UNIVERSITÄT LEIPZIG
FAKULTÄT FÜR BIOWISSENSCHAFTEN; PHARMAZIE UND PSYCHOLOGIE

Institut für Biologie I

Der Einfluss hydrologischer Änderung auf das Wachstum von Auwaldbaumarten – eine dendroökologische Studie

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science (M.Sc.)

vorgelegt von

Alexandra Bähring

geb. am 23.05.1986 in Rudolstadt

Gutachter(in): Prof. Dr. Christian Wirth

Gutachter(in): PD Dr. Martin Freiberg

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe.
Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.
Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.
Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Leipzig, den 09.09.2010

Alexandra Bähring

Abkürzungsverzeichnis

ACPS	*Acer pseudoplatanus* L. (Bergahorn)
BHD	Brusthöhendurchmesser
FG	Freiheitsgrade
FREX	*Fraxinus excelsior* L. (Gemeine Esche)
GW	Grundwasser
MW	Mittelwert
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
QURO	*Quercus robur* L. (Stieleiche)
Stabw	Standardabweichung
THA	Totholzanteil

Zusammenfassung

Der Leipziger Auenwald, der sich entlang der Flüsse Weiße Elster, Pleiße, Parthe und Luppe entwickelt hat, ist ein sehr diverses Ökosystem inmitten einer Großstadt. Während des 19. und 20. Jahrhunderts wurden grundlegende wasserbauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz durchgeführt, was die hydrologischen Bedingungen im Auengebiet veränderte. Dies hatte ebenso wie die Umstellung der Waldwirtschaft von Mittelwald auf Hochwald Einfluss auf die Baumartenzusammensetzung. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts trug der zunehmende Braunkohleabbau im Raum Leipzig und dessen Aufgabe mit der politischen Wende zunächst zur Absenkung und dann zum Wiederanstieg des Grundwasserspiegels bei.

Der Einfluss dieser veränderten hydrologischen Bedingungen auf das Wachstum von *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior* und *Acer pseudoplatanus* wurde in dieser Arbeit mittels dendroökologischer Methoden untersucht. Dazu wurden Bohrkerne entnommen, vermessen und datiert. Anschließend wurde die Wachstumsreaktion dieser Baumarten untersucht und folgende Fragestellungen bearbeitet: (1) Zeigen die unterschiedlichen Arten spezifische Reaktionen auf Veränderungen in ihren hydrologischen Bedingungen? (2) Ändert sich das Radialwachstum während der Phasen der Grundwasserabsenkung bzw. der Wiedervernässung? (3) Reagieren Bäume, die in ständigem Kontakt zum Grundwasser stehen, anders als Bäume ohne stete Wasserversorgung? (4) Ändert sich die Klimaabhängigkeit aufgrund der veränderten hydrologischen Bedingungen?

Die bis ins 19. Jahrhundert stark anthropogen geförderte Stieleiche bleibt heute aufgrund ihrer Lichtbedürftigkeit in der Verjüngung hinter den anderen schattentoleranten Arten zurück. Ihre größere Lebenserwartung ermöglicht ihr allerdings sich langfristig gegen die Konkurrenz im Oberholz durchzusetzen. Mithilfe von forstlichen Maßnahmen, die die Eichenverjüngung fördern, kann der Bestand dieser typischen Auenwaldart auch in Zukunft gesichert werden.

Aufgrund ihres tiefreichenden und staunässeunempfindlichen Wurzelwerks wird das Wachstum der Stieleiche nicht durch Grundwasserspiegelschwankungen beeinträchtigt. Langanhaltend vernässte Böden erhöhen allerdings die Anfälligkeit gegenüber Parasiten, was sich in vermindertem Wachstum äußert. Die Gemeine Esche bildet an grundwassernahen Standorten wie dem Auenwald ein äußerst flaches Wurzelwerk aus, mit welchem sie Staunässe meidet. Dies erhöht zwar die Niederschlagabhängigkeit, sichert aber gleichmäßige Zuwächse auch nach

Anstieg des Grundwasserspiegels. Der Bergahorn ist aufgrund seiner geringen Überflutungs- und Staunässetoleranz keine typische Baumart von Auenökosystemen. Er bildet ebenfalls ein flachstreichendes Wurzelwerk aufgrund seiner hohen Staunässeempfindlichkeit aus. Diese äußert sich in deutlich reduzierten Jahrringweiten bei ansteigendem Grundwasserspiegel, da die mangelnde Sauerstoffversorgung sein Wachstum hemmt.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während des Entstehungsprozesses dieser Arbeit unterstützt haben.

Zunächst einmal vielen Dank an Prof. Dr. Wirth und Dr. Freiberg, die mir die Gelegenheit gaben, dieses Masterarbeitsthema in der Arbeitsgruppe der Speziellen Botanik und Funktionellen Biodiversität zu bearbeiten, und mir bei Problemen stets weiterhelfen konnten. Ebenfalls ein ganz großes Dankeschön an Herrn Sickert und Herrn Hartelt von den Stadtforsten Leipzig, die mir die Möglichkeit gaben, die Probenahme an Starkbäumen des Leipziger Auenwaldes durchzuführen und mir außerdem Daten und Informationen zur Verfügung stellten. Danke auch an Frau Renner von der Wasserbehörde des Amtes für Umweltschutz der Stadt Leipzig, die mich mit Daten zur Grundwasserdynamik versorgen konnte. Ein ganz besonderer Dank geht auch an Anja Fankhänel, ohne die ich weder die Probenahme im Wald noch die Vermessung im Labor geschafft hätte und die mich auch sonst stets tatkräftig unterstützte. Danke außerdem an Martin Hausmann, der mir bei der Erstellung der Karten sehr geholfen hat.

An dieser Stelle möchte ich auch nicht meine Eltern Dirk und Sylvia Bähring vergessen, die mich in allem unterstützt haben und immer für mich da waren. Vielen, vielen Dank für alles. Ebenfalls ein herzliches Dankeschön an meinen Freund Martin Koschmieder, der stets aufbauende Worte für mich hatte, wenn die Motivation nachließ.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung ..... **I**

Abkürzungsverzeichnis ..... **II**

Zusammenfassung ..... **III**

Danksagung ..... **V**

Abbildungsverzeichnis **1**

Tabellenverzeichnis **4**

1 Einleitung **5**

2 Untersuchungsgebiete **8**

2.1 Lage **8**

2.2 Klima **9**

2.3 Boden **10**

2.4 Hydrologische Verhältnisse **11**

2.5 Waldbewirtschaftung **13**

3 Untersuchte Arten **15**

3.1 *Quercus robur* L. (Stieleiche) **15**

3.2 *Fraxinus excelsior* L. (Gemeine Esche) **17**

3.3 *Acer pseudoplatanus* L. (Bergahorn) **19**

4 Material und Methoden **22**

4.1 Datengrundlage **22**

4.1.1 Starkbaumkartierung 22
4.1.2 Grundwasserdaten 24
4.1.3 Klimadaten 27

4.2 Datenaufnahme **29**

4.2.1 Probenahme und Datenaufnahme im Wald 29
4.2.2 Datenaufnahme im Labor 30

4.3 Gruppierung der beprobten Bäume ... 33

4.4 Bearbeitung der Daten ... 33

4.4.1 Rekonstruktion des individuellen Alters ... 33
4.4.2 Statistische Methoden und Standardisierung ... 34
4.4.3 Korrelation des Wachstums mit den klimatischen Bedingungen ... 36

5 Ergebnisse ... 37

5.1 Artspezifische Jahrringchronologien ... 37

5.2 Rekonstruktion des individuellen Alters ... 40

5.2.1 Alterstrend des radiären Zuwachses ... 40
5.2.2 Altersabhängiger Grundflächenzuwachs ... 43

5.3 Einfluss der Grundwassernähe auf das Baumwachstum ... 46

5.4 Sensitivität des Baumwachstums ... 52

5.5 Klimakorrelation ... 55

6 Diskussion ... 61

6.1 Altersstruktur ... 61

6.2 Wachstum von *Quercus robur* L. ... 63

6.3 Wachstum von *Fraxinus excelsior* L. ... 64

6.4 Wachstum von *Acer pseudoplatanus* L. ... 66

7 Schlussfolgerung und Ausblick ... 68

Anhang ... 70

Literaturverzeichnis ... 80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.01: Lage der Untersuchungsgebiete Burgaue und Connewitzer Holz 9

Abbildung 2.02: Klimadiagramm für Schkeuditz im Zeitraum 1972 bis 2009 10

Abbildung 4.01: Lage der beprobten Bäume und Grundwassermessstationen 24

Abbildung 4.02: Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen des Landesamts für Umwelt und Geologie, Dresden (Differenzen zum jeweiligen Mittelwert). 26

Abbildung 4.03: Gleitende Mittelwertkurven der Grundwassermessstellen Rückmarsdorf, Schkeuditz, Dölzig, Auwald 1 und 2 (Differenzen zum jeweiligen Mittelwert). 27

Abbildung 4.04: Jahresmitteltemperaturen von Halle Stadt, Leipzig Holzhausen, Leipzig Mockau und Schkeuditz [nach Daten des Deutschen Wetterdienstes] 28

Abbildung 4.05: Jahresniederschlagsummen von Halle Stadt, Leipzig Holzhausen, Leipzig Mockau, Schkeuditz und Eilenburg [nach Daten des Deutschen Wetterdienstes] 29

Abbildung 4.06: Chronologie der Stieleiche mit Einzelbaumsequenzen 31

Abbildung 4.07: Chronologie der Gemeinen Esche mit Einzelbaumsequenzen 32

Abbildung 4.08: Chronologie des Bergahorns mit Einzelbaumsequenzen 32

Abbildung 5.01: Chronologie der Stieleiche 37

Abbildung 5.02: Chronologie der Gemeinen Esche 38

Abbildung 5.03: Chronologie des Bergahorns 39

Abbildung 5.04: Artspezifischer Alterstrend der Stieleiche mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 40

Abbildung 5.05: Artspezifischer Alterstrend der Gemeinen Esche mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 41

Abbildung 5.06: Artspezifischer Alterstrend des Bergahorns mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 42

Abbildung 5.07: Artspezifisches Alter des Bergahorns (ACPS), der Gemeinen Esche (FREX) und der Stieleiche (QURO) 43

Abbildung 5.08: Jährlicher Grundflächenzuwachs der untersuchten Arten 43

Abbildung 5.09: Kumulativer Grundflächenzuwachs der untersuchten Arten 46

Abbildung 5.10: Radialwachstum der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 47

Abbildung 5.11: Radialwachstum der grundwassernahen und grundwasserfernen Gemeinen Eschen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 48

Abbildung 5.12: Radialwachstum der grundwassernahen und grundwasserfernen Bergahorne mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 49

Abbildung 5.13: Sensitivität der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 52

Abbildung 5.14: Sensitivität der grundwassernahen und grundwasserfernen Gemeinen Eschen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 53

Abbildung 5.15: Sensitivität der grundwassernahen und grundwasserfernen Bergahorne mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume 54

Abbildung 5.16: Indices der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen mit Anzahl der in die Rechnung eingegangenen Bäume 56

Abbildung 5.17: Indices der grundwassernahen und grundwasserfernen Gemeinen Eschen mit Anzahl der in die Rechnung eingegangenen Bäume 56

Abbildung 5.18: Indices der grundwassernahen und grundwasserfernen Bergahorne mit Anzahl der in die Rechnung eingegangenen Bäume 57

Abbildung 5.19: Korrelationskoeffizienten der Stieleiche innerhalb drei verschiedener Zeiträume mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag 58

Abbildung 5.20: Korrelationskoeffizienten der Gemeinen Esche innerhalb drei verschiedener Zeiträume mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag 59

Abbildung 5.21: Korrelationskoeffizienten des Bergahorns innerhalb drei verschiedener Zeiträume mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag 59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Tagebaugebiete südlich und westlich von Leipzig mit Flutungsende der Tagebaurestseen 13

Tabelle 4.1: Berücksichtigte Arten der Starkbaumkartierungen durch die Stadtforsten Leipzig .. 22

Tabelle 4.2: Einschränkung der Auswahl der untersuchten Arten auf Grundlage der Starkbaumkartierungen der Stadtforsten Leipzig 23

Tabelle 4.3: Ausgewählte Grundwassermessstellen des Landesamts für Umwelt und Geologie, Dresden 25

Tabelle 4.4: Ausgewählte Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes. 28

Tabelle 5.1: Altersabhängiger Grundflächenzuwachs im dekadischen Mittel von Stieleiche, Gemeiner Esche und Bergahorn 45

Tabelle 5.2: Vergleich der Mittelwerte der Jahrringweiten über die gesamte Länge der vermessenen Sequenzen von grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen, Gemeinen Eschen und Bergahornen 50

Tabelle 5.3: Vergleich der mittleren Ringweiten der untersuchten Arten nach Standortgruppierung innerhalb der Perioden 1945 - 1985 und 1990 - 2009 50

Tabelle 5.4: Mittlere Jahrringweiten der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen, Gemeinen Eschen und Bergahorne in den Perioden von 1945 - 1985 bzw. 1990 - 2009 51

Tabelle 5.5: Mittelwerte und Standardabweichungen der artspezifischen Sensitivitäten unterteilt nach grundwassernahen und grundwasserfernen Bäumen 55

1 Einleitung

Der Leipziger Auenwald, der sich im Überflutungsgebiet der Flüsse Weiße Elster, Luppe und Pleiße entwickelt hat, kann vegetationskundlich dem Stieleichen-Feldulmen-Hartholzauenwald (Querco-Ulmetum minoris) zugeordnet werden [GUTTE (2006)]. Diese Vegetationseinheit zeichnet sich durch dominierende Baumarten wie *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior* und *Ulmus minor* aus, die eine hohe Holzqualität besitzen. Letztere ist heute im Oberstand nicht mehr anzutreffen, da sie durch das Ulmensterben in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts sehr stark dezimiert wurde [GUTTE (1992)].

Die in der Roten Liste der Pflanzengesellschaften als vom Verschwinden bedroht eingestuften Hartholzauenwälder [Bundesamt für Naturschutz] gehören zu den gehölzartenreichsten und produktivsten Waldgesellschaften Europas [DISTER (1988)]. Die Artenzusammensetzung in Auengebieten hängt maßgeblich von der Überflutungsdauer und -höhe und den Grundwasserverhältnissen ab und kann sich auch kleinräumlich recht stark unterscheiden [HAASE und GLÄSER (2009)]. So entwickeln sich die Hartholzauenwälder in höher gelegenen Bereichen entlang der Flussläufe, die nur bei besonders starken Hochwässern überflutet werden [ELLENBERG (1996)]. Allerdings ist der Grundwasserspiegel hier stark vom Flusswasserstand abhängig: Führt der Fluss Hochwasser, dann ist der Grundwasserspiegel höher; bei Niedrigwasser wird das Grundwasser ins Flussbett abgeleitet [SPÄTH (1995)]. In naturnahen Auen schließen sich die Hartholzauenwälder an die Zone der Weichholzaue an. Diese befindet sich näher am Uferbereich der Flüsse und kann zwischen 90 und 190 Tagen im Jahr überflutet werden. Die prägenden Baumarten in dieser Zone zeichnen sich durch schnell wachsendes, leichtes Holz aus. Dies sind unter anderem *Salix alba*, *S. purpurea* und *Populus nigra*, die Überflutungshöhen von über 4 m tolerieren können [DISTER (1988)].

Der Mensch beeinflusst schon seit Jahrtausenden die flussnahen Gebiete Europas, sodass heute kaum noch natürliche Auenökosysteme zu finden sind. Die fruchtbaren Böden, die von den Flüssen bei Hochwässern am oberen Flusslauf erodiert und in den Auengebieten wieder sedimentiert wurden [SPÄTH (1995), ELLENBERG (1996)], eignen sich sehr gut für die landwirtschaftliche Nutzung. Der Mensch war schon seit dem Mittelalter bestrebt, seinen Siedlungsraum vor der Zerstörung durch Überflutung zu schützen. Dies äußerte sich in besonders

tiefgreifenden wasserbaulichen Maßnahmen während des 19. und 20. Jahrhunderts, die auch die Leipziger Flüsse betrafen [LANGE (1959)].

Durch den Bau von Rückhaltebecken und Begradigungen einiger Flussläufe konnten Überflutungen im Stadtgebiet und im Auenwald verhindert und große Wassermengen schnell aus dem Stadtgebiet geleitet werden. Allerdings hat dies einen negativen Effekt auf den Grundwasserspiegel: die Flussbetten wurden eingetieft und die Flussauen drainiert [Staatliches Umweltfachamt Leipzig (2003), LANGE (1959)]. Auch der intensive Braunkohleabbau im Nord- und Südraum der Stadt führte zwischen 1945 und 1989 zu weiteren Grundwasserspiegelabsenkungen. Mit der politischen Wende wurden zahlreiche dieser Tagebaue geschlossen und die Restlöcher geflutet. Daraus resultierte der Wiederanstieg des Grundwasserspiegels im gesamten Gebiet [SCHÖNFELDER (2008), Staatliches Umweltfachamt Leipzig (2003)].

