	34
Abbildung 49;	Baum # 68.....	35
Abbildung 50;	Baum # 16.....	35
Abbildung 51;	Baum # 69.....	35
Abbildung 52;	Baum #105.....	35
Abbildung 53;	Baum #73.....	35
Abbildung 54;	Beim ziehen des Baum #69 ist eine Verzweigungsstruktur ausserhalb des Wurzelballens ersichtlich. Es sind Such- und Feinwurzeln erkennbar.....	36
Abbildung 55;	Wurzelballen des gefälltten Baumes #42. Ausserhalb des Ballens ist keine Verzweigung erkennbar, wobei auch im Ballen nur eine grobe Verzweigungsstruktur ersichtlich ist.....	36
Abbildung 56;	Baum #68 eine Durchwurzelung des Substrats nach unten ist nicht möglich.....	37
Abbildung 57;	Feine Wurzelverzweigung im Ballen bei Baum #73 .....	37
Abbildung 58;	Baum #42 der Drahtballen ist nicht verrottet .....	37
Abbildung 59;	Baum #67 eine Durchwurzelung des Substrats nach unten ist nicht möglich.....	37



## Tabellenverzeichnis

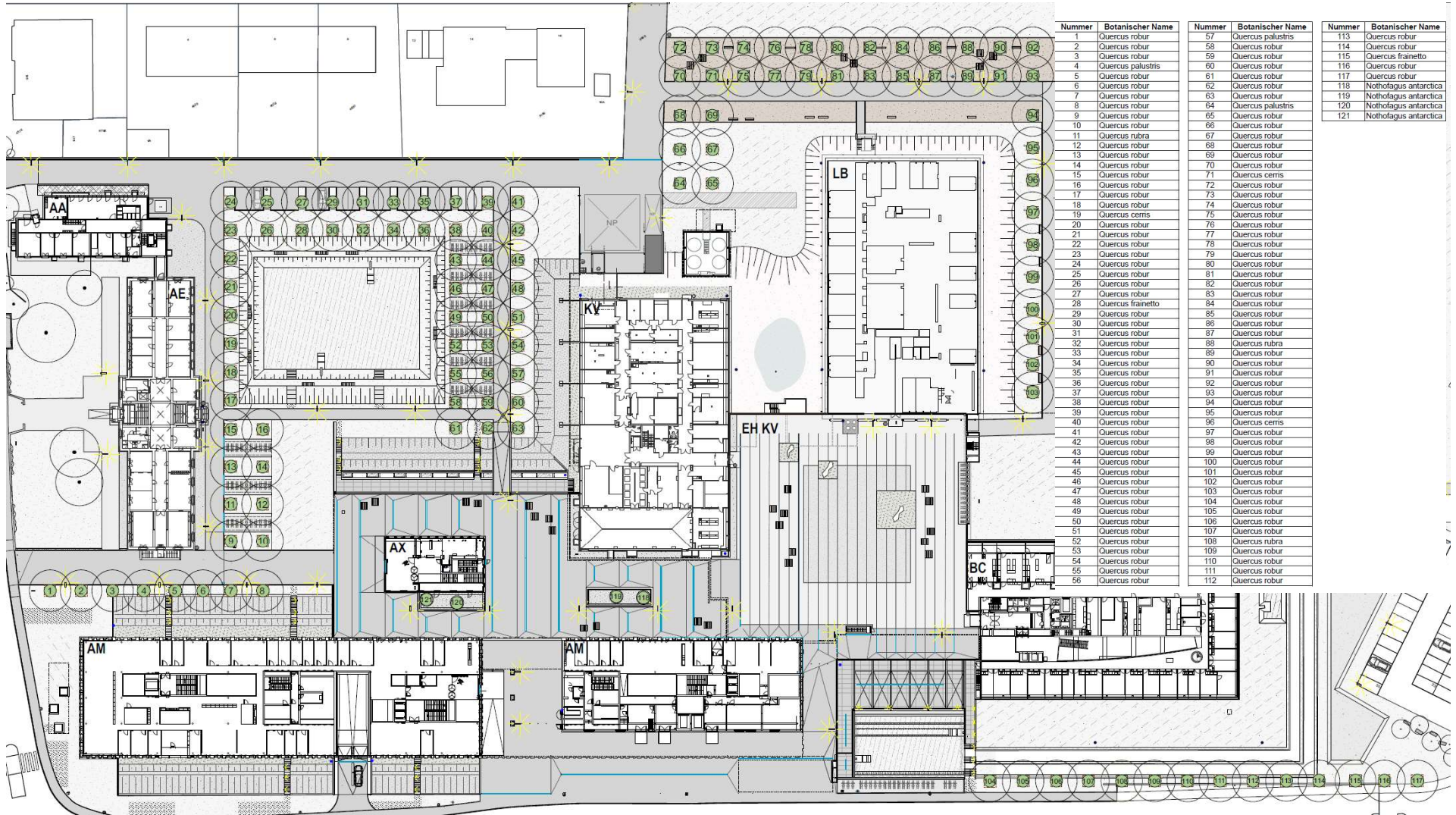
Tabelle 1;	Aufschlüsselung weiterer Vitalitätsfaktoren .....	15
Tabelle 2;	Faktoren von Planungs- und Bewirtschaftseinflüssen .....	20
Tabelle 3;	oberirdische Beurteilung der gefälltten Bäume .....	21
Tabelle 4;	Parameter zur Wurzelbeurteilung .....	21
Tabelle 5;	Parameter zur Ballenbeurteilung .....	23
Tabelle 6;	Schlüssel zur Erstellung des Vitalitätsfaktor .....	24
Tabelle 7;	Farbskalierung für die Jahrringbeurteilung .....	24
Tabelle 8;	Ablauf der statistischen Tests .....	25
Tabelle 9;	Einfluss des Ausgangs- auf den Folgeparameter .....	26
Tabelle 10;	Prozentuale Verteilung der Genotyp- resp. Planungs- und Bewirtschaftungsparameter .	27
Tabelle 11;	Ergebnisse der restlichen Kronen-/Stammparameter .....	33
Tabelle 12;	Pflegeparameter .....	34
Tabelle 13;	Ergebnisse der Wurzelparameter .....	36
Tabelle 14;	Ergebnisse der Ballenparameter .....	37
Tabelle 15;	Auswertung des Wurzel-/ Spross Verhältnis .....	37

## Anhang

Anhang 1 – Pflanzplan .....	59
Anhang 2 – Rohdaten Vitalitätsbeurteilung.....	60
Anhang 3 – Rohdaten Fällung .....	62
Anhang 4 – R-Skript .....	63
Anhang 5 – Plagiatserklärung.....	66
Anhang 6 - Poster .....	67

# Anhang 1 – Pflanzplan

Legende:



## Anhang 2 – Rohdaten Vitalitätsbeurteilung

Nmbr	art	vf2_add	so	ks0	at0	jt0	au_z	w_hh_s	zgt_t	st_u	frkt	oe_t	st_a	wu_a	bv	k_g	k_z	up	de_g
1	Quercus robur	8	W	1	2	1	1	0	0	33	1	S	1	0	1	1	1	S	0
2	Quercus robur	4	W	0	1	1	1	1	S	32	0	C	1	1	1	1	0	S	1
3	Quercus robur	4	W	0	1	1	1	1	S	34	1	S	1	0	1	1	0	S	0
4	Quercus palustris	8	B	1	2	1	1	0	0	42	0	C	1	1	0	1	1	S	1
5	Quercus robur	6	B	1	1	1	0	0	0	32	1	S	1	0	2	1	1	S	0
6	Quercus robur	6	B	1	1	1	1	1	S	35	1	S	1	0	0	0	0	S	1
7	Quercus robur	4	B	0	1	1	1	1	K	32	1	S	1	0	2	1	0	S	0
8	Quercus robur	4	B	1	1	0	1	0	0	31	1	C	1	0	0	1	1	S	0
9	Quercus robur	4	F	0	1	1	0	0	0	29	1	S	1	0	0	1	1	S	1
10	Quercus robur	2	F	0	1	0	1	0	S	31	0	C	1	0	0	1	1	S	2
11	Quercus rubra	10	F	1	2	2	2	0	0	35	0	C	1	1	0	1	0	S	2
12	Quercus robur	2	F	0	0	1	1	1	S	35	1	C	1	1	0	1	1	S	2
13	Quercus robur	8	F	2	1	1	1	0	0	38	1	S	1	0	0	1	1	S	2
14	Quercus robur	6	F	0	2	1	1	1	0	35	0	C	1	0	2	1	1	G	0
15	Quercus robur	4	F	1	1	0	1	1	S	40	1	S	1	0	0	1	1	S	2
17	Quercus robur	4	RO	0	1	1	1	0	0	34	1	C	1	0	0	1	1	S	2
18	Quercus robur	8	RO	2	2	0	2	0	0	36	0	C	0	0	0	1	1	S	2
19	Quercus cerris	10	RO	2	2	1	1	1	0	33	1	S	1	0	1	1	0	S	2
20	Quercus robur	6	RO	1	1	1	1	0	0	34	1	S	1	0	0	1	1	S	2
21	Quercus robur	6	RO	1	1	1	2	0	S	31	1	C	1	0	0	1	1	S	2
22	Quercus robur	4	RO	0	1	1	1	1	S	33	1	C	1	0	0	1	1	S	2
23	Quercus robur	10	RO	2	1	2	1	0	0	36	1	S	1	1	0	1	1	S	2
24	Quercus robur	12	PP	2	2	2	1	1	0	36	1	S	1	1	2	1	1	S	2
25	Quercus robur	4	PP	0	1	1	1	1	0	34	1	S	1	0	0	1	1	S	2
26	Quercus robur	10	RN	2	2	1	2	0	0	32	0	S	1	1	0	1	1	S	2
27	Quercus robur	0	PP	0	0	0	1	1	S	32	1	S	1	0	0	1	1	G	1