Durch die anthropogenen Einwirkungen auf das hydrologische System im Raum Leipzig veränderten sich die Bedingungen im Auenwald stark. Durch das Ausbleiben von Überflutungen und das Absinken des Grundwasserstandes konnten sich Baumarten etablieren, die aufgrund ihrer geringen Überflutungs- und Staunässetoleranz solche Auenstandorte meiden. So gehört heute neben *Q. robur* und *F. excelsior* auch der überflutungsintolerante Bergahorn (*A. pseudoplatanus*) zu den dominierenden Baumarten. Dieser hat wie die Esche aus der Umstellung der Waldbewirtschaftung von Mittelwald zu Hochwald profitiert. Diese Arten konnten nun zum einen aus dem Unterholz aufwachsen und wurden zum anderen aufgrund ihres vergleichsweise schnellen Wachstums zur Deckung des Nutzholzbedarfs angepflanzt. Flussregulierungsmaßnahmen begünstigten den Anbau von wenig überflutungstoleranten Arten wie *A. pseudoplatanus* [GLÄSER und SCHMIDT (2007), HAASE und GLÄSER (2009)].

Auch an anderen europäischen Flüssen, wie dem Rhein, haben Regulierungsmaßnahmen zu Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung geführt. Nach dem Ausbleiben von Überflutungen wurde die Zunahme überflutungsintoleranter Arten beobachtet. Dies kann zunächst zu einer Steigerung der Biodiversität führen. Langfristig hingegen sinkt die Vielfalt der flussbegleitenden Wälder, da durch Überflutungen das Entstehen verschiedener Mikrohabitate gefördert wird. Dies ermöglicht die Koexistenz zahlreicher Arten auf relativ kleinem Raum [DEILLER et al. (2001)].

Das Wachstum der Bäume ist stark von ihren Umwelteinflüssen abhängig. Dies sind z.B. die folgenden abiotischen Faktoren: Licht, Temperatur, Wasser, Nährstoffverfügbarkeit, Wind, mechanische Schäden an Krone, Wurzel oder Stamm sowie Luft- und Bodenverschmutzung [SCHWEINGRUBER (1996), STOFFEL und BOLLSCHWEILER (2008)]. Die Wachstumsreaktion eines Baumes auf seine Umwelt ist in seinen radiären Zuwächsen gespeichert. Sind die Bedingungen gut, dann werden breite Jahrringe gebildet; wird ein Baum durch Umwelteinflüsse gestresst, dann äußert sich das in engen Jahrringbreiten. Auch die Stärke der Klimakorrelation kann Auskunft über die Abhängigkeit des Radialwachstums von den klimatischen Bedingungen geben. Aus diesem Grund ist ein dendroökologischer Ansatz einerseits geeignet, die Reaktionen des Baumwachstums auf langfristige Änderungen in den Umweltbedingungen zu untersuchen und andererseits die Klimaabhängigkeit verschiedener Baumarten zu analysieren.

Mittels dendroökologischer Methoden wurden auch die Reaktionen der im Leipziger Auenwald dominierenden Baumarten Stieleiche, Gemeine Esche und Bergahorn auf die veränderten hydrologischen Bedingungen analysiert. Dazu wurden von jeweils 30 zufällig ausgewählten Individuen dieser Arten im nördlichen und südlichen Auenwald innerhalb des Leipziger Stadtgebiets Bohrkerne entnommen und vermessen. Nach der Erstellung einer artspezifischen Chronologie wurden die Proben datiert und auf die Wachstumsreaktionen hin untersucht.

Es wurden folgende Fragestellungen bearbeitet: (1) Zeigen die unterschiedlichen Arten spezifische Reaktionen auf Veränderungen in ihren hydrologischen Bedingungen? (2) Ändert sich das Radialwachstum während der Phasen der Grundwasserabsenkung (1945 bis 1985) und der Wiedervernässung (1990 bis 2009) aufgrund des Braunkohleabbaus im Südraum Leipzigs bzw. durch dessen Aufgabe? (3) Reagieren Bäume, die in ständigem Kontakt zum Grundwasser stehen, anders als Bäume ohne stete Wasserversorgung? (4) Ändert sich die Klimaabhängigkeit aufgrund der veränderten hydrologischen Bedingungen?

2 Untersuchungsgebiete

2.1 Lage

Die beiden Untersuchungsgebiete liegen in Mitteldeutschland im Nordwesten des Freistaates Sachsen. Traditionell wird die Region als Leipziger Land bezeichnet und grenzt im Südosten an die Halle-Leipziger-Tieflandbucht. Der Naturraum ist durch ein „äußerst gering bewegtes Relief“ gekennzeichnet und wird mit Ausnahme der Talauen und der wenigen Kuppen von einer Sandlössauflage von etwa 1 bis 2 m Mächtigkeit bedeckt [RICHTER und SCHÖNFELDER (2008)].

Im Schlüsselverzeichnis des Waldinformationssystem Sachsen der Sächsischen Landesanstalt für Forsten (2003) wird das Gebiet als „untere Berglage“ (U) eingeordnet. Die leicht gewellte Struktur der Pleistozän-Platten wird von den Flüssen Weiße Elster, Pleiße, Parthe und Luppe und deren Nebenflüssen zerschnitten. Ihre Auen erreichen lokal eine Breite von bis zu 3 km [RICHTER und SCHÖNFELDER (2008)]. Dieses Auengebiet senkt sich mit einer Differenz von ca. 10 m deutlich in die Landschaft ein [GLÄSER und SCHMIDT (2007)]. Die Höhenlagen schwanken zwischen 95,5 m im nordwestlichen und 111,5 m im südlichen Auenwald [SICKERT (2007)].

Als Teil des Leipziger Auenwalds gehören die Untersuchungsgebiete zum Leipziger Stadtwald. Dieser nimmt im Auenbereich eine Fläche von ca. 1163 ha ein und erstreckt sich von Norden nach Süden von 51°23' bis 51°15' nördlicher Breite und von Westen nach Osten von 12°15' bis 12°23' östlicher Länge [Stadt Leipzig].

Zur Besonderheit des Leipziger Auenwalds zählt die direkte Stadtnähe. Die Untersuchungsgebiete sind vom Stadtgebiet eingeschlossen, was in Abbildung 2.01 zu sehen ist:

- Die Burgaue liegt im Nordwesten des Stadtzentrums und wird im Norden von den Stadtteilen Lützschen-Stahmeln und Wahren und im Süden von Böhlitz-Ehrenberg und Leutzsch begrenzt.
- Das Connewitzer Holz und die Nonne sind im Südwesten des Stadtzentrums gelegen und werden im Westen durch die Stadtteile Schleußig und Klein- und Großzschocher begrenzt. Im Osten liegen die Südvorstadt und Connewitz. An die Nonne schließt sich im Osten der Kulturpark Clara Zetkin an.

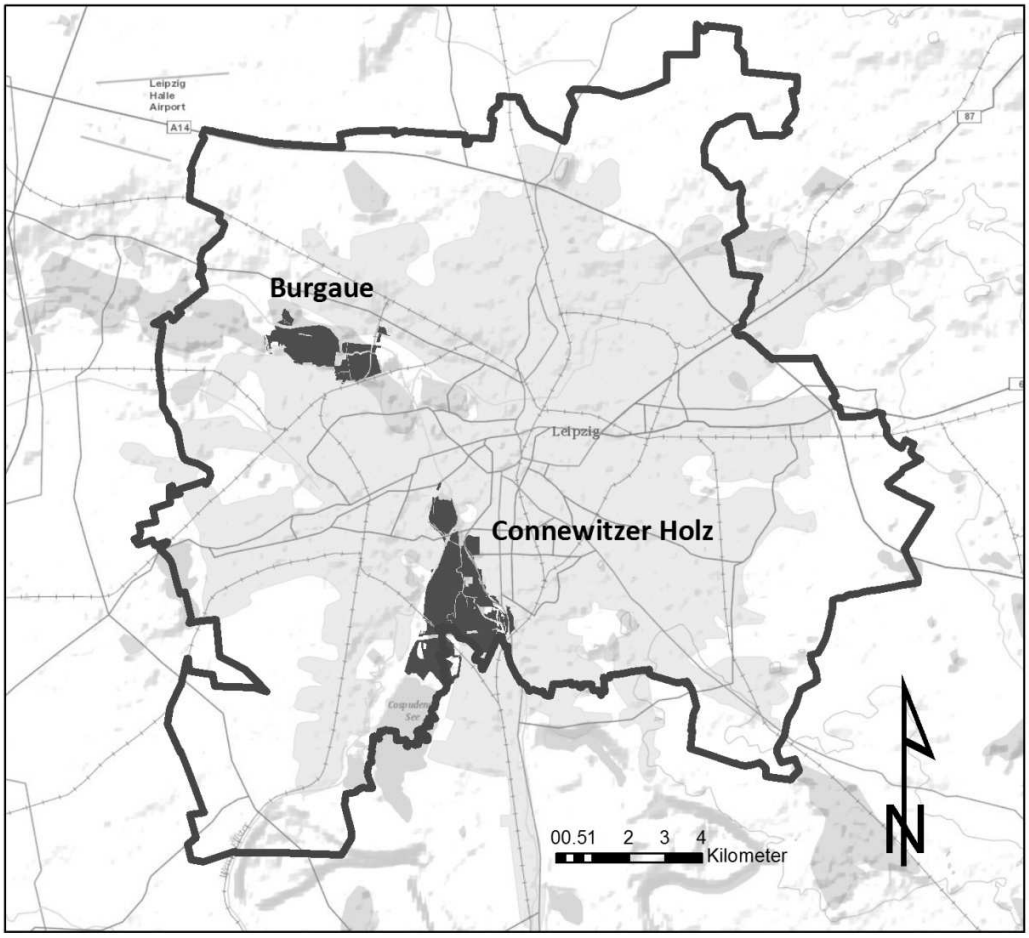

Abbildung 2.01: Lage der Untersuchungsgebiete Burgaue und Connewitzer Holz

[erstellt mit ArcInfo 10.0 auf der Grundlage eines Basiskartendienstes von ArcGIS Online und den Bestandsschlüsseldaten der Stadtforsten Leipzig]

2.2 Klima

Großklimatisch kann der Leipziger Raum dem subkontinentalen Klima zugeordnet werden. Aufgrund des Einflusses des Harzes im Westen kommt es zu einem Niederschlagsgradienten: vom Nordwesten, der an das „Mitteldeutsche Trockengebiet“ grenzt, zum etwas niederschlagsreicheren Südosten [RICHTER und SCHÖNFELDER (2008)].

In Abbildung 2.02 ist das Klimadiagramm für Schkeuditz im Zeitraum von 1972 bis 2009 dargestellt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,4 ± 0,86 °C und die mittlere Niederschlagssumme liegt bei 514,22 ± 107,64 mm. Der wärmste und zugleich regenreichste Monat ist der Juli. Die mittlere Temperatur beträgt 18,58 ± 1,83 °C und im Durchschnitt wird eine Niederschlagsumme von 65,11 ± 31,08 mm erreicht. Die niedrigsten Temperaturen liegen im

Januar mit 0,66 ± 3,1 °C und der geringste Niederschlag wurde mit 25,84 ± 13,05 mm im Februar gemessen [Deutscher Wetterdienst].

Die Klimafeuchtestufe des Untersuchungsgebietes wird als „trocken“ (t) angegeben [Sächsische Landesanstalt für Forsten (2003)].

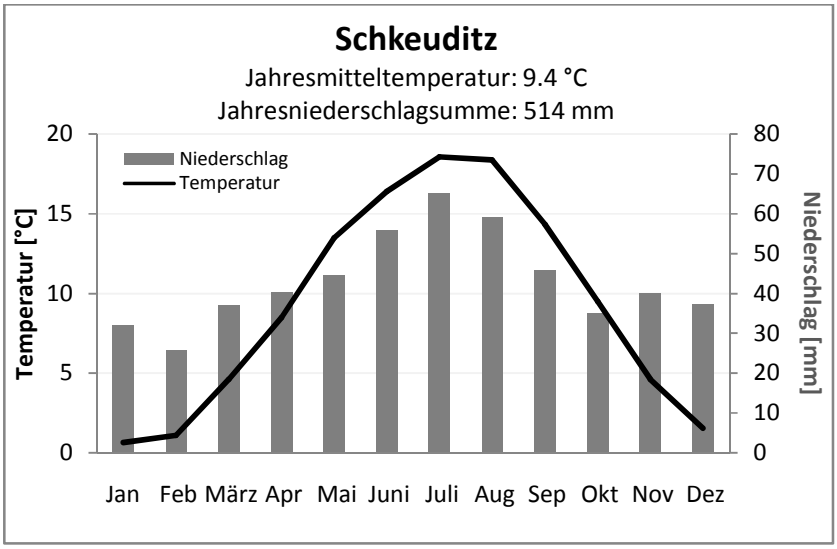

Abbildung 2.02: Klimadiagramm für Schkeuditz im Zeitraum 1972 bis 2009
[nach Daten des Deutschen Wetterdienstes].

2.3 Boden

Der Untergrund des Auengebiets besteht aus Schottern der drei großen Eiszeiten, die das Gebiet erreicht haben - die frühere Elstereiszeit, die frühe Saaleeiszeit und die Weichseleiszeit. Diese Schichten groben Materials sind heute von einer 0,5 bis 5 m dicken Auflage von Auenlehm des Bodentyps Vega bedeckt. Die Ablagerung begann mit der Besiedelung des Leipziger Raumes vor etwa 7 300 Jahren. Durch landwirtschaftliche Nutzung und Rodung von Waldgebieten an den oberen Flussläufen erodierte feines, nährstoffreiches Material. Dieses sedimentierte aufgrund verringerter Fließgeschwindigkeiten der mäandrierenden Flüsse in der Leipziger Tieflandbucht [EISSMANN und TINAPP (2005), SICKERT (2007)].

Die Sächsische Landesanstalt für Forsten (2003) gibt für alle Standorte der beprobten Bäume die Bodenfeuchtestufe Ü - „Überflutungsstandort“, die Feuchteziffer 2 - „frisch“ und die Nährkraftstufe R - „reich“ an.

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Region Leipzig ist durch den Knotenpunkt der Flüsse Weiße Elster, Pleiße, Parthe und Luppe und deren Nebenflüsse geprägt. Aufgrund ihrer Quellgebiete in Mittelgebirgen (die Weiße Elster entspringt beispielsweise im Elstergebirge östlich der tschechischen Stadt Aš) weisen diese einen erhöhten Wasserstand während der Schneeschmelze im Frühjahr auf [RICHTER und SCHÖNFELDER (2008)].

Durch die nährstoffreichen Böden und die strategisch günstige Lage ist der Leipziger Raum schon sehr lange besiedelt. Dies führte schon früh zu anthropogenen Veränderungen des Auengebiets, um den Siedlungsraum vor Hochwassern zu schützen. Dazu wurden zwischen dem 10. und 12. Jahrhundert neben ganzjährig nutzbaren Wegen durch Deiche und Knüppeldämme auch Entwässerungsgräben angelegt. Im 13. Jahrhundert erfolgten größere Maßnahmen, die den Bau von Kanälen und Gräben zur Folge hatten. Diese dienten der städtischen Versorgung mit Bau- und Brennholz und durch die künstliche Gefällegewinnung dem Betrieb der Leipziger Mühlen. Bis ins 18. Jahrhundert kam es durch ständige Umbaumaßnahmen des Stadtgebietes immer wieder zur Verfüllung und Neuanlegung der Kanalsysteme. [LANGE (1959), Staatliches Umweltfachamt Leipzig (2003)]

Im 19. und 20. Jahrhundert erfolgte eine weitere Welle wasserbaulicher Maßnahmen, die grundlegende Veränderungen des hydrologischen Systems der Leipziger Aue zur Folge hatten. Da die regelmäßigen Hochwässer im Frühjahr zu Schäden im Waldgebiet führten, wurden hier 1830 zahlreiche Dämme angelegt bzw. Instand gesetzt. Das gravierende Hochwasser 1854 zog Beschlüsse zu umfangreichen Eingriffen in das Flusssystem nach sich, um weiteren Schäden im Siedlungsgebiet vorzubeugen. So erließ 1855 die Sächsische Regierung das „Gesetz über die Berichtigung der Wasserläufe“. [LANGE (1959)]

Schon in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts wurde mit der Umsetzung der umfangreichen Umbauplanung begonnen. Zunächst erfolgten 1862 einige Luppendurchstiche. 1867 wurde nach Gründung eines Flussregulierungsverbandes der Verlauf der Luppe, des Kuhberger Wassers, der Alten Elster und der Pleiße berichtigt. Aufgrund des Baus einer Eisenbahnlinie von Plagwitz nach Gaschwitz musste 1878 auch die Weiße Elster reguliert werden. Außerdem wurden das neue Pleiße-Wildbett bis zum neuen Elsterwehr verlängert, die Pausnitz-Flutrinne erweitert und die Rötel teilweise zugeschüttet. [LANGE (1959)]

Der Bau des Elsterbeckens von 1913 bis 1925 (Unterbrechung durch den 1. Weltkrieg) dämmte die jährlich auftretenden Hochwässer ein. Doch schon mit der Fertigstellung begann dessen Verschlammung, da die Fließgeschwindigkeiten in diesem Bereich stark verringert sind. Um die Funktion als Rückhaltebecken großer Wassermassen erhalten zu können, muss es regelmäßig ausgebaggert werden. [Stadt-Kultur-Projekt Leipzig (1995)]

Auch in den 1930er Jahren erfolgten einige Flussbegradigungen und -regulierungen. Von diesen waren 1933 das Pleiße-Bett und im darauf folgenden Jahr die Luppe, das Hundewasser und die nördliche Elster in der Burgaue betroffen. Doch die wahrscheinlich größten Einflüsse auf das Wasserregime des Auengebietes hatte der Bau der Neuen Luppe (1936 bis 1938), die eine schnelle und schadlose Durchleitung großer Wassermassen durch das Stadtgebiet gewährleisten sollte. Doch durch die Verkürzung der Fließstrecke entstand auch ein stärkeres Fließgefälle, was zur Tieferlegung der Flusssohle führte. Durch einen Drainageeffekt wurde der Grundwasserspiegel dauerhaft um bis zu einem Meter abgesenkt. [LANGE (1959), Staatliches Umweltfachamt Leipzig (2003)]

All diese Maßnahmen führten dazu, dass die periodischen Frühjahrsüberflutungen seit Ende 19. / Anfang 20. Jahrhundert entfallen. Die letzte großflächige Überflutung fand 1954 statt, als ein Defekt am Palmen-Garten-Wehr des Elsterflutbetts auftrat [Stadt-Kultur-Projekt Leipzig (1995)]. Durch die Grundwasserabsenkung und das Ausbleiben von Überflutungen im Auenbereich findet die Entwicklung von einer rezenten Aue zu einer Altaue statt [GLÄSER und SCHMIDT (2007)].