28	Quercus frainetto	6	RN	1	1	1	2	0	0	29	1	S	1	1	0	1	1	S	2
29	Quercus robur	2	PP	0	1	0	1	0	0	32	1	S	0	2	0	1	1	G	1
30	Quercus robur	6	RN	0	1	2	1	1	S	29	1	S	1	1	1	1	1	S	2
31	Quercus robur	2	PP	0	1	0	1	1	0	27	1	S	0	2	0	1	1	G	1
32	Quercus robur	2	RN	0	0	1	0	1	S	30	1	C	1	0	0	1	1	S	2
33	Quercus robur	6	PP	0	2	1	0	0	0	29	1	C	1	0	0	1	1	G	1
34	Quercus robur	4	RN	0	1	1	1	0	0	34	1	S	1	0	0	1	1	S	2
35	Quercus robur	2	PP	0	0	1	1	1	S	27	1	S	1	0	0	1	1	G	1
36	Quercus robur	6	RN	0	2	1	1	0	0	35	1	C	1	0	1	1	1	S	2
37	Quercus robur	6	PP	0	1	2	0	1	0	34	1	S	1	0	0	1	1	S	2
39	Quercus robur	2	PP	0	0	1	2	1	S	32	1	C	1	1	0	1	1	S	2
40	Quercus robur	10	F	2	1	2	1	0	0	31	1	C	1	1	0	1	1	S	2
41	Quercus robur	10	B	1	2	2	1	0	0	35	1	S	0	1	0	1	0	S	2
43	Quercus robur	6	F	0	1	2	0	0	0	31	1	S	1	0	0	1	1	S	2
44	Quercus robur	4	F	0	1	1	1	1	S	29	1	C	0	1	0	1	0	S	2
45	Quercus robur	4	B	1	0	1	0	1	0	32	0	S	0	1	0	1	1	S	1
46	Quercus robur	10	F	1	2	2	0	0	0	33	0	S	0	0	0	1	0	S	2
47	Quercus robur	10	F	1	2	2	1	0	0	38	1	S	1	0	1	1	0	S	2
48	Quercus robur	4	B	0	1	1	1	1	K	34	1	C	1	1	0	1	1	G	2
49	Quercus robur	8	F	2	1	1	1	0	0	32	1	S	0	0	0	1	0	S	2
50	Quercus robur	6	F	1	1	1	1	1	0	34	1	C	1	1	0	1	0	S	2
51	Quercus robur	10	B	1	2	2	1	0	0	33	1	S	1	0	1	1	0	S	2
52	Quercus robur	10	F	2	1	2	1	0	0	35	1	S	1	0	0	1	0	S	2
53	Quercus robur	6	F	1	1	1	1	0	0	35	1	C	1	0	0	1	1	S	1
55	Quercus robur	8	F	1	2	1	1	1	0	37	1	S	1	0	0	1	0	S	2
56	Quercus robur	8	F	1	1	2	1	1	S	36	1	C	0	0	0	1	1	S	2
57	Quercus palustris	6	B	1	1	1	1	0	0	31	1	C	1	0	0	1	1	S	1
58	Quercus robur	4	F	0	1	1	1	1	0	36	0	C	0	0	1	1	0	S	1
59	Quercus robur	6	F	1	1	1	0	1	0	37	1	C	1	0	0	1	1	S	1
61	Quercus robur	8	F	1	1	2	1	0	0	42	1	C	1	0	0	1	0	G	1
62	Quercus robur	0	F	0	0	0	1	1	S	36	1	C	1	0	0	1	0	S	2
63	Quercus robur	2	B	0	0	1	1	1	S	34	1	C	1	0	0	1	1	S	1
64	Quercus palustris	6	W	0	1	2	1	0	0	36	0	C	0	0	0	1	0	S	2
66	Quercus robur	2	W	0	1	0	1	1	S	31	0	C	1	0	0	1	1	S	0