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf den Auenwald stellt der Braunkohleabbau im Nordwesten und Süden Leipzigs dar, der in den vergangenen 150 Jahren stattgefunden hat. Insgesamt wurden 3,3 Mrd. t Kohle gewonnen, wozu ca. 12 km^3 Massen bewegt wurden. Neben der Zerstörung der überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen kam es auch zur Verlegung ganzer Flüsse [SCHÖNFELDER (2008)]. So „verschwanden kilometerlange Teile der Elster, des Elstermühlgrabens, der Batschke und der Pleiße und wurden durch Betonrinnen und Stahlrohre ersetzt“ [HARTMANN (1992)]. Dies und das Abpumpen des Grundwassers (Sümpfung) bewirkte die großräumige Absenkung der Grundwasserstände und es entstand ein Grundwasserabsenkungstrichter von einer Fläche von etwa 1370 km^2. Am größten war die Beeinflussung des Grundwasserspiegels im Zeitraum von 1985 bis 1990. Nach der politischen Wende erfolgte die Stilllegung und Flutung vieler Tagebaue, was zu einem Wiederanstieg des Grundwassers führte (Tabelle 2.1). Durch die Zerstörung von Waldflächen war der Auenwald

auch direkt vom Braunkohleabbau betroffen. So waren 1981 beispielsweise einige Waldstandorte durch einen neuen Tagebau in Cospuden zerstört worden. 1989 endete der Braunkohleabbau im Gebiet des Auenwaldes. [RICHTER und SCHÖNFELDER (2008), SCHÖNFELDER (2008), Staatliches Umweltfachamt Leipzig (2003)]

Tabelle 2.1: Tagebaugebiete südlich und westlich von Leipzig mit Flutungsende der Tagebaurestseen [nach SCHÖNFELDER (2008) und NABU - Regionalverband Leipzig e.V.]

Tagebaubereich	Förderzeitraum	Flutungsende
Zwenkau	1921 - 1999	2013
Cospuden	1981 - 1992	2000
Kulkwitz / Miltitz	1945 - 1963	1973
Espenhain	1939 - 1996	2006
Witznitz (I / II)	1946 - 1993	1954 bzw. 2008
Borna-Ost/Bockwitz	1960 - 1992	1995 bzw. 2005
Vereinigtes Schleenhain	1953 - 1999	2065
Haselbach	1957 - 1977	2002
Profen-Nord	1944 - 1991	nach 2045

2.5 Waldbewirtschaftung

Der Leipziger Auenwald war aufgrund seiner Stadtnähe nicht nur durch Flussregulierungsmaßnahmen von anthropogenen Eingriffen betroffen, sondern auch direkt durch die wirtschaftliche Nutzung des Waldes seit dem Mittelalter. Schon im 12. Jahrhundert erhielten die Leipziger Bürger das Recht, den Wald zur Gewinnung von Brennholz und zur Versorgung der Tiere zu nutzen. Bis ins 19. Jahrhundert erfolgte die Bewirtschaftung als Mittelwald. Dies führte im Oberholz zur Dominanz von *Quercus robur*, die für Bauholzgewinnung und Eichelmast große Bedeutung hatte. Im Unterholz wurden solche Baumarten gefördert, die ein hohes Stockausschlagvermögen aufweisen (z.B. Feldulme, Linde, Weide, Pappel). In einem Rhythmus von 18 bis 20 Jahren wurden diese als Brennholz geschlagen.

Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert verlor Holz als Brennstoff an Bedeutung und wurde zunehmend durch Kohle ersetzt. 1870 erfolgte die Umstellung vom traditionellen Mittelwaldbetrieb in eine Hochwaldbewirtschaftung. Dadurch veränderte sich die Baumartenzusammensetzung deutlich. Arten wie Ahorn, Esche und Feldulme, die zuvor nur im Unterholz anzutreffen waren, nahmen mehr und mehr Raum der oberen Baumschicht ein. Auch

die baulichen Maßnahmen, die Stadt- und Waldgebiete vor Überflutungen schützen sollten, trugen zur Veränderung des Waldbilds bei. Denn aufgrund des Ausbleibens jährlich wiederkehrender Überflutungen konnten sich Arten wie der Bergahorn und die Gemeine Esche, die nun vermehrt angepflanzt wurden, sehr gut etablieren. Dies führte zur Benachteiligung der Stieleiche, die zur Verjüngung viel Licht benötigt und heute sehr überalterte Bestände aufweist.

Weiterhin veränderte das Auftreten des „Ulmensterbens“ in den 1960er Jahren das Waldbild der Leipziger Hartholzaue. Diese durch den Ulmensplintkäfer übertragene Pilzerkrankung führte dazu, dass *Ulmus minor* heute nur im Jungwuchs vertreten ist und in der Baumschicht fast gänzlich fehlt. Standorte, auf denen zuvor Ulmen wuchsen, wurden mit schnellwüchsigen Hybrid-Pappeln (*Populus* spec.) bepflanzt, sodass die Wirtschaft der DDR ihren großen Holzbedarf decken konnte. Heute bestehen etwa 10 ha des Auenwaldes aus diesen Pappel-Monokulturen.

Derzeitig wird in einigen Teilen des Auwaldes eine mittelwaldähnliche Bewirtschaftung durchgeführt. Dabei werden vor allem Baumarten wie Ahorn und Esche ausgedünnt, um die Verjüngung von *Quercus robur* zu gewährleisten. Dadurch soll sich die Baumarten-zusammensetzung wieder in Richtung eines Hartholz-Auenwaldes verschieben [GLÄSER und SCHMIDT (2007), KASPERIDUS et al. (2001)].

3 Untersuchte Arten

3.1 *Quercus robur* L. (Stieleiche)

Die Stieleiche gehört zu der Familie der Fagaceae. Sie ist eine der forstlich wichtigsten Baumarten Mitteleuropas und ist über den größten Teil des europäischen Kontinents verbreitet. Ihr Ausbreitungszentrum liegt „in den mitteleuropäischen, gemäßigt kontinentalen Tieflagen“. Am besten entwickelt sich *Q. robur* auf „nährstoffreichen, tiefgründigen, frischen bis feuchten Lehm- und Tonböden“. Dort wird sie aber häufig in ihrem Vorkommen durch die konkurrenzstarke Rotbuche eingeschränkt [AAS (2010)]. Sie wächst aber auch noch auf „nassen, pseudovergleyten bis vergleyten Böden“ [SCHÜTT et al. (2007)], da sie Wechsel- und Staufeuchte im Boden ebenso erträgt wie Bodenverdichtung [KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002)].

Im Vergleich zur Traubeneiche (*Q. petraea* Liebl.) ist die Stieleiche weniger trockenresistent [FRIEDRICHS et al. (2008)]. In Mischbeständen besiedelt *Q.robur* vor allem feuchtere Standorte mit schweren Böden, z.B. in Mulden und am Hangfuß, während *Q. petraea* eher trockenere, lockere Böden besiedelt [SCHÜTT et al. (2007)].

Das Wurzelsystem der Stieleiche auf grund- oder wechselfeuchten Standorten ist T- bis hantelförmig und zeichnet sich durch ein extensives, starres, vielfach gitterartiges Wurzelwerk aus. Während die obere Bodenschicht weniger dicht durchwurzelt wird, kommt der Feinwurzelbesatz auch bis in größere Tiefen vor. Obwohl nur wenige Vertikalwurzeln in den Untergrund eindringen, reichen diese dennoch sehr tief. Auch verdichtete, wechselfeuchte oder vorübergehend vernässte Bodenhorizonte werden durchdrungen [KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002)]. Hier ist zwar nur eine extensivere Durchwurzelung vorhanden, aber die Tiefenreichweite ist kaum verändert. Die ständige Wasserversorgung wird durch das Vordringen bis zum tiefsten Grundwasserstand gesichert [KÖSTLER et al. (1968)].

Neben dem Vorkommen in Eichen-Hainbuchenwäldern ist die Stieleiche ein typischer Baum periodisch überfluteter Hartholzauenwälder [SCHÜTT et al. (2007)], und kommt auch im Leipziger Auenwald natürlich vor [GLÄSER und SCHMIDT (2007)]. Sie gilt als sehr überflutungstolerant. So hat DISTER (1981) für *Q. robur* am Oberrhein im langjährigen Mittel eine Toleranz gegenüber Überflutung von 97 Tagen festgestellt. Bei extremen Ereignissen

wurden sogar über 200 Tage Überflutung ertragen. Selbst ihr Höhenwachstum behält die Stieleiche während Überflutungsereignissen bei, nur ihr Radialwachstum wird eingeschränkt [FRYE und GROSSE (1992)]. Dies ist typisch für überflutungstolerante Baumarten, die durch die vermehrte Bildung von Zellzwischenräumen und weniger dichten Zellen den Sauerstofftransport ermöglichen [GLENZ et al. (2006)].

Während der Mittelwaldbewirtschaftung wurde die Stieleiche im Leipziger Auenwald anthropogen gefördert und war bis Ende des 19. Jahrhunderts die dominante Baumart des Oberholzes. Das periodische Schlagen des Unterholzes sicherte die Verjüngung der Eiche, die als Lichtbaumart besonders in der juvenilen Phase lichte Bedingungen benötigt. Heute ist der Stieleichenbestand stark überaltert, da aufgrund der veränderten Bewirtschaftungsform und ausbleibender Überflutung das Unterholz von schnellwachsenden Schatten- und Halbschattenbäumen wie den Ahornarten dominiert wird und somit die Stieleiche ohne waldbauliche Eingriffe des Stadtforstes keine Möglichkeit der Verjüngung hat. [GLÄSER und SCHMIDT (2007), SICKERT (2007)]

Q. robur ist eine ringporige Baumart. Das Frühholz besteht aus einem ein- bis mehrreihigen Porenring, der mehr oder weniger geschlossen ist. Die Poren des Spätholzes kommen vereinzelt oder gruppenweise vor, ihre Anordnung ist locker bis dicht. In breiten Ringen sind diese Porengruppen oft radial bis flammenförmig. Die für das Eichenholz typischen Holzstrahlen sind so breit, dass sie mit bloßem Auge erkennbar sind. [SCHWEINGRUBER (1990)]

Die Ringporigkeit der Eiche ebenso wie die der Esche führt zu regelmäßig ausgebildeten Jahrringen und ermöglicht der Dendrochronologie eine sichere Datierung von Holzproben. Da die Poren des Frühholzes relativ groß sind, können sie sehr schnell und effizient Wasser aus dem Wurzelraum in die Baumkrone leiten. Allerdings laufen sie auch Gefahr in Trockenperioden Embolien zu erleiden. Dies führt dazu, dass im Frühjahr vor dem Austreiben zunächst mindestens eine Frühholzreihe gebildet werden muss, um die Wasserversorgung zu sichern. Denn die Poren der vorangegangenen Jahre können aufgrund von Schädigungen während des Winters diese Funktion nicht mehr erfüllen. [ROLOFF (2004)]

Da die Stieleiche ein tiefreichendes und gegen Staunässe unempfindliches Wurzelwerk ausbilden kann, wird sie vermutlich weder auf die Absenkung noch auf den Anstieg des Grundwassers im Leipziger Auenwald mit Wachstumsreduktion reagieren.

3.2 *Fraxinus excelsior* L. (Gemeine Esche)

Die zur Familie der Oleaceae gehörende Gemeine Esche ist über fast ganz Europa verbreitet und eine der wichtigsten forstlich genutzten Baumarten [DOBROWOLSKA et al. (2008)]. Sie ist recht anspruchsvoll und kommt in krautreichen Laubmischwäldern von der Ebene bis in 1 600 m Höhe der Gebirgslagen vor [DOBROWOLSKA et al. (2008), SCHÜTT et al. (2007)]. Da *Fraxinus excelsior* allgemein eine hohe Toleranz gegenüber geringer Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit aufweist, werden historisch zwei Ökotypen unterschieden: die sogenannten „Kalk- bzw. Wassereschen“ [DOBROWOLSKA et al. (2008)]. Letztere wachsen u.a. „flussbegleitend in der feuchten Hartholzaue, entlang kleiner Wasserläufe im Bach-Eschenwald, in Schluchtenwäldern sowie in feuchten Buchen- und Eichen-Hainbuchenwäldern“. Die Esche gedeiht auch schon im Übergangsbereich von Weich- zu Hartholzaue [ELLENBERG (1996)]. Sie wächst bevorzugt auf „tiefgründigen, frischen bis feuchten, feinerde-, nährstoff- und basenreichen Lehm und Tonböden humider Klimalagen“ [SCHÜTT et al. (2007)]. Aus den Bereichen ihres Optimums wird die Esche allerdings häufig durch die konkurrenzfähigere Rotbuche verdrängt [ROLOFF und PIETZARKA (2010)].

Die Gemeine Esche verfügt über ein Herz-Senkerwurzelsystem, das heißt ihre stark feinverzweigte Bewurzelung reicht weit zur Seite aber nur mäßig in die Tiefe. Dies kommt dadurch zum Ausdruck, dass die Hauptwurzelmasse nur die oberen 25 bis 30 cm Boden durchwächst [KÖSTLER et al. (1968)]. Es werden zwei Wurzelgruppen gebildet: eine flachstreichende und eine tiefstrebende. Ihr Verhältnis zueinander ist stark vom Boden abhängig [KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002)]. Auf Auenböden, wo das Grundwasser hoch ansteht, sind Eschen z.B. extreme Flachwurzler. In feuchtem, schwach vergleytem Boden biegen die tiefreichenden Wurzeln seitwärts um. Auch die Feinverzweigung ist auf feuchten, kühlen Auenböden deutlich verringert [KÖSTLER et al. (1968), KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002)].

Trotz ihres Vorkommens an periodisch überfluteten Standorten zeigt die Esche im Vergleich zur Stieleiche eine recht große Empfindlichkeit gegenüber Überflutung. Am Oberrhein wurde durch DISTER (1981) eine mittlere Überflutungstoleranz von 35 bis 40 Tagen festgestellt. Aber auch für *F. excelsior* sagen FRYE und GROSSE (1992), dass das Höhenwachstum im Gegensatz zum Radialwachstum bei Überflutung von Jungpflanzen beibehalten wird. Für die Esche konnte

außerdem diagnostiziert werden, dass Verletzungen und Mortalitätsrate zunehmen, wenn die Überflutungshöhe ansteigt [KRAMER et al. (2008)].

In der Jugendphase ist *F. excelsior* ein Halbschattenbaum. Im Alter ist sie hingegen ausgesprochen lichtbedürftig. Darum wird häufig zunächst der Höhenzuwachs über das Dickenwachstum gestellt. Die Esche zeigt ein gebundenes Wachstum, bei dem der gesamte Jahrestrieb inklusive Blätter im Vorjahr in der Knospe angelegt wird. [ROLOFF und PIETZARKA (2010), SCHÜTT et al. (2007)]

Die Esche ist auf eine ausreichende Wasserversorgung angewiesen, um gut wachsen zu können. Dies hängt mit ihrer hohen Transpirationsleistung zusammen. Sie gehört „zu den am stärksten transpirierenden Baumarten Mitteleuropas“ [ROLOFF und PIETZARKA (2010)], was zu einem hohen Wasserentzug des Bodens führt [SCHÜTT et al. (2007)].

Aufgrund ihres hohen Stockausschlagvermögens und ihres Vorkommens entlang von Wasserläufen und in Auengebieten war die Gemeine Esche vermutlich schon immer ein Vertreter des Unterholzes im Leipziger Auenwald. Als ursprünglicher Bestandteil der Baumschicht konnte sie allerdings nicht nachgewiesen werden [GLÄSER (2001)]. Diese Nachweislücke kann aber auch durch einen erheblichen Rodungs- und Nutzungsdruck in den vergangenen 7 000 Jahren begründet sein [VOLK (2002)]. Heute bildet *F. excelsior* einen großen Anteil der Baumschicht des Leipziger Auenwaldes. Erst ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurde sie vermehrt gefördert und von 1870 bis Anfang des 20. Jahrhunderts regelmäßig angepflanzt. Dies ging mit der Umstellung des Waldbetriebes von Mittelwald- auf Hochwaldwirtschaft einher. Seit 1870 stieg der Eschenanteil im Leipziger Auenwald von 0,3 % bis heute auf etwa 39 % an. Da dies von den Stadtforsten als zu hoch eingestuft wird, wird eine Reduktion auf etwa 20 % angestrebt. Dies soll auch der Verjüngung der Stieleiche dienen [GLÄSER (2001), SICKERT (2007)]. Neben der anthropogenen Förderung kam der Esche auch das Ausbleiben von Überflutungen durch wasserbauliche Maßnahmen zu Gute.

Die Gemeine Esche ist ebenso wie die Stieleiche eine ringporige Baumart. Ihre Porengröße variiert je nach Standort. Im Frühholz sind sie in der Regel sehr locker angeordnet. Im Spätholz liegen die Poren „einzeln, in kurzen radialen Reihen oder in kleinen Gruppen“ vor. Die Wände der Spätholzporen sind auffallend dick. Das Holz von *F. excelsior* hat meist keinen Farbkern. [SCHWEINGRUBER (1990)]

Das flachstreichende Wurzelwerk kann während einer Absenkung des Grundwassers zur Reduktion des Wachstums der Gemeinen Esche führen, da diese aufgrund ihrer hohen Transpiration diese Verluste besonders während heißer Sommer ausgleichen muss. Durch Anpassung des Wurzelwerks an den erniedrigten Grundwasserspiegel wird es vermutlich auch nach dessen Wiederanstieg zu verminderten Zuwächsen kommen, weil *F. excelsior* empfindlich auf Staunässe im Wurzelraum und damit verbundenem Sauerstoffmangel reagiert.

3.3 *Acer pseudoplatanus* L. (Bergahorn)

Der Bergahorn gehört zur Familie der Sapindaceae, früher Aceraceae. Sein Verbreitungsgebiet reicht von Mitteleuropa bis in die Gebirge Süd- und Osteuropas. Er kommt häufig in Mischwäldern mit Buchen und in schattigen Schluchtwäldern vor [SCHÜTT et al. (2007)]. Auch in lichten, oberbodentrockenen Auenwäldern ist *A. pseudoplatanus* verbreitet [KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002)], während er Standorte, die stark wechselfeucht oder zeitweilig überflutet sind, sowie stark saure Gebiete meidet [SCHÜTT et al. (2007)]. Er kann auf einem breiten Spektrum von Böden wachsen [JENSEN et al. (2008)], bevorzugt aber „tiefgründige, frische bis feuchte, humus-, nährstoff- und basenreiche Böden in kühl luftfeuchten Lagen“ [SCHÜTT et al. (2007)].

Der Bergahorn hat typischerweise ein flaches Herz-Senkerwurzelsystem. Die Bildung dieses flachen, aber sehr intensiv verzweigten Wurzelwerks wird schon durch geringe Widerstände wie Bodenverdichtung, Sauerstoffmangel oder erhöhtem Skelettanteil hervorgerufen [KÖSTLER et al. (1968)]. Das Hauptwurzelsystem wächst horizontal und beschränkt sich auf die oberen Bodenschichten. Auf dichtem, tonigem Pseudogley werden nur die obersten 40 bis 50 cm durchwurzelt, auf nur mäßig dichtem Pseudogley hingegen können Senkerwurzeln bis in 1 m Tiefe reichen [KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002), KÖSTLER et al. (1968)]. Bei hochanstehender Grundfeuchte wird ein sehr flaches, tellerförmiges Wurzelwerk gebildet [KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002)], das nur bis in den Bereich des höchsten Grundwasserstandes reicht [KÖSTLER et al. (1968)]. Standorte, an denen das Grundwasser bis in die obersten 40 cm des Oberbodens reichen, werden von *A. pseudoplatanus* gemieden [JENSEN et al. (2008)].

Die Eigenschaft des Bergahorns Staunässe und Wechselfeuchte im Boden zu meiden, macht ihn ebenso wie seine geringe Überflutungstoleranz ungeeignet als Bestandteil des Auenwald-ökosystems. DISTER (1981) gibt eine mittlere Überflutungsdauer von nur acht Tagen an, die von *A. pseudoplatanus* am Oberrhein ertragen wurde. Seine Mortalität steigt signifikant mit der Dauer der Überflutung an [KRAMER et al. (2008)]. FRYE und GROSSE (1992) haben experimentell festgestellt, dass junge Bergahorne mit einer signifikanten Reduktion des Höhenwachstums auf Überflutung reagieren. So war das natürliche Vorkommen des Bergahorns im Leipziger Auenwald, wo er schon in früheren Jahrhunderten vereinzelt nachgewiesen werden konnte, auf erhöhte und somit trockenere Standorte begrenzt. Seit dem 19. Jahrhundert wurde er vermehrt angepflanzt und gehört heute zu den häufigsten Baumarten des Leipziger Auenwaldes [GLÄSER und SCHMIDT (2007), HAASE und GLÄSER (2009)]. Zusammen mit *A. platanoides* bildet *A. pseudoplatanus* etwa 20 % des Baumbestandes. Dieser Anteil soll durch forstliche Regulierungsmaßnahmen auf 5 % reduziert werden [SICKERT (2007)]. Die starke Ausbreitung der wenig überflutungstoleranten Ahornarten im Leipziger Auenwald wurde durch die Reduktion der Überflutungsdauer und der -häufigkeit gefördert, was durch wasserbauliche Maßnahmen hervorgerufen wurde [GLÄSER und SCHMIDT (2007)]. Besonders im Unterholz ist der Bergahorn häufig vertreten, was auf seine gute natürliche Verjüngung sowie auf seine Eigenschaft als Halbschatten- bzw. Schattenbaum zurückgeführt werden kann [SCHÜTT et al. (2007), SCHMIDT und ROLOFF (2010)].

Das Holz des Bergahorns weist keinen Farbkern auf und ist zerstreutporig. Die Poren sind locker und regelmäßig verteilt. Sie sind in kurzen, radialen Reihen von zwei bis fünf Poren angeordnet. Einige abgeflachte Holzfasern kennzeichnen die Grenzen zwischen den Jahrringen. Die Holzfasern haben unterschiedlich dicke Wände, was zu einer fleckigen Musterung führen kann. Die Holzstrahlen sind nur sehr schwach und bestehen aus drei bis fünf Reihen. [SCHWEINGRUBER (1990)]

Im Gegensatz zu den großen Frühholzporen von Eiche und Esche bildet der Bergahorn kleinere Poren, die zwar weniger effizient dafür aber dauerhafter dem Wassertransport dienen können. Denn durch die geringe Größe ist die Anfälligkeit für Embolien weitaus geringer. Dies führt dazu, dass der Kronenaustrieb schon vor der Frühholzbildung einsetzen kann. Außerdem ist der Baum nicht darauf angewiesen, regelmäßige Jahrringe aufzubauen, wie das bei den Ringporern der Fall ist [ROLOFF (2004)]. Mit der Zerstreutporigkeit von *A. pseudoplatanus* gehen große

Schwierigkeiten in der dendrochronologischen Datierung einher. Da sich dies in fehlenden und unvollständigen Jahrringen widerspiegelt, die die Datierung von Bohrkernen stark erschweren.

Aufgrund seiner großen Anfälligkeit gegenüber Staunässe und daraus resultierendem Sauerstoffmangel bildet *A. pseudoplatanus* wie die Gemeine Esche ein auf die oberen Bodenschichten beschränktes Wurzelsystem aus. Da durch das Absinken des Grundwasserspiegels eine bessere Bodendurchlüftung ermöglicht wird, kann der Bergahorn in dieser Phase vermutlich gute Zuwächse erzielen, während das Ansteigen des Grundwassers wie bei *F. excelsior* zur Wachstumsreduktion führen wird.

Wegen ihrer unterschiedlichen Toleranzen gegenüber Staunässe und den daraus resultierenden Anpassungen des Wurzelwerks werden die drei untersuchten Baumwarten wahrscheinlich recht unterschiedliche Reaktionen auf die Veränderungen ihrer hydrologischen Bedingungen zeigen. *Q. robur* ist am besten für das Wachstum an Auenstandorten angepasst und kann aufgrund des tiefreichenden Wurzelsystems auch Trockenperioden ohne Zuwachsreduktionen überstehen. Deswegen wird sie nicht oder nur wenig auf die Grundwasserschwankungen reagieren. *F. excelsior* und *A. pseudoplatanus* sind beide empfindlicher gegenüber vernässten Böden und werden nach dem Wiederanstieg des Grundwasserspiegels vermutlich mit einer Reduktion des Zuwachses reagieren. In der Phase der Grundwasserabsenkung kann ihr Verhalten hingegen auseinander gehen: So wird die Esche zunächst aufgrund ihrer hohen Transpiration das Wachstum reduzieren, während der Bergahorn wegen des verringerten Wasserstresses im Wurzelraum größere Zuwächse erzielen kann.

4 Material und Methoden

4.1 Datengrundlage

4.1.1 Starkbaumkartierung

Durch die Stadtforsten Leipzig wurden im Gebiet des Stadtwaldes 1998 und 2005/06 Kartierungen der Starkbäume durchgeführt, wobei die Kartierung von 2005/06 umfangreicher als 1998 war (Tabelle 4.1). Die Inventur umfasste die Bestimmung der Position in Hoch- und Rechtswerten (Gauss-Krüger, Potsdam-Datum) und den Bestandsschlüssel, den Brusthöhendurchmesser (BHD) und sichtbare Schäden jedes Baumes.

Tabelle 4.1: Berücksichtigte Arten der Starkbaumkartierungen durch die Stadtforsten Leipzig

Art	Anzahl 1998	Anzahl 2005/06	BHD_{min} [cm]
Acer campestre		113	40
Acer platanoides		316	60
Acer pseudoplatanus		**1796**	**50**
Carpinus betulus		748	42
Fagus sylvatica		263	65
Fraxinus excelsior		**4986**	**47**
Prunus avium	121	62	15
Quercus robur	**2113**	**500**	**54**
Tilia cordata		649	49
Tilia platyphyllos		71	57
Ulmos spec.	309	337	28

Aus diesem Datensatz wurden jeweils 30 Individuen von *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior* und *Acer pseudoplatanus* ausgewählt. Die Auswahl erfolgte zufällig, indem jedem erfassten Baum im Connewitzer Holz, einschließlich Nonne, und in der Burgaue eine computergenerierte Zufallszahl zugeordnet wurde. Zunächst erfolgte eine Reduzierung der gesamten Datengrundlage um diejenigen Bäume, die schon bei der Kartierung durch Schäden oder Anteile von Totholz (THA) auffielen (Tabelle 4.2). Für beide Gebiete wurden jeweils diejenigen Bäume mit den 15 kleinsten Zahlen für die Probenahme vorgesehen. Dennoch wurde zu jedem Zielbaum ein Alternativbaum herausgesucht, der in der Nähe des zufällig ermittelten Baumes stand. Dieser diente als

Ausweichmöglichkeit, sollte der Zielbaum seit der Kartierung gefällt worden sein oder auf Fäule hinweisende Schäden aufzeigen. Auf das Ersatzexemplar wurde auch dann zurückgegriffen, wenn die Identität eines Baumes nicht zweifelsfrei festgestellt werden konnte. Dies war z.B. dann der Fall, wenn die Markierung durch Regen abgewaschen oder unleserlich war oder aber weitere in Frage kommende Bäume am Standort wuchsen.

In Abbildung 4.01 sind die Standorte der zufällig ausgewählten Bäume innerhalb der beiden Untersuchungsgebiete dargestellt.

Tabelle 4.2: Einschränkung der Auswahl der untersuchten Arten auf Grundlage der Starkbaumkartierungen der Stadtforsten Leipzig

	A. pseudoplatanus	*F. excelsior*	*Q. robur*
Gesamt	1796	4986	2613
ohne THA	1502	3927	2366
ohne Schäden	1222	3122	2271
Connewitzer Holz	204	851	566
Burgaue	394	1388	76
BHD_{MW} [cm]	67.95	77.51	98.75
BHD_{min} [cm]	50	47	54
BHD_{max} [cm]	108	128	262

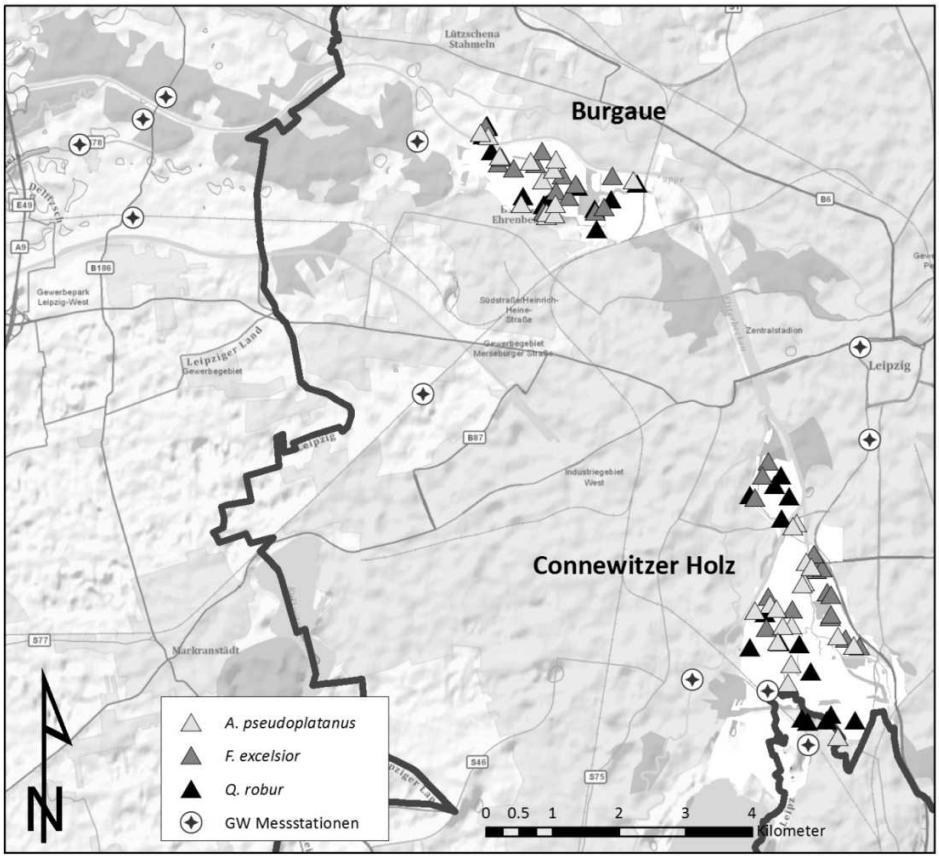

Abbildung 4.01: Lage der beprobten Bäume und Grundwassermessstationen

[erstellt mit ArcInfo 10.0 auf der Grundlage eines Basiskartendienstes von ArcGIS Online und den Bestandsschlüsseldaten der Stadtforsten Leipzig]

4.1.2 Grundwasserdaten

Um die Reaktion der beprobten Bäume auf Grundwasserschwankungen zu untersuchen, wurden Daten von elf Grundwassermessstellen im Bereich des Auenwaldes bzw. in der Nähe der Untersuchungsgebiete in die Betrachtung einbezogen. Die Erhebung dieser Daten erfolgte im Auftrag des Freistaates Sachsen. Sie wurden vom Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden mittels Internetanwendung WINSTYX bereitgestellt. Die Beobachtungszeiträume unterscheiden sich, wie in Tabelle 4.3 angegeben ist.

Tabelle 4.3: Ausgewählte Grundwassermessstellen des Landesamts für Umwelt und Geologie, Dresden
Angegeben ist der mittlere Abstand zum Gelände (MW) mit der Standardabweichung (Stabw) und den Extremwerten (min, max), außerdem die maximale Länge der Messreihen, die zum Teil nicht durchgängig beobachtet wurden und Lücken aufweisen.

Grundwassermessstellen	MW [m]	Stabw [m]	min [m]	max [m]	Anfang	Ende
Rückmarsdorf	5.789	0.491	4.786	6.753	1934	2010
Schkeuditz, Kleinliebenau, Gasthof Liebenau	1.357	0.313	0.642	2.116	1929	2009
Schkeuditz/04435	2.283	0.403	1.410	3.018	1963	2000
Schkeuditz, Geo 0085/2c, B21/62	2.886	0.258	2.378	3.480	1963	2010
Schkeuditz	1.338	0.275	0.688	2.081	1960	2010
Doelzig	2.330	0.234	1.781	2.862	1935	2010
Leipzig, Hauptfeuerwache/04109	3.642	0.817	2.979	6.414	1973	1999
Floßplatz, Geo 0001/3d/04107	3.986	0.237	3.667	4.471	1983	2000
Leipzig, Brückenstraße/04249	3.853	0.374	2.673	4.306	1968	1993
Leipzig-Auewald/04249	1.706	0.358	1.338	2.354	1988	2000
Auewald/04249	0.845	0.529	0.350	1.823	1988	2000

Diejenigen Messstellen, die besonders nah an den Untersuchungsgebieten im Connewitzer Holz liegen (Leipzig-Auewald/04249 und Auewald/04249 im Süden des Connewitzer Holzes) wurden nur sehr kurze Zeit beobachtet. Die Einrichtung dieser Messstellen diente der Beobachtung der Auswirkungen der Flutung der Tagebaurestlöcher im Südraum Leipzigs auf den Grundwasserspiegel im Bereich des Auenwaldes. Der Beobachtungszeitraum von 13 Jahren wurde zudem noch unterbrochen: 1991 liegen keine Messdaten vor. Drei der Messreihen gehen in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts zurück: Rückmarsdorf, Kleinliebenau und Dölzig. Diese langjährigen Datenreihen stammen allerdings von Messstellen, die sich in größeren Distanzen zu den Untersuchungsflächen befinden.