70	Quercus robur	6 Ch	2	1	0	1	0 0	37	1 S	1	0	0	1	1 G	2
71	Quercus cerris	12 Ch	2	2	2	1	0 0	43	1 S	0	0	1	1	1 S	1
72	Quercus robur	0 Ch	0	0	0	0	1 S	33	1 S	0	0	0	1	0 S	1
74	Quercus robur	4 Ch	0	1	1	1	1 0	33	0 C	1	0	1	1	1 S	0
75	Quercus robur	6 Ch	2	1	0	1	0 0	38	1 S	1	0	0	1	0 S	1
76	Quercus robur	8 Ch	1	2	1	1	0 0	37	1 C	1	0	0	1	1 S	0
77	Quercus robur	2 Ch	1	0	0	0	0 0	35	1 S	0	0	0	1	1 S	0
78	Quercus robur	0 Ch	0	0	0	1	0 0	33	1 S	1	0	0	1	0 S	0
79	Quercus robur	4 Ch	1	1	0	1	0 0	36	1 S	1	0	0	1	1 S	0
80	Quercus robur	6 Ch	2	1	0	1	0 0	36	1 S	1	0	0	1	0 S	0
81	Quercus robur	8 Ch	1	1	2	1	0 K	32	1 S	0	0	0	1	0 S	1
82	Quercus robur	10 Ch	2	2	1	1	1 0	38	1 C	1	1	1	1	1 S	0
83	Quercus robur	8 Ch	2	1	1	1	1 S	35	1 S	0	0	0	1	0 S	0
84	Quercus robur	8 Ch	1	1	2	1	1 S	34	1 S	1	0	1	1	1 S	0
85	Quercus robur	6 Ch	1	1	1	0	1 K	36	1 C	1	0	1	1	1 S	0
86	Quercus robur	4 Ch	1	1	0	1	1 0	36	1 C	1	1	0	1	0 S	0
87	Quercus robur	0 Ch	0	0	0	1	1 S	34	1 S	1	0	1	1	0 S	0
88	Quercus rubra	10 Ch	2	1	2	1	0 0	33	1 C	1	0	0	1	1 S	0
89	Quercus robur	6 Ch	1	1	1	1	0 0	38	0 C	1	0	0	1	1 S	0
90	Quercus robur	6 Ch	2	1	0	0	0 0	37	1 S	1	0	0	1	1 S	0
91	Quercus robur	8 Ch	1	1	2	1	0 0	37	1 S	1	1	1	1	0 S	0
92	Quercus robur	10 Ch	2	1	2	1	0 0	34	1 C	1	1	0	1	1 S	0
93	Quercus robur	4 Ch	0	1	1	1	0 0	31	1 S	1	1	1	1	1 S	1
94	Quercus robur	6 Ch	1	1	1	1	1 K	40	0 S	1	1	0	1	1 S	2
95	Quercus robur	4 B	0	1	1	1	1 K	31	1 S	0	0	1	1	1 S	2
96	Quercus cerris	12 B	2	2	2	1	0 0	37	1 C	1	0	1	1	0 S	0
97	Quercus robur	10 B	2	1	2	1	0 0	43	1 C	1	0	0	1	0 G	0
98	Quercus robur	6 B	2	1	0	0	0 0	36	1 C	1	1	1	1	0 G	0
99	Quercus robur	10 B	2	1	2	0	1 0	40	0 C	1	0	0	1	1 G	0
100	Quercus robur	10 B	2	1	2	1	0 0	37	1 C	1	1	0	1	0 G	0
101	Quercus robur	8 B	1	1	2	1	0 0	38	1 S	1	1	0	1	0 G	1
102	Quercus robur	10 B	2	1	2	1	0 0	37	1 S	1	0	0	1	0 G	2
103	Quercus robur	10 B	2	1	2	1	0 0	38	1 C	1	0	0	1	1 G	1
104	Quercus robur	8 St	1	1	2	0	0 0	32	1 S	1	0	0	1	1 G	0
106	Quercus robur	8 St	1	1	2	1	0 S	33	1 C	1	0	1	1	1 G	2
107	Quercus robur	4 St	0	1	1	2	1 0	29	0 C	1	0	0	1	1 S	0
108	Quercus rubra	4 St	0	1	1	1	0 0	32	0 C	1	0	0	1	0 G	0
109	Quercus robur	8 St	1	1	2	1	0 0	29	1 S	1	1	0	1	1 S	0
110	Quercus robur	8 St	1	1	2	1	0 0	33	1 S	1	0	0	1	1 S	0
111	Quercus robur	10 St	2	1	2	1	0 0	33	1 S	1	1	0	1	1 S	1
112	Quercus robur	6 St	1	0	2	1	1 K	34	1 S	1	0	0	1	1 S	0
113	Quercus robur	8 St	1	1	2	1	0 S	34	0 S	1	0	1	1	1 G	0
114	Quercus robur	10 St	2	1	2	1	0 K	33	0 S	1	0	0	1	0 S	0
115	Quercus frainetto	8 St	1	1	2	1	0 0	38	0 C	1	0	1	0	0 G	2
116	Quercus robur	8 St	2	1	1	1	0 0	35	0 S	1	0	0	1	0 S	1
117	Quercus robur	4 St	0	1	1	1	1 K	31	1 C	1	1	1	1	1 G	1