In Abbildung 4.02 sind die Messreihen dargestellt, wobei die Stationsbezeichnungen der Grundwassermessstellen teilweise abgekürzt wurden. So wird Schkeuditz, Kleinliebenau, Gasthof Liebenau im Diagramm als „Kleinliebenau“, Schkeuditz/04435 als „Schkeuditz 1“, Schkeuditz als „Schkeuditz 2“, Schkeuditz, Geo 0085/2c, B21/62 als „Schkeuditz 3“, Leipzig, Hauptfeuerwache/04109 als „Hauptfeuerwache“, Floßplatz, Geo 0001/3d/04107 als „Floßplatz“, Leipzig, Brückenstraße/04249 als „Brückenstraße“, Leipzig-Auewald/04249 als „Auwald 1“ und Auewald/04249 als „Auwald 2“ bezeichnet. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sind für jede Messreihe die Differenzen zum jeweiligen Mittelwert berechnet und aufgetragen worden.

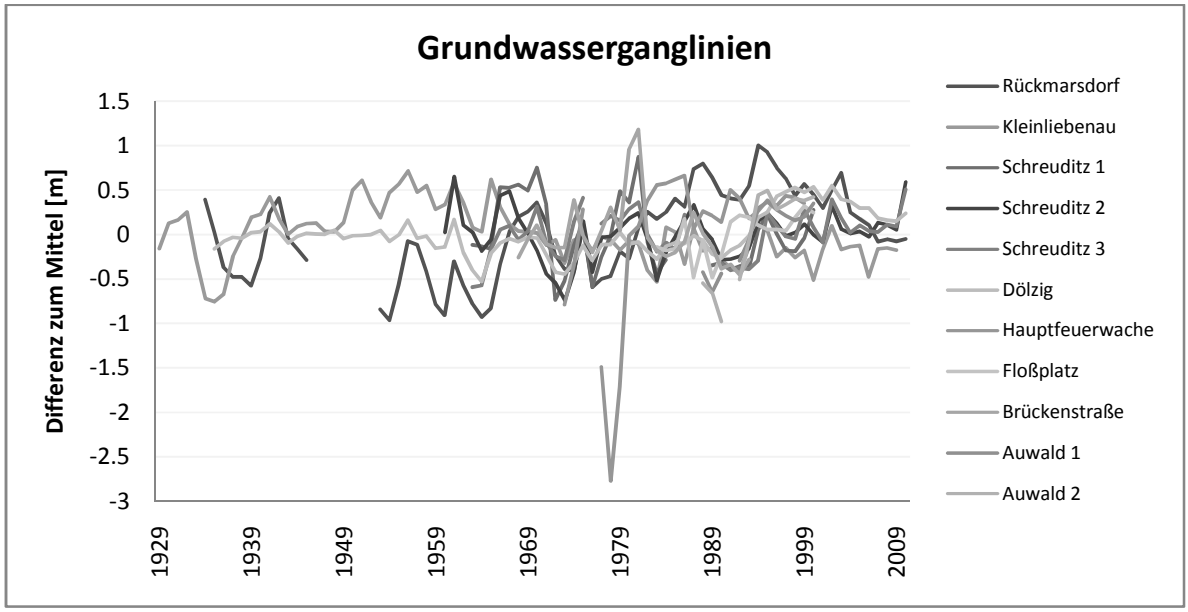

Abbildung 4.02: Ganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen des Landesamts für Umwelt und Geologie, Dresden (Differenzen zum jeweiligen Mittelwert).

Die Standorte der Grundwassermessstellen sind in Abbildung 4.01 gemeinsam mit der Lage der beprobten Bäume dargestellt. Einige Stationen befinden sich innerhalb des Stadtgebietes wie z.B. Floßplatz und Hauptfeuerwache. Letztere zeigt einen deutlich abweichenden Verlauf von den anderen Stationen, weswegen diese von den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen wurde. Aufgrund der Nähe zu den Probebäumen bzw. der gleichgerichteten gleitenden Mittelwertkurven über fünf Jahre wurden die folgenden Messreihen zur Festlegung der Grenze zwischen Grundwasserabsenkung und -wiederanstieg aufgrund des Bergbaus bzw. dessen Aufgabe genutzt: Rückmarsdorf, Schkeuditz, Geo 0085/2c, B21/62, Dölzig, Leipzig-Auewald/04249 (Auwald 1) und Auewald/04249 (Auwald 2). Diese sind in Abbildung 4.03 dargestellt.

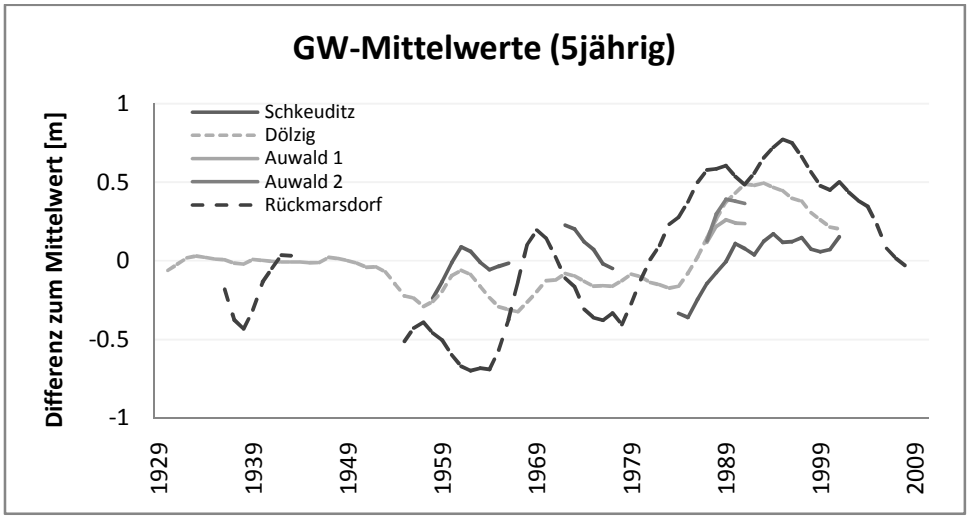

Abbildung 4.03: Gleitende Mittelwertkurven der Grundwassermessstellen Rückmarsdorf, Schkeuditz, Dölzig, Auwald 1 und 2 (Differenzen zum jeweiligen Mittelwert).

Alle Messreihen zeigen am Ende der 1980er Jahre ein Ansteigen des Grundwasserspiegels. Um 1992 haben sie ein deutlich höheres Niveau erreicht als noch wenige Jahre zuvor. Dies hängt mit der Aufgabe bzw. der Flutung der Tagebaue im Süden der Stadt Leipzig zusammen. Das Grundwasser im Gebiet um Rückmarsdorf zeigt bereits die Flutung des nahegelegenen Tagebaus Kulkwitz an, die 1973 abgeschlossen war. Die Beendigung des Braunkohleabbaus 1992 und die damit verbundene Sümpfung im Tagebau Cospuden zeigt sich im Verlauf aller Grundwasser-messstände deutlich. [SCHÖNFELDER (2008)**,** NABU - Regionalverband Leipzig e.V.]
Auf dieser Grundlage wurden zwei Phasen unterschiedlicher Grundwasserverhältnisse unterschieden: Phase 1 von 1945 bis 1985 mit abgesunkenem Grundwasserspiegel im Bereich des Auenwaldes und Phase 2 von 1990 bis 2009 mit einem erhöhtem Grundwasserstand.

4.1.3 Klimadaten

Das Radialwachstum der Bäume wird maßgeblich vom Klima, insbesondere von den Parametern Niederschlag und Temperatur, beeinflusst [FRITTS (1971), SCHWEINGRUBER (1996)]. Für die Analyse der Klimaabhängigkeit des Wachstums der untersuchten Bäume wurden Daten des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Es handelt sich um Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] und Monatssummen der Niederschläge [mm] von vier bzw. fünf Messstationen in und um Leipzig. Diese sind in Tabelle 4.4 aufgelistet. In den Abbildungen 4.04 und 4.05 wurden die

Jahresmittelwerte bzw. -summen graphisch dargestellt. Die Wetterstationen waren zum Teil zu unterschiedlichen Zeiträumen in Betrieb, zeigen aber sehr ähnliche Verläufe, was die Bildung des Mittelwerts der vorhandenen Daten ermöglicht. Somit konnte das Baumwachstum während des gesamten Zeitraums von 1900 bis 2010 mit den klimatischen Bedingungen verglichen werden.

Tabelle 4.4: Ausgewählte Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes.
Es sind Mittelwerte der Temperatur (T), Jahresniederschlagsummen (P) sowie der Aufzeichnungszeitraum angegeben.

Station	T MW [°C]	P Summe [mm]	Beginn	Ende
Halle Stadt	9.46 ± 0.74	512.32 ± 93.34	1900	1966
Leipzig, Holzhausen	9.38 ± 0.88	593.22 ± 114.36	1951	2010
Leipzig, Mockau	9.16 ± 0.65	538.04 ± 101.99	1947	1972
Schkeuditz	9.40 ± 0.86	514.22 ± 107.64	1972	2009
Eilenburg	-	598.02 ± 116.91	1897	2010

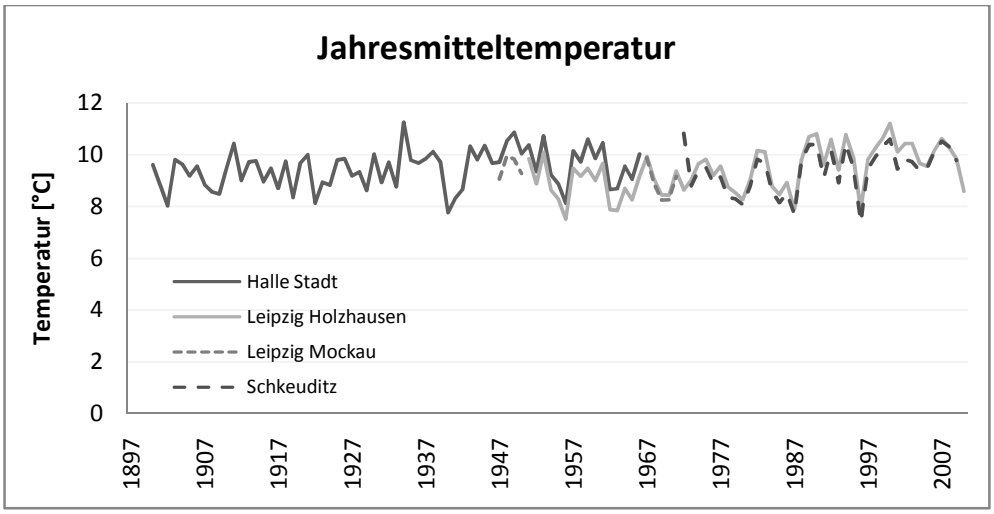

Abbildung 4.04: Jahresmitteltemperaturen von Halle Stadt, Leipzig Holzhausen, Leipzig Mockau und Schkeuditz [nach Daten des Deutschen Wetterdienstes]

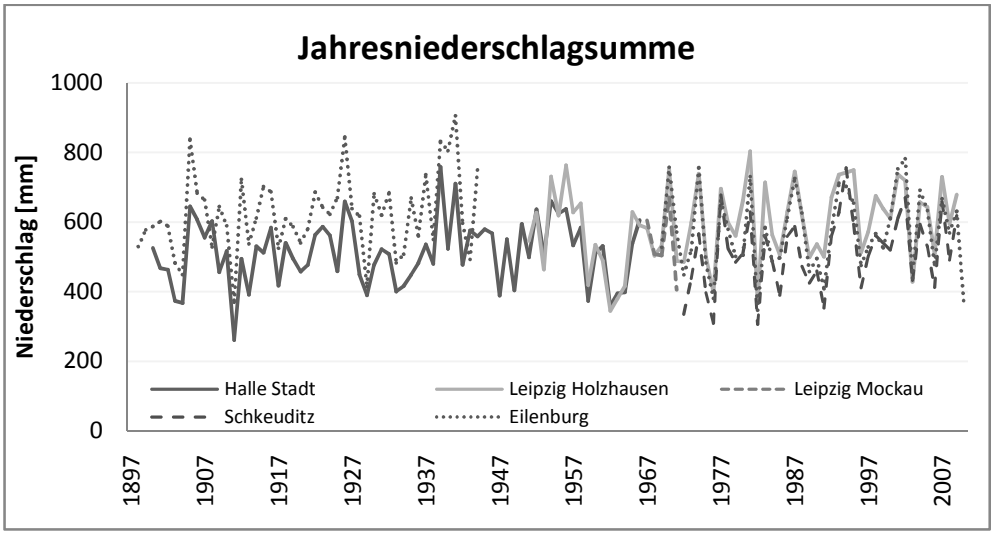

Abbildung 4.05: Jahresniederschlagsummen von Halle Stadt, Leipzig Holzhausen, Leipzig Mockau, Schkeuditz und Eilenburg [nach Daten des Deutschen Wetterdienstes]

4.2 Datenaufnahme

4.2.1 Probenahme und Datenaufnahme im Wald

Die zufällig ausgewählten Bäume wurden im Untersuchungsgebiet mittels GPS-Gerät (Garmin-e-trex) und Taschenbussole (KB 14/400 opti compass, SUUNTO) lokalisiert. Die Probenahme erfolgte je nach Stärke des Baumes mit einem Zuwachsbohrer (SUUNTO) von 40 cm bzw. einem MORA-Zuwachsbohrer (Haglöf) mit 60 cm Länge. Die Bohrkerne wurden in Röhrchen aus Rohpapier der Jass-Papierfabrik Rudolstadt-Schwarza gelagert und im Trockenschrank bei 70°C für mindestens drei Tage getrocknet.

Zusätzlich zur Bohrkernentnahme wurden Daten erhoben, die Hinweise zur Rekonstruktion des individuellen Wuchsverhaltens der Bäume geben können. Bei diesen Daten handelte es sich um die Baumhöhe, den Brusthöhendurchmesser (BHD), die Projektionsfläche der Baumkrone, den Sozialstatus nach Kraft (nur 1: dominant, 2: kodominant), das Mikrorelief und sichtbare Schädigungen. Die Aufnahmen im Feld sind tabellarisch im Anhang in Tabelle A.1 angegeben.

Der Brusthöhendurchmesser (BHD) wurde in 1,30 m Stammhöhe mit einem Durchmesser-Umfangsmaßband gemessen. Baumhöhe und Hangneigung wurde mit dem VERTEX III (Haglöf) aus meist drei Messungen ermittelt. Zur Vermessung der Kronenradien in den vier Haupthimmelsrichtungen wurde die Tangential-Hochblick-Methode angewandt, wobei zusätzlich

zum VERTEX III ein Inklinometer (PM-5/1520pc opti height, SUUNTO) zum Einsatz kam. Im Falle eines stark überhängenden Baumes, wurde die relative Position der Kronenmitte zum Stamm bestimmt.

Das Mikrorelief wurde klassifiziert (eben, leicht konkav, konkav, leicht konvex, konvex), die Hangneigung und deren Richtung gemessen. Des Weiteren wurde der Verlauf / die Richtung von Wegen, Gräben, Flüssen oder ähnlichem in unmittelbarer Umgebung notiert und skizziert. Als sichtbare Schäden wurden beispielsweise große Astabbrüche, Totholz im Kronenanteil, Rindenverletzungen und viele mehr aufgenommen.

4.2.2 Datenaufnahme im Labor

Die getrockneten Bohrkerne wurden in Halterungsleisten geklemmt und ausgerichtet, so dass die Poren vertikal angeordnet sind. Um die Jahrringgrenzen deutlich zu sehen, wurde die Oberfläche mit Skalpellklingen bearbeitet. Vom Schleifen der Oberfläche wurde abgesehen, um einen mit dem Schleifen verbundenen Stofftransport entlang des Bohrkerns und daraus resultierende Kontaminationen zu vermeiden, da zum Zeitpunkt noch nicht geklärt war, ob und welche zukünftigen Analysen an den Proben vorgenommen werden.

Die Vermessung der Jahrringbreiten erfolgte mittels Messtisch LINTAB 6 und dem Programm TSAPWin Professional 4.64© 2002-2009 Frank Rinn / RINNTECH. Mit diesem Messsystem konnten die Jahrringweiten auf 1/1000 mm genau bestimmt werden. Die Analyse und Kontrolle der gemessenen Sequenzen erfolgte mit den Programmen COFECHA [COOK und PETERS (1981), HOLMES (1983), GRISSINO-MAYER (2001)] und COREM [KNIBBE (2004)].

Um sicher zu sein, dass die in die Analysen eingehenden Daten korrekt datiert sind, wurde aus den einzelnen Sequenzen für jede Art eine Chronologie erstellt (Abbildungen 4.06, 4.07 und 4.08). Mit Hilfe dieser Chronologien und der statistischen Kontrolle der Datierungen mittels COFECHA [COOK und PETERS (1981), HOLMES (1983), GRISSINO-MAYER (2001)] konnten sogenannte „fehlende Jahrringe“ ermittelt und als solche in die Sequenzen eingefügt werden, was vor allem beim Bergahorn der Fall war. Die Tendenz zur Bildung von Jahrringanomalien konnte auch beim Zuckerahorn (*A. saccharum*) durch LORIMER et al. (1999) festgestellt werden, wobei besonders häufig bei unterdrückt wachsenden Ahornen unvollständige

oder fehlende Ringe beobachtet wurden. Fehlende Jahrringe konnten durch Crossdating mit anderen Sequenzen erkannt und korrigiert werden.

Des Weiteren konnte ein eventueller Verlust von wenigen äußeren Jahrringen ermittelt und die Sequenz dementsprechend umdatiert werden, was ebenfalls den Bergahorn betraf. Im Fall der Sequenz von Bergahorn B1514 gingen nur die Messungen der Jahrringbreiten 1991 und davor in die Analysen ein, da die auf 1991 folgenden Jahrringe nicht zweifelsfrei vermessen werden konnten und daher aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen wurden. Die Messwerte der Jahrringbreiten von den in 2010 ausgebildeten Ringen gingen ebenfalls nicht in die Analysen ein, da bedingt durch den Zeitpunkt der Probennahme, diese Jahrringe nicht vollständig ausgebildet waren. Eine detaillierte Dokumentation der durchgeführten Korrekturen ist im Anhang (Tabelle A.2) aufgeführt.

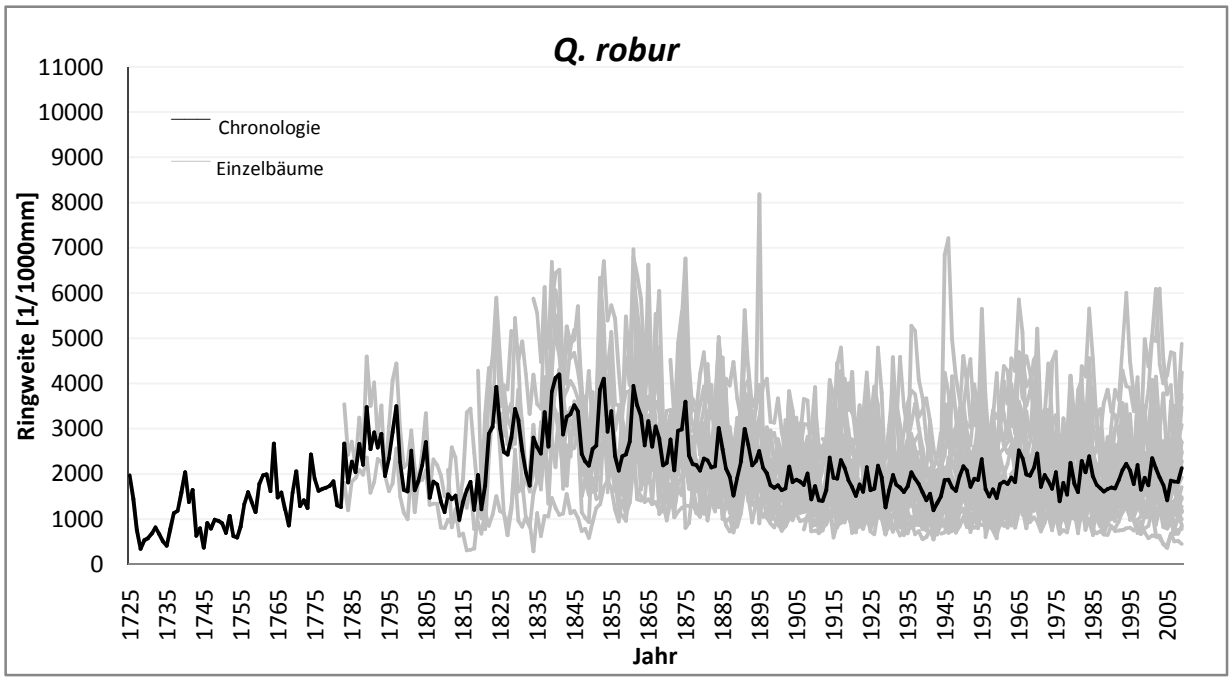

Abbildung 4.06: Chronologie der Stieleiche mit Einzelbaumsequenzen

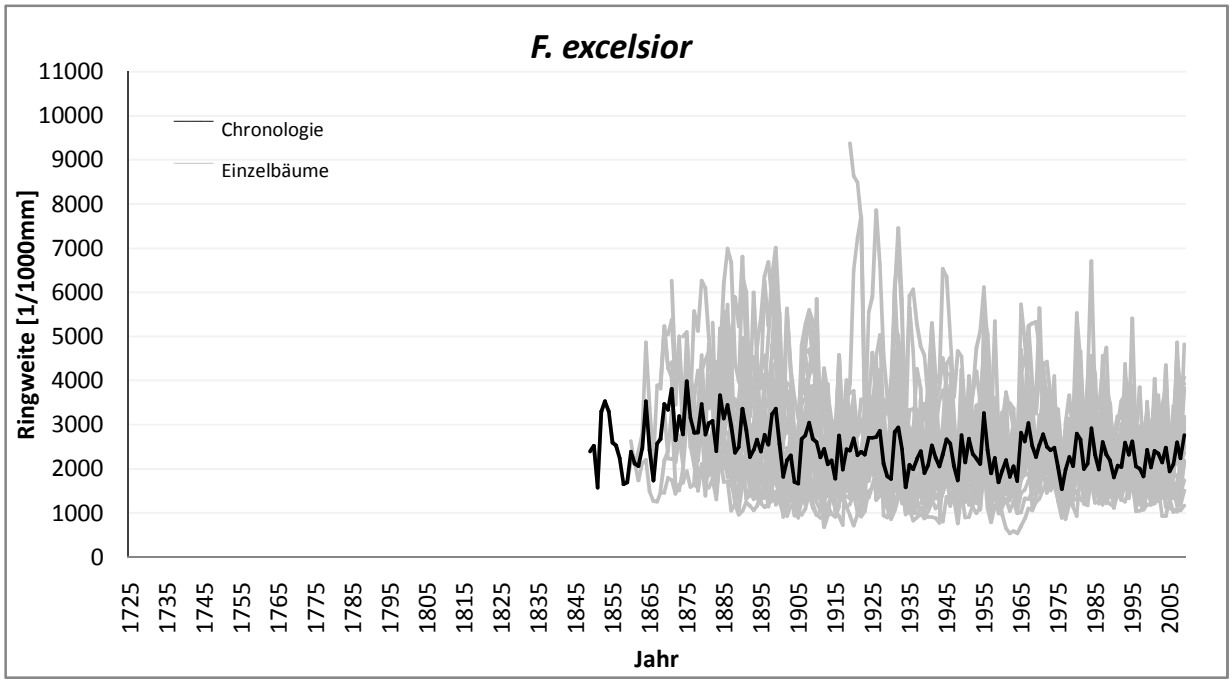

Abbildung 4.07: Chronologie der Gemeinen Esche mit Einzelbaumsequenzen

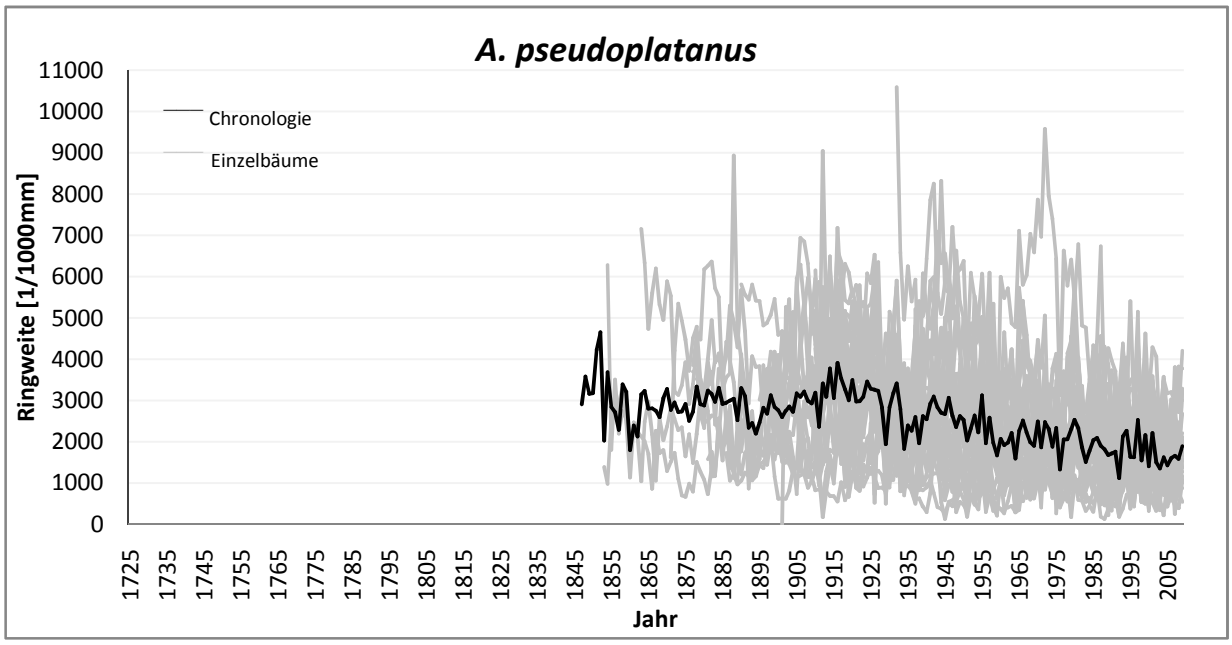

Abbildung 4.08: Chronologie des Bergahorns mit Einzelbaumsequenzen

4.3 Gruppierung der beprobten Bäume

Durch die zufällige Auswahl der Probebäume wurde ein breites Spektrum an Standorten abgedeckt. Dies eröffnet die Möglichkeit, allgemeine Aussagen über das Wachstum der untersuchten Arten im gesamten Leipziger Auenwald zu formulieren.

Ein wichtiges Unterscheidungskriterium bei der Untersuchung der hydrologischen Einflüsse auf das Wachstum stellen standörtliche Unterschiede in Bezug auf die Wasserverfügbarkeit dar. So stehen einige Bäume direkt am Ufer eines Flusses oder in sehr sumpfigem Gelände, während andere keinen oberflächlich erkennbaren Wurzelkontakt zum Grundwasser haben. Infolgedessen wurden die beprobten Bäume jeder Art in zwei Gruppen unterschieden: grundwassernahe und grundwasserferne Bäume. Das Kriterium für die Zuordnung zur ersten Gruppe stellte der Abstand zum nächstgelegenen Oberflächenwasser dar. Dieser sollte den dreifachen mittleren Kronenradius nicht überschreiten, da der Kronenradius etwa der vertikalen Dimension des Wurzelwerks entspricht [KÖSTLER et al. (1968)] und somit auf die Wurzelreichweite schließen lässt. Alle übrigen Bäume wurden der Gruppe der Grundwasserfernen zugeordnet. Somit ergab sich für die „GW nahen“ folgende Gruppenstärken: Stieleiche 15, Esche 5 und Bergahorn 6 Individuen.

4.4 Bearbeitung der Daten

4.4.1 Rekonstruktion des individuellen Alters

Von Bäumen, deren Kern bei der Entnahme der Proben getroffen wurde, lässt sich das Alter sicher durch das Auszählen der Jahrringe vom Kern bis zur Rinde bestimmen. Dies trifft auf je zwei Stieleichen und Eschen und sieben Bergahorne zu.

Das Alter von Bäumen muss hingegen rekonstruiert werden, wenn die Probe den Kern nicht enthält. Als Ursache für das Fehlen des Kerns in der Probe sind z.B. eine fortgeschrittene Kernfäule, die Entnahme eines zu kurzen Bohrkerns aber auch, und vor allem bei nicht konzentrisch gewachsenen Bäumen, eine daraus resultierende Abweichung von der radialen Bohrachse mit zunehmender Bohrtiefe, zu nennen. Es konnte bei elf Eichen, zwei Eschen und vier Ahornen Kernfäule registriert werden. Die Ursache für das Fehlen des Kerns kann man an der Probe eindeutig anhand des Jahrringverlaufs und der -richtung identifizieren. Da der Fokus

dieser Arbeit vielmehr auf der Analyse der Wachstumsreaktionen in den letzten 100 Jahren liegt als auf einer genauen Altersbestimmung, wurden die Bäume nach Möglichkeit nur einmal angebohrt, um das Infektionsrisiko nicht unnötig zu erhöhen. Bei 79 der beprobten Bäume war somit eine Rekonstruktion des Alters erforderlich.

Die Rekonstruktion des Alters erfolgte auf der Grundlage der gemessenen BHD, der vermessenen Bohrkernlängen, der geschätzten Rindenstärke und der Wachstumsdaten vollständig beprobter Bäume. Die rekonstruierten Altersangaben beziehen sich auf den geometrischen Mittelpunkt als Kern in Brusthöhe (1,30 m Höhe). Alle Altersangaben sind als minimales Alter zu verstehen, da die einzelnen Bäume sicherlich unterschiedlich lang wuchsen, um diese Höhe von 1,30 m zu erreichen.

Die Rindenstärke wurde für jede der drei Baumarten, ausgehend vom Probenmaterial, konstant vom Radius subtrahiert. Für *Q. robur* und *F. excelsior* wurde eine Rindenstärke von 1,5 cm angenommen, für *A. pseudoplatanus* ist sie hingegen mit 1 cm gerechnet worden.

Ausgehend von der Differenz der Bohrkernlänge zum gesamten Radialwachstum, errechnet aus dem halben BHD abzüglich der Rinde, wurde anhand des altersabhängigen Wachstums, basierend auf den Daten vollständig bis zum Kern beprobter Bohrkerne, die Anzahl der fehlenden Jahrringe rekonstruiert und mit der Anzahl der vermessenen Jahrringe addiert. Dies ergibt dann das minimale Alter des Baumes.

4.4.2 Statistische Methoden und Standardisierung

In den Jahrringdaten sind sehr viele Informationen über vergangene Umwelteinflüsse verborgen, die in „Signal und Rauschen“ unterteilt werden können. Diejenigen Informationen, die für die Untersuchung des Grundwassereinflusses auf das Baumwachstum relevant sind, müssen zunächst von den Störungen separiert werden. Solche Störfaktoren sind zum Beispiel das altersabhängige Wachstum, Konkurrenz oder Durchforstungsmaßnahmen [COOK et al. (1990)]. Das Signal wurde mittels verschiedener Standardisierungen extrahiert. Diese wurden mit Microsoft Excel (2007) und dem Programm R [CRAWLEY (2007), SCHLITTGEN (2004)] durchgeführt. Um auf signifikante Unterschiede zu testen, wurde WinSTAT, eine Statistikerweiterung zu Excel genutzt.

4.4.2.1 Berechnung der Sensitivität

Die Sensitivität gibt an, wie stark sich die Ringweite von einem Jahr zum nächsten ändert. Mit Hilfe der Sensitivität können Rückschlüsse darauf gezogen werden, wie ausgeglichen oder extrem die Wachstumsbedingungen sind [SCHWEINGRUBER (1988)]. Dies kann zum Vergleich verschiedener Arten, Standorte oder Perioden dienen. Die Sensitivität kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$S_{i+1} = \frac{(x_{i+1} - x_i) \cdot 2}{(x_{i+1} + x_i)} \tag{1}$$

Der Mittelwert der Sensitivität wird mit Hilfe von Gleichung 2 berechnet.

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |S_i + 1|}{n-1} \tag{2}$$

4.4.2.2 Standardisierung und Indexbildung

Durch Standardisierung oder Indexbildung können Langzeittrends, die auf bio-ökologischen oder mikrostandörtlichen Faktoren beruhen, herausgefiltert werden. Die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messreihen wird erhöht [SCHWEINGRUBER (1988), COOK et al. (1990)]. Diese Indices werden berechnet, indem der aktuelle Wert der Rohdaten durch den entsprechenden Wert der standardisierten bzw. geglätteten Kurve dividiert wird (Gleichung 3).

$$I_t = \frac{x_i}{\hat{x}_i} \tag{3}$$

Bei der Standardisierung von Ringweiten wird ein Quotient gebildet, da die Schwankungen von der Weite abhängig sind: Bei größeren Breiten der Ringe nehmen auch die Schwankungen zu. Die Indexwerte bewegen sich um den Mittelwert 1.

Die Glättung der Rohdaten erfolgte im Programm R [CRAWLEY (2007), SCHLITTGEN (2004)] über das Generalized Additive Model (GAM). Dabei wurde für jeden einzelnen Baum eine Glättungskurve erstellt und anschließend die Einzelbaumindices, wie in Gleichung (3) angegeben, berechnet. Diese wurden dann gemittelt und drei verschiedene Gruppen gebildet: alle Bäume einer Art, nur die grundwassernahen Bäume einer Art und die grundwasserfernen. Somit ergaben sich pro Art drei von langfristigen, nicht klimatisch bedingten Einflüssen befreite Zeitreihen, anhand derer die Analyse des Klimaeinflusses auf das Baumwachstum durchgeführt wurde.