## Anhang 4 – R-Skript

```
setwd("")
view(dbaum)

## Legende (NV = Normalverteilung gegeben)

#art = Baumart
#vf2 = Vitalitätsfaktor (0;2;4) (NV);
#ks0 = Kronenstruktur (0;1;2);
#so = Standort
#at0 = Austrieb (0;1;2);
#jt0 = Johannistrieb (0;1;2);
#zgt_t = zurückgetrocknete Krone
#bv = Belaubung Vorjahr
#au_z = Austriebszeitpunkt;
#st_u = Stammumfang (Nicht NV);
#st_a = Stammausschlag;
#k_g = Krone gestützt;
#de_g = Deckungsgrad;

#oe_t = Ökotyp
#up = Unterpflanzung
#w_hh_s = Wasserhaushaltsstörung;
#frkt = Fruktifikation;
#wu_a = Wurzelansatz;
#k_z = Zweite Krone;
#dg_prozent = Deckungsgrad in Prozent (NV)

### Pakete installieren
install.packages("ggthemes")
install.packages("extrafont")
install.packages("installr")
install.packages("dplyr")
install.packages("tidyr")
install.packages("ggpubr")
install.packages("tidyverse")
install.packages("broom")
install.packages("ggplot2")
install.packages("car")
install.packages("readr")
install.packages("stringr")
install.packages("pspearman")
install.packages("MASS")
install.packages("fifer")

library(ggplot2)
library(ggthemes)
library(extrafont)
library(plyr)
library(scales)
library(installr)
library(dplyr)
library(stringr)
library(tidyr)
library(ggpubr)
library(tidyverse)
library(broom)
library(ggplot2)
library(car)
library(readr)
library(pspearman)
library(MASS)
library(fifer)

source("tests_and_visuals.R")

# numerische Parameter auf Normalverteilung überprüfen

shapiro.test(dbaum$vf2_add) #NV
shapiro.test(dbaum$vf_log) #NV
shapiro.test(dbaum$vf_fakt) #NV
shapiro.test(dbaum$vf_fakt_mod) #NV
shapiro.test(dbaum$st_u) #nicht NV
shapiro.test(dbaum$dg_prozent) #NV

## Entwicklung der Vitalität
dbaum %>%
  group_by(dbaum$at2) %>%
  summarise(avg = mean(dbaum$jt2))
```

```

dbaum%>%
  group_by(dbaum$ks2) %>%
  summarise(avg = mean(dbaum$at2))

## ANOVA

##H0: Der Standort hat keine Einfluss auf die Vitalität
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$so)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$so)

##H0: Der Ökotyp und Standort hat keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$oe_t_so = paste0(as.character(dbaum$oe_t),".",as.character(dbaum$so))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$oe_t_so, las=2)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,factor(dbaum$oe_t_so)) #not NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,factor(dbaum$oe_t_so))

##H0: Der Ökotyp und Standort hat keinen Einfluss auf die Stammumfang
dbaum$oe_t_so = paste0(as.character(dbaum$oe_t),".",as.character(dbaum$so))
boxplot(dbaum$st_u~dbaum$oe_t_so, las=2)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$st_u,factor(dbaum$oe_t_so)) #not NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$st_u,factor(dbaum$oe_t_so))

##H0 Der Stammumfang und die Vitalität korrelieren nicht.
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$st_u)
vis_regr(dbaum$st_u,dbaum$vf2_add,ylim=c(0,20),alpha=0.05)

##H0 Der ökotyp hat keinen Einfluss auf die Vitalität

boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$oe_t,)
two_sample_WilcoxonTest(dbaum$vf2_add,dbaum$oe_t)

##H0 Der ökotyp hat keinen Einfluss auf den Stammumfang

boxplot(dbaum$st_u~dbaum$oe_t,)
two_sample_WilcoxonTest(dbaum$st_u,dbaum$oe_t)

##H0 Der Laubabwurfszeitpunkt hat keinen Einfluss auf die Vitalität
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$bv)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$bv) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$bv)

##H0 Der Ökotyp und der Austriebszeitpunkt haben keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$oe_t_au_z = paste0(as.character(dbaum$oe_t),".",as.character(dbaum$au_z))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$oe_t_au_z, las=2)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,factor(dbaum$oe_t_au_z))
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,factor(dbaum$oe_t_au_z))

#H0 Die Deckungsgrad der Unterpflanzung hat keinen Einfluss auf die Vitalität
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$de_g)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$de_g) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$de_g)

#H0 Die Deckungsgrad und die Art der Unterpflanzung hat keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$up_de_g = paste0(as.character(dbaum$up),".",as.character(dbaum$de_g))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$up_de_g, las=2)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,factor(dbaum$up_de_g))

## H0 Der Wurzelansatz hat keinen Einfluss auf die Vitalität
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$wu_a)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$wu_a) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$wu_a)

## H0 Der Wurzelansatz hat keinen Einfluss auf die Stammumfang
boxplot(dbaum$st_u~dbaum$wu_a)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$st_u,dbaum$wu_a) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$st_u,dbaum$wu_a)

#H0 Der Wurzelansatz und die Unterpflanzung haben keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$wu_a_up = paste0(as.character(dbaum$wu_a),".",as.character(dbaum$up))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$wu_a_up, las=2)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,factor(dbaum$wu_a_up))

#H0 Wasserhaushaltsstörungen, zurückgetrocknete Triebe und die Pflanztiefe haben keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$w_hh_s_zgt_t_wu_a
paste0(as.character(dbaum$w_hh_s),".",as.character(dbaum$zgt_t),".",as.character(dbaum$wu_a))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$w_hh_s_zgt_t_wu_a, las=2)