4.4.3 Korrelation des Wachstums mit den klimatischen Bedingungen

Für jede der untersuchten Baumarten wurde der Zusammenhang des Radialwachstums mit dem Klima analysiert. Die erstellten Indexwerte wurden in R [CRAWLEY (2007), SCHLITTGEN (2004)] mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag verglichen. Dabei wurde jeweils zwischen folgenden Perioden unterschieden: gesamtes Jahr (Januar bis Dezember), Winter (Dezember bis Februar), Frühjahr (März bis Mai), Sommer (Juni bis August) und Herbst (September bis November). Diese Variablen wurden jeweils für das Jahr, in dem der Ring gebildet wurde, und das Jahr vor der Ringbildung berechnet. Anschließend wurden die Korrelationen nach Pearson kalkuliert.

Die Bildung der Korrelationskoeffizienten erfolgte jeweils für drei Gruppen pro Art: alle Bäume, Grundwassernahe und Grundwasserferne. Außerdem wurden drei verschiedene Zeiträume untersucht: das gesamte Intervall für das Klimadaten zur Verfügung standen (1900 bis 2009), den Zeitraum der Grundwasserabsenkung (1945 bis 1985) und die Periode nach dem Wiederanstieg des Grundwasserspiegels (1990 bis 2009).

5 Ergebnisse

5.1 Artspezifische Jahrringchronologien

Von den je 30 vermessenen Jahrringsequenzen wurden artspezifische Chronologien erstellt. Diese sind in den Abbildungen 5.01, 5.02 und 5.03 unstandardisiert dargestellt.

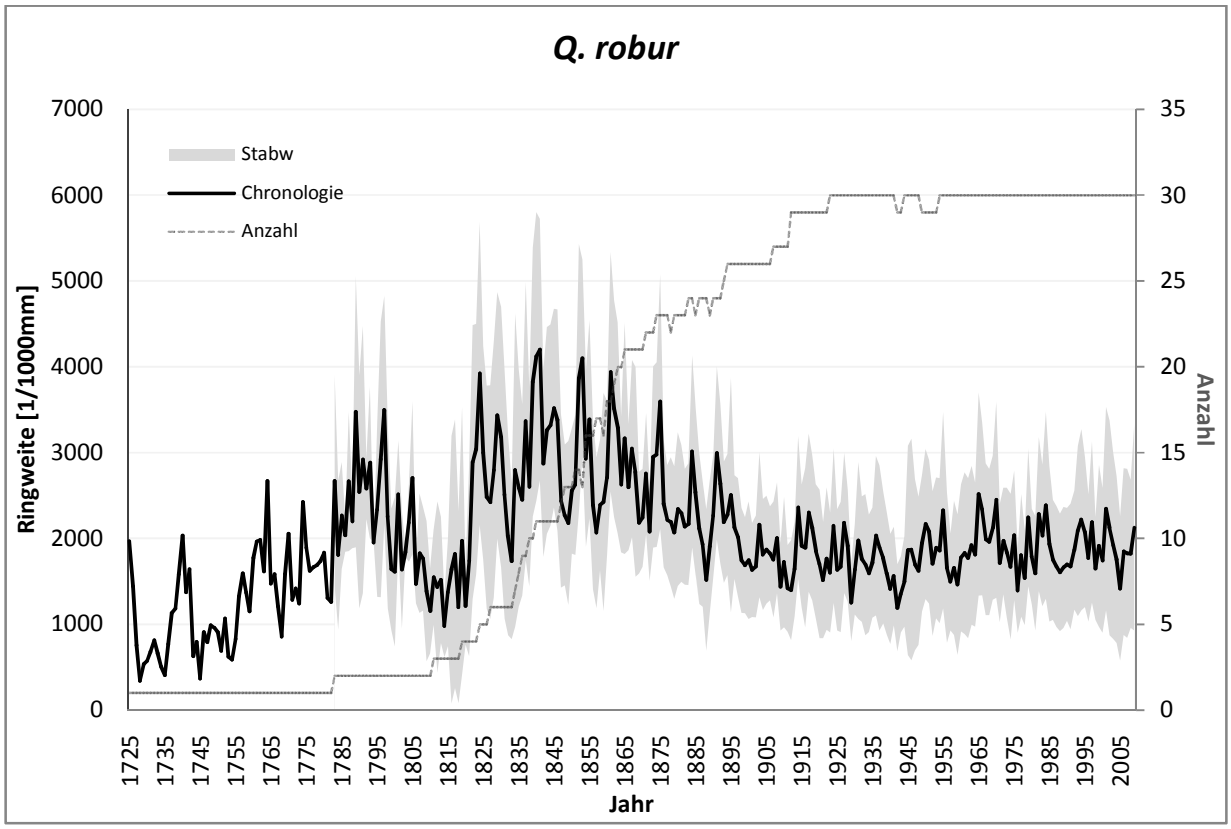

Abbildung 5.01: Chronologie der Stieleiche

Die Chronologie der Stieleiche, die in Abbildung 5.01dargestellt ist, wurde aus den Messungen von 30 Einzelbäumen erstellt. Im Zeitraum von 1838 bis 2009 wird sie durch mindestens zehn Sequenzen gebildet. Die mittlere Ringweite ist $2{,}46 \pm 1{,}142$ mm. Die Korrelation der vermessenen Proben beträgt 0,578 und die mittlere Sensitivität 0,225. Die Chronologie wird zudem durch folgende Weiserjahre gestützt: 1888, 1929 und 1976.

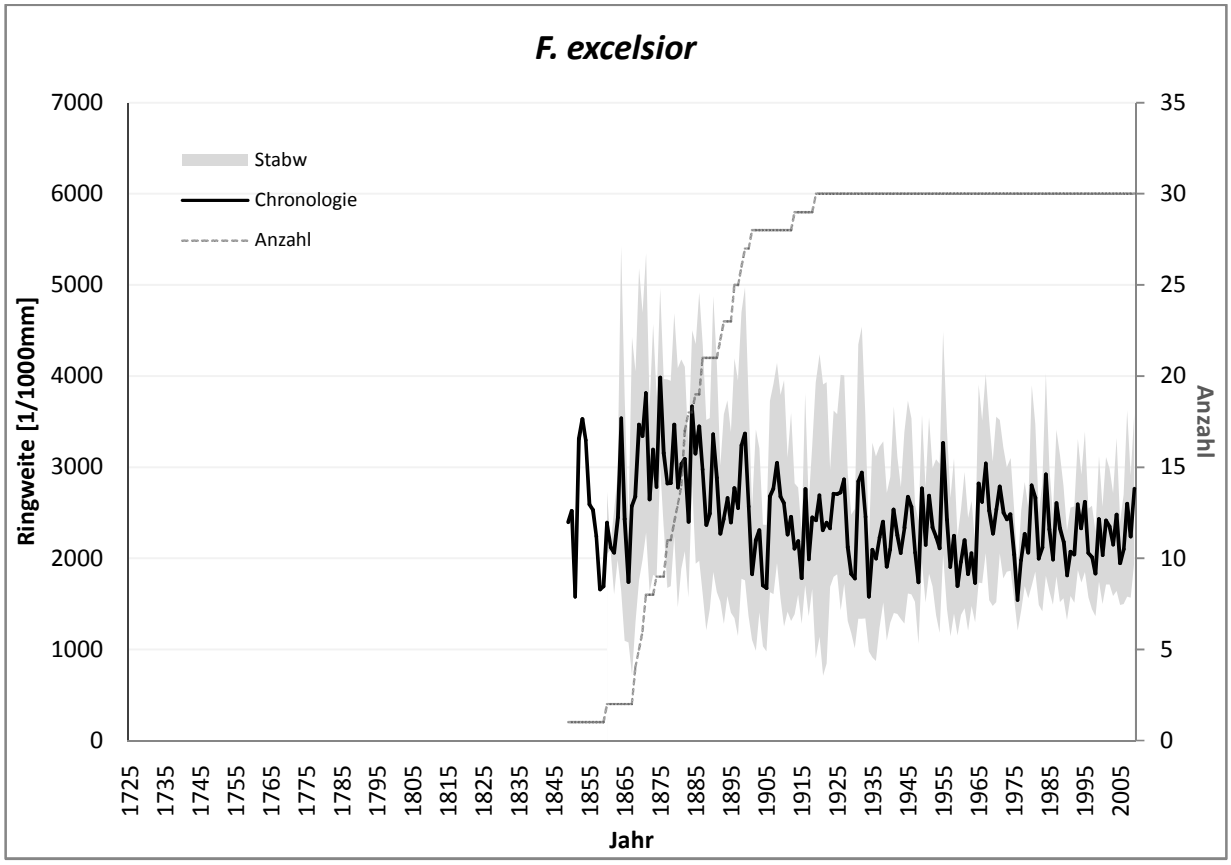

Abbildung 5.02: Chronologie der Gemeinen Esche

Die 30 vermessenen Proben von *F. excelsior* bilden eine Chronologie, die eine Korrelation von 0,586 besitzt (Abbildung 5.02). Die mittlere Sensitivität beträgt 0,228. Von 1877 bis 2009 wird die Chronologie von mindestens zehn Sequenzen gebildet. Die durchschnittliche Ringbreite misst 2,8 ± 1,099 mm. Weiserjahre, die die Datierung der Proben sichern, sind 1883, 1916, 1950 und 1976.

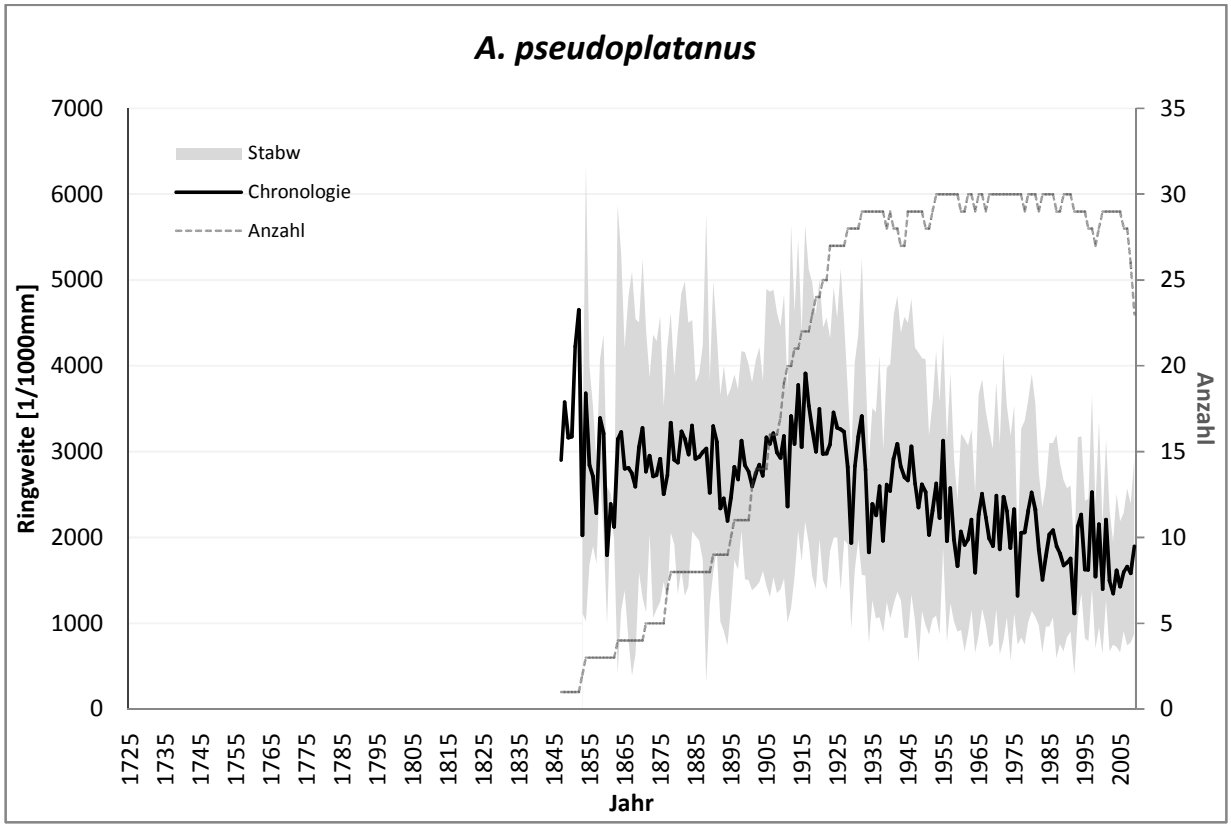

Abbildung 5.03: Chronologie des Bergahorns

Die Chronologie von *A. pseudoplatanus* wurde aus 30 Einzelsequenzen erstellt (Abbildung 5.03). Im Zeitraum von 1895 bis 2009 wird sie von mindestens zehn Proben gebildet. Die Korrelation beträgt in diesem Zeitraum 0,446 und die mittlere Sensitivität ist 0,355. Die mittlere Weite der Jahrringe liegt bei 2,6 ± 1,3 mm. Anhand der folgenden Weiserjahre konnte die Datierung der vermessenen Bohrkerne gesichert werden: 1929, 1956, 1976 und 2000.

5.2 Rekonstruktion des individuellen Alters

5.2.1 Alterstrend des radiären Zuwachses

Für jede der drei untersuchten Arten wurde der artspezifische Alterstrend, wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben, rekonstruiert. Dies ist in den Abbildungen 5.04, 5.05 und 5.06 veranschaulicht. In der Forstwirtschaft wird die Zuwachsfunktion eines Baumes während seines Lebens wie folgt angenommen: Das Wachstum nimmt rasch bis zu einem Maximum zu; dann erfolgt zunächst eine schnelle und später eine langsamere Reduktion des Wachstums [WENK et al. (1990)]. Dieses Bild wird mehr oder weniger deutlich von den Graphiken des altersabhängigen Wachstums widergespiegelt. So werden in der juvenilen Phase relativ große Jahrringweiten erreicht, welche im Alter abnehmen.

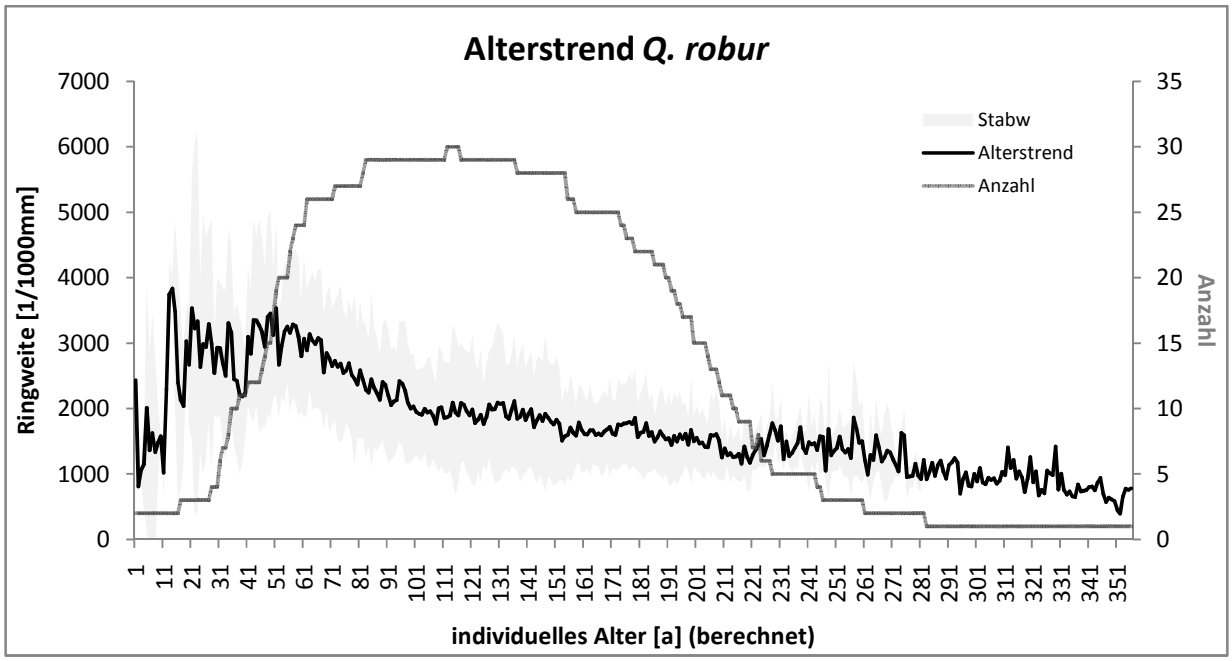

Abbildung 5.04: Artspezifischer Alterstrend der Stieleiche mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Die Stieleiche erreicht ihre größten Jahrringweiten im Alter von etwa 35 bis 45 Jahren. Dann erfolgt ein relativ starker Abfall der Zuwachsgeraden bis ein Alter von etwa 100 Jahren erreicht wird. Danach verläuft das jährliche Wachstum mehr oder weniger konstant, wobei ein Trend zur Reduzierung der radialen Zuwächse besteht.