```



```
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,factor(dbaum$w_hh_s_zgt_t_wu_a))
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$w_hh_s_zgt_T_wu_a)
```

```
#H0 der Wurzelansatz hat keinen Einfluss auf die Kronenstruktur
boxplot(dbaum$ks2~dbaum$wu_a)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$ks2,dbaum$wu_a) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$ks2,dbaum$wu_a)
```

```
#H0 die Interpflanzung und deren Deckungsgrad haben keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$up_de_g = paste0(as.character(dbaum$up),".",as.character(dbaum$de_g))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$up_de_g)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$up_de_g) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$up_de_g)
```

```
#H0 zurückgetrocknete Triebe haben keine Einfluss auf die Vitalität
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$zgt_t)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$zgt_t) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$zgt_t)
```

```
#H0 Stammausschläge haben keinen Einfluss auf die Vitalität
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$st_a)
spearman.test(dbaum$vf2_add,dbaum$st_a)
```

```
#H0 der Austriebszeitpunkt hat keine Einfluss auf den Austrieb
boxplot(dbaum$at2~dbaum$au_z)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$at2,dbaum$au_z) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$at2,dbaum$au_z)
```

```
#H0 eine gestützte Krone und der Ökotyp haben keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$k_g_oe_t = paste0(as.character(dbaum$k_g),".",as.character(dbaum$oe_t))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$k_g_oe_t)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$k_g_oe_t) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$k_g_oe_t)
```

```
#H0 Wasserhaushaltsstörungen und Standort haben keinen Einfluss auf die Vitalität
dbaum$w_hh_s_so = paste0(as.character(dbaum$w_hh_s),".",as.character(dbaum$so))
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$w_hh_s_so)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$vf2_add,dbaum$w_hh_s_so)
```

```
#H0 Wasserhaushaltsstörungen haben keinen Einfluss auf den Austrieb
boxplot(dbaum$at2~dbaum$w_hh_s)
spearman.test(dbaum$at2,dbaum$w_hh_s)
```

```
#H0 Wasserhaushaltsstörungen haben keinen Einfluss auf den Johannistrieb
boxplot(dbaum$jt2~dbaum$w_hh_s)
two_sample_WilcoxonTest(dbaum$jt2,dbaum$w_hh_s)
```

```
#H0 eine Zweite Krone und zurückgetrocknete Triebe haben keinen Einfluss auf die Kronenstruktur
dbaum$k_z_zgt_t = paste0(as.character(dbaum$k_z),".",as.character(dbaum$zgt_t))
boxplot(dbaum$ks2~dbaum$k_z_zgt_t)
vis_ANOVA_clusters(dbaum$ks2,dbaum$k_z_zgt_t) #no NV
vis_Kruskal_Wallis_clusters(dbaum$ks2,dbaum$k_z_zgt_t)
```

```
#H0 eine zweite Krone hat keinen Einfluss auf die Vitalität
boxplot(dbaum$vf2_add~dbaum$k_z)
spearman.test(dbaum$vf2_add,dbaum$k_z)
```

## Anhang 5 – Plagiatserklärung


### Erklärung betreffend das selbstständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinar massnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

 Zürich, 07.06.

Unterschrift:



# Anhang 6 - Poster



## Sind Eichen klimawandelgerecht?

Oliver Andrea Bachmann

### Ausgangslage

Die landesweite Jahrestemperatur erreichte 2018 den höchsten Wert seit Messbeginn. Im Kontext dieses Hitzesommers soll in der vorliegenden Arbeit eine Eichenpflanzung auf ihren allgemeinen Vitalitätszustand, ihren Umgang mit Trockenheit und ihr Potential zur Revitalisierung während eines darauffolgenden, niederschlagsreicheren Frühjahrs (91% im Vergleich zum Mittel während der Normperiode 1981-2010) untersucht werden (MeteoSchweiz, 2019). Über den Verlauf des Frühjahrs / Sommer 2019 wurden diverse Parameter an den und um die Eichen auf dem Campus Liebfeld aufgenommen. Ziel ist es, gewisse Indizien herauszufiltern, welche für oder gegen eine vitale Baumentwicklung sprechen. Dies können sowohl genotypische Eigenschaften der Individuen wie Austriebszeitpunkt oder Wuchsform als auch externe Faktoren wie die Pflanztiefe oder die unterschiedlichen Standortbedingungen sein. Mit gewonnenen Erkenntnissen aus der Literatur soll aufgezeigt werden, ob Eichen klimawandeltaugliche Stadtbäume sind.

### Hypothese

Eichen sind klimawandelgerechte Stadtbäume, wenn sie sich durch eine artgerechte Aufzucht und Pflanzung frühzeitig an einen gegebenen Standort anpassen können.

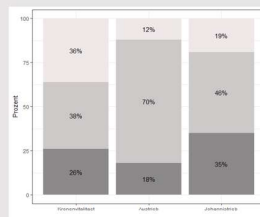
### Methoden

Zwischen dem 18.03 - 22.03.2014 wurden auf dem Campus Liebfeld 117 Eichen mit Stammumfang 22/25cm gepflanzt. Neben den 105 *Quercus robur* wurden jeweils drei Bäume der Arten *Q. rubra*, *Q. palustris*, *Q. cerris* und zwei der Art *Q. frainetto*. Mittels visueller Beurteilung der Kronenstruktur im laublosen Zustand, der Qualität des Austriebs im Frühling und der im Frühsommer erfolgte Johannistrieb wurden drei Werte gemessen, welche auf

- den Zustand des Baumes über mehrere Jahre (Kronenstruktur)
- den Umgang mit der extremen Hitze und Trockenheit im Vorjahr (Austrieb)
- der Revitalisierung (Johannistrieb)

hinwiesen. Anhand von zehn gefälltten Bäumen sollten Gründe identifiziert werden, welche sich negativ auf die Vitalität der Baumpflanzungen auswirken.

### Vitalitätsbeurteilung



### Kronenstruktur 0 - 2



### Austrieb 0 - 2



### gefällte Bäume

Bei einer Mehrzahl der Bäume waren noch innerhalb des Wurzelraums verschiedene Bodentypen ersichtlich. So trat bei einigen Ballen die Situation auf, dass auf ein erstes, lehmiges Substrat ein zweites, sandiges folgte. 9 von 10 Bäumen wurden zu tief eingepflanzt. Durchschnittlich wurden die Bäume 10.3cm zu tief gepflanzt, wobei die Werte zwischen 6-15cm liegen. Sechs der Bäume bildeten bereits Adventivwurzeln. Bei keinem der untersuchten Bäume war die Ausprägung von Derby- oder Jungpflanzen in der Verlängerung der Sprossachse ersichtlich. Während im umgebenden Substrat oft eine Durchwurzelung nach unten oftmals komplett. Viele Ballensubstrate waren unterseits so stark verdichtet, dass eine Ausprägung des Substrats auch unter Hochdruck nicht möglich war. Bei vier der zehn Bäume waren Würdewurzeln erkennbar. Bei der Hälfte der gefälltten Bäume in Bern waren keine Feinwurzeln innerhalb des Ballens ersichtlich. Die Anwachspflege soll die Wiederherstellung eines gesundes Wurzel-Spross-Verhältnis garantieren, wobei Richtwerte Verhältnisse für Jungpflanzen zwischen 1:1-1:3 festlegen. Das Wurzel-Spross-Verhältnis lag bei sechs Bäumen tiefer als 1:3.



### Jahrringanalyse

Nach dem alle Bäume im letzten Standjahr in der Baumschule den grössten, absoluten Zuwachs ihres Lebens erzielten, erholten sich die wenigsten vom «Pflanzschock» (oranjer Jahring). Auch jene, welche ein Jahr nach der Verpflanzung wieder einen Zuwachs erzielten stellten sie diesen in den darauffolgenden Jahren wieder grösstenteils ein, wobei gewisse Jahrringe teilweise gar nicht ausgeprägt wurden.



### Diskussion

Es bestätigte sich, dass sich alle Eichenarten gut von Dürreperioden erholen können. Auch in Bern zeigte sich das grosse Potential von *Quercus cerris*, welche überall die höchsten Vitalitätswerte erzielte. Hingegen konnten keine Aussagen über den Erfolg gewisser Ökotypen gemacht werden. Anhand von zehn gefälltten Bäumen konnten Gründe identifiziert werden, welche sich artunabhängig negativ auf die Vitalität und damit Langlebigkeit von Baumpflanzungen auswirken können. Diese wurden hauptsächlich in der Aufzucht, der Verpflanzung und der Fertigstellungspflege gefunden. Die Wurzel ist nach der Pflanzung stark gekürzt, und die Regeneration dieser hat oberste Priorität. Dies kann auf verschiedene Weisen erfolgen, sollte jede Massnahme auf ein gesundes Wurzel-Spross-Verhältnis abzielen, was bei den meisten gefälltten Bäumen nicht vorgefunden werden konnte. Dieses Ungleichgewicht, und weitere Faktoren wie die Pflanztiefe, sind Ursachen von Trockenstress und schränken die Vitalität und damit auch das Regenerationsvermögen der Bäume ein, worauf sie schlechter auf Wetterextreme wie den Sommer 2018 reagieren können.

### Fazit

Die im Laufe dieser Arbeit herausgearbeitete Vitalitätsbeurteilung, angelehnt an (Roloff, 2018), war ein Versuch, aus der Kronenstruktur und den diesjährigen Austrieben Rückschlüsse auf den Umgang der Individuen mit Hitze- und Trockenstress zu ziehen, und gleichzeitig einen Eindruck über deren Revitalisierungskräfte zu gewinnen. Der Erfolg von zukünftigen Baumpflanzungen scheint im Kontext des sich anbahnenden Klimawandels von kritischer Bedeutung zu sein. Schlussendlich stellt sich bei der Planung von Baumpflanzungen die Frage, ob Bäume ihr Wachstumspotential ausschöpfen, lange vital bleiben und uns damit die Ökosystemdienstleistungen erbringen sollen, welche wir uns von städtischem Grün erhoffen. Diese Frage scheint überflüssig, doch ist sie in Anbetracht der heutigen Lebenserwartung von Stadtbäumen dringend zu stellen. Hat die Langlebigkeit von Bäumen erste Priorität, müssen andere Aspekte von Bauvorhaben an die Pflanzung angepasst werden, nicht andersrum.

### Literatur

Roloff, Andreas. (2018). Vitalitätsbeurteilung von Bäumen: Aktueller Stand und Weiterentwicklung (1. Auflage 2018). Braunschweig: Haymarket Media  
 Bohne, H., Bremer, A., Baldin, B., & Schlüter, D. (2005). Wie werden Wachstumsparameter von Gehölzen auf unterschiedlichen Standorten durch das Versäuen beeinflusst? Erwerbs-Obstbau, 47(4), 87-91. <https://doi.org/10.1007/s10241-005-0066-1>  
 MeteoSchweiz. (2019b). MeteoSchweiz 2019: Klimareport 2018 (S. 94). Zurich: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie

### Bilder

alle Bilder wurden durch den Autor erstellt und gegeben Falls bearbeitet.

Korrektur; Axel Heinrich, Andrea Gion Salz

Abschlussart: Bachelorarbeit, FS19