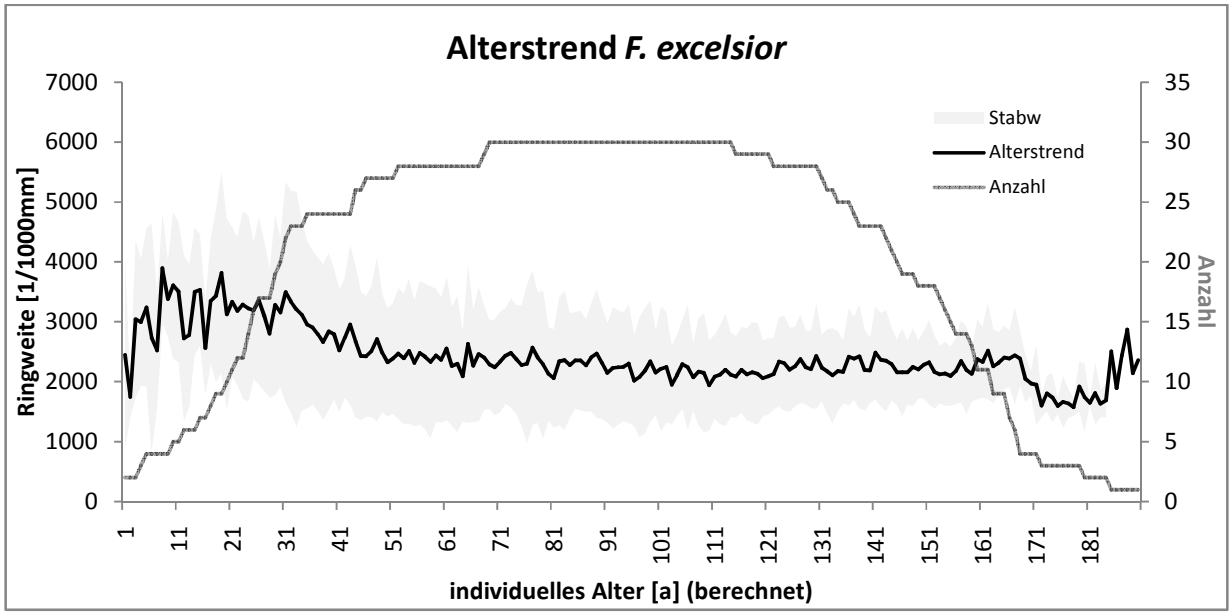

Abbildung 5.05: Artspezifischer Alterstrend der Gemeinen Esche mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Die Gemeine Esche zeigt ein sehr ausgeglichenes Wachstum über die gesamte Lebensspanne. Bis zum Alter von etwa 30 Jahren sind die Zuwächse leicht erhöht. Im Alter von etwa 50 bis 170 Jahren sind die Zuwächse gleichbleibend. Die Datenlage bietet keinen Hinweis darauf, dass das Radialwachstum der Esche ab einem bestimmten Alter reduziert wird. Allerdings nimmt die Anzahl der beprobten Eschen, die in die Berechnung eingehen im Alter von etwa 160 Jahren deutlich ab. Innerhalb von nur zehn Jahren sinkt die Probengröße von einem Drittel auf ein Zehntel der gesamten Eschenanzahl.

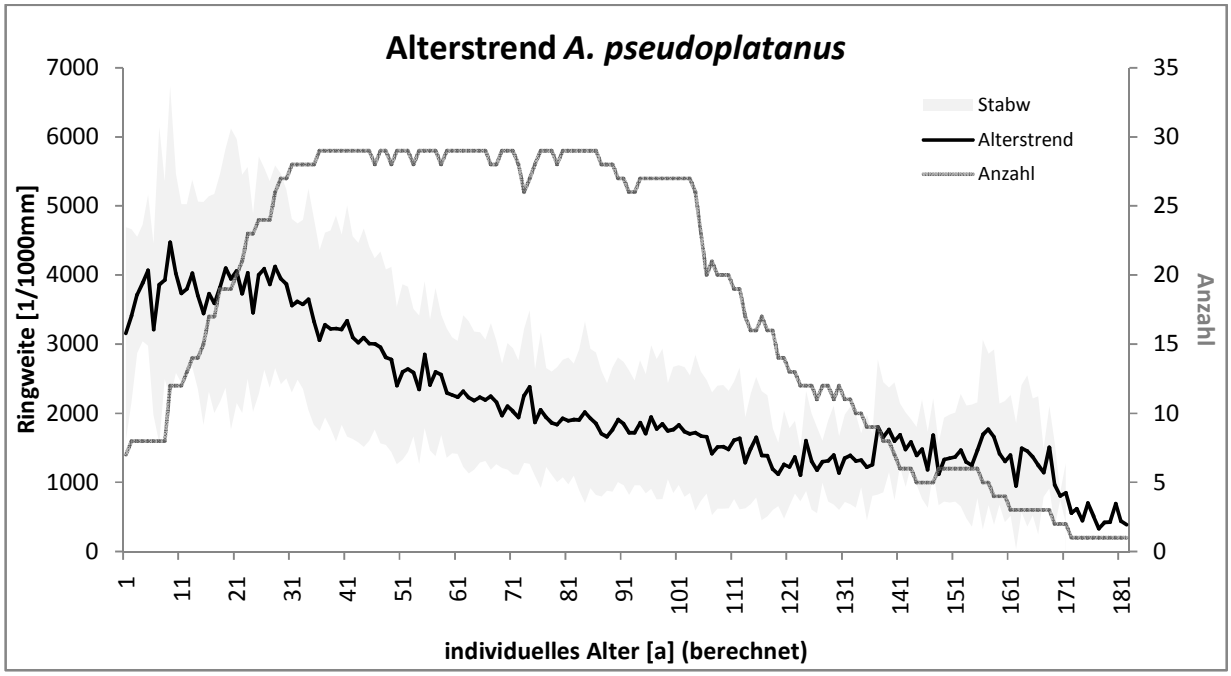

Abbildung 5.06: Artspezifischer Alterstrend des Bergahorns mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Der Bergahorn erreicht in seiner juvenilen Phase deutlich größere Zuwächse als in späteren Jahren. In einem Alter von etwa 40 Jahren sinkt die Wachstumskurve recht stark ab. Dieser Abfall verringert sich erst in einem Alter von etwa 100 Jahren. Dann bleibt das Radialwachstum bis zum Alter von 160 konstant, bis schließlich nur noch sehr geringe Zuwächse zu verzeichnen sind.

Der Kurvenverlauf des jährlichen Radialzuwachses wie er in den Abbildungen 5.04, 5.05 und 5.06 dargestellt ist, hängt maßgeblich mit der Geometrie des Baumes zusammen. Denn obwohl die späteren Jahrringe dünner sind als die jüngeren, wird doch vergleichsweise mehr Holz aufgebaut, was im nachfolgenden Kapitel 5.2.2 gezeigt wird. Dies liegt daran, dass der Umfang mit jedem Jahr zunimmt und somit eine größere Fläche gebildet werden muss als bei einem geringeren Durchmesser, um die gleiche Jahrringweite zu erhalten.

In Abbildung 5.07 ist das rekonstruierte Alter der beprobten Bäume zusammengefasst. Demnach war der Bergahorn im Mittel 123 ± 6,8 Jahre alt, während die Esche ein Durchschnittsalter von 153 ± 6,9 Jahren erreichte. Der Bestand der Stieleiche ist mit durchschnittlich 204,2 ± 7,7 Jahren deutlich älter.

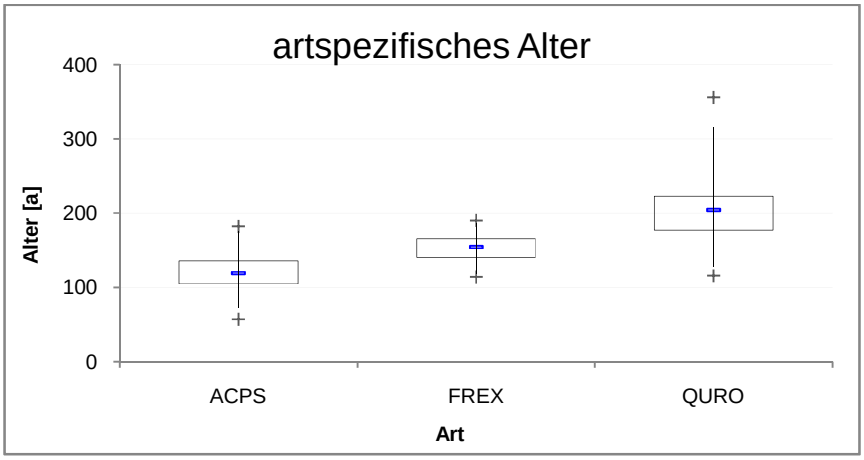

Abbildung 5.07: Artspezifisches Alter des Bergahorns (ACPS), der Gemeinen Esche (FREX) und der Stieleiche (QURO)

5.2.2 Altersabhängiger Grundflächenzuwachs

Das Radialwachstum ist nicht nur in Bezug auf die jährlichen Ringweiten vom Alter des Baumes abhängig. Auch der Grundflächenzuwachs unterscheidet sich in den verschiedenen Wachstumsphasen.

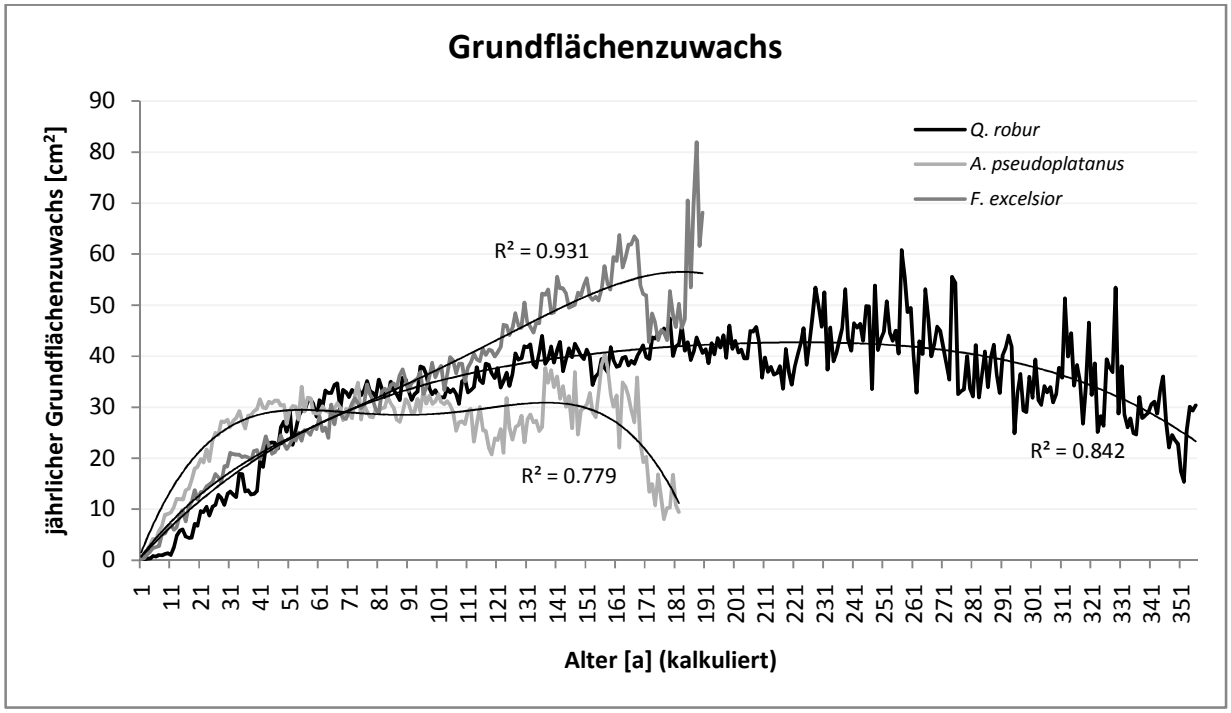

Abbildung 5.08: Jährlicher Grundflächenzuwachs der untersuchten Arten

In Abbildung 5.08 ist der Grundflächenzuwachs aller drei untersuchten Arten dargestellt. Dabei kommt ein sehr unterschiedliches Wuchsverhalten zum Ausdruck. In der juvenilen Phase gibt es nur relativ geringfügige Abweichungen. Ab einem Alter von etwa 100 Jahren zeigt sich eine starke artspezifische Differenzierung.

Das Wachstum von *A. pseudoplatanus* hebt sich in den ersten 40 Jahren deutlich durch einen sehr steilen Anstieg hervor. Allerdings wird dann schnell das Maximum erreicht und anschließend verläuft die Kurve sehr konstant weiter, bis schließlich das Wachstum stark reduziert wird.

Die Gemeine Esche zeigt ein anderes Wachstumsverhalten, als es allgemein zu erwarten wäre: Sie steigert ihren Flächenzuwachs recht konstant über die gesamte Zeitspanne, die mit den gemessenen Daten abgedeckt werden konnte. Es gibt keinen Hinweis, dass das Wachstum von *F. excelsior* reduziert wird.

Q. robur unterscheidet sich aufgrund der größeren Lebenserwartung deutlich von den beiden anderen Arten. Auch in der juvenilen Phase kann eine Differenzierung festgestellt werden. So verläuft der Anstieg zunächst deutlich flacher als der von Bergahorn und Esche, allerdings nimmt der Zuwachs stetig zu, sodass dieser im Alter von etwa 70 Jahren größer als der des Bergahorns ist. Der leichte Anstieg des Flächenwachstums bleibt bis ins Alter von über 250 Jahren erhalten und nimmt dann erst langsam ab. So erzielt die Stieleiche auch noch im stattlichen Alter von über 350 Jahren deutliche Zuwächse.

In Tabelle 5.1 sind die durchschnittlichen Flächenzuwächse jeweils einer Dekade für die drei untersuchten Arten aufgelistet. Diese wurden mit den Gleichungen der Regressionsgeraden aus Abbildung 5.08 errechnet, die mit dem Programm *Easy*Plot™ for Microsoft Windows erstellt wurden.

Tabelle 5.1: Altersabhängiger Grundflächenzuwachs im dekadischen Mittel von Stieleiche, Gemeiner Esche und Bergahorn

Alter	*Q. robur* [cm^2]	*F. excelsior* [cm^2]	*A. pseudoplatanus* [cm^2]
1-10	3.35	3.92	7.36
11-20	8.94	10.03	17.49
21-30	13.84	14.94	23.85
31-40	18.13	18.96	27.40
41-50	21.88	22.33	29.02
51-60	25.13	25.27	29.42
61-70	27.94	27.98	29.18
71-80	30.36	30.59	28.77
81-90	32.45	33.20	28.49
91-100	34.24	35.90	28.53
101-110	35.77	38.70	28.93
111-120	37.07	41.61	29.61
121-130	38.18	44.58	30.35
131-140	39.13	47.53	30.78
141-150	39.93	50.33	30.43
151-160	40.61	52.84	28.65
161-170	41.18	54.86	24.70
171-180	41.66	56.15	17.67
181-190	42.05	56.44	
191-200	42.35		
201-210	42.57		
211-220	42.69		
221-230	42.72		
231-240	42.64		
241-250	42.44		
251-260	42.09		
261-270	41.57		
271-280	40.86		
281-290	39.91		
291-300	38.71		
301-310	37.20		
311-320	35.35		
321-330	33.10		
331-340	30.41		
341-350	27.23		

Im kumulativen Verlauf des Flächenwachstums, dargestellt in Abbildung 5.09, ist bei *Q. robur* und *F. excelsior* kein Abfall der Produktivität zu erkennen. Beide Arten verzeichnen nach einem flachen Anstieg in der juvenilen Phase bis zum Alter von etwa 50 Jahren eine stetige Zunahme. Der Bergahorn verläuft in der Jugend etwas steiler als die beiden anderen Arten und erreicht im Alter von 160 Jahren einen Wendepunkt, nachdem der lineare Verlauf leicht abgeflacht wird. Allerdings bietet die Datenlage keine Sicherheiten zum weiteren Verlauf dieser Zuwachskurven.

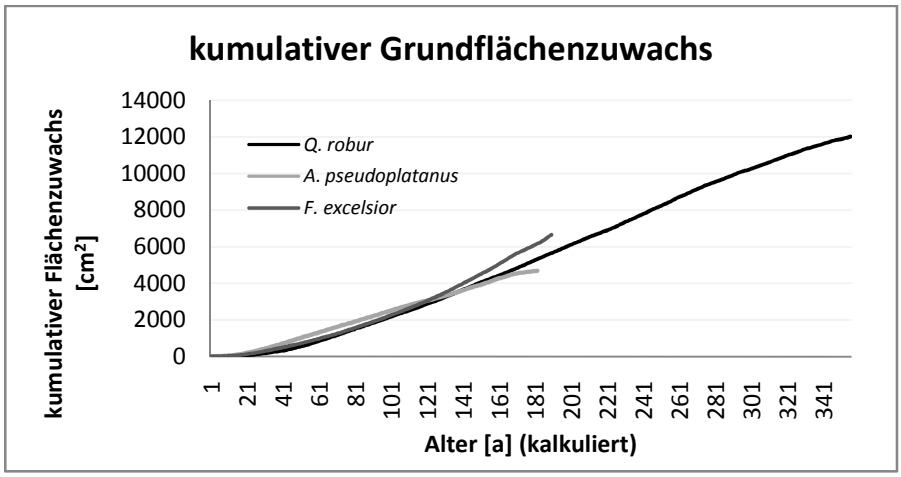

Abbildung 5.09: Kumulativer Grundflächenzuwachs der untersuchten Arten

5.3 Einfluss der Grundwassernähe auf das Baumwachstum

Die Nähe eines Baumes zum Grundwasser beeinflusst sehr wahrscheinlich seine Wachstumsreaktion, wenn es zu Schwankungen des Grundwasserspiegels in der Umgebung kommt. Aus diesem Grund wurden die Arten in jeweils zwei Gruppen unterteilt: grundwassernahe und grundwasserferne Bäume. In den Abbildungen 5.10, 5,11 und 5.12 sind die standörtlichen Wachstumsunterschiede für die drei Arten dargestellt.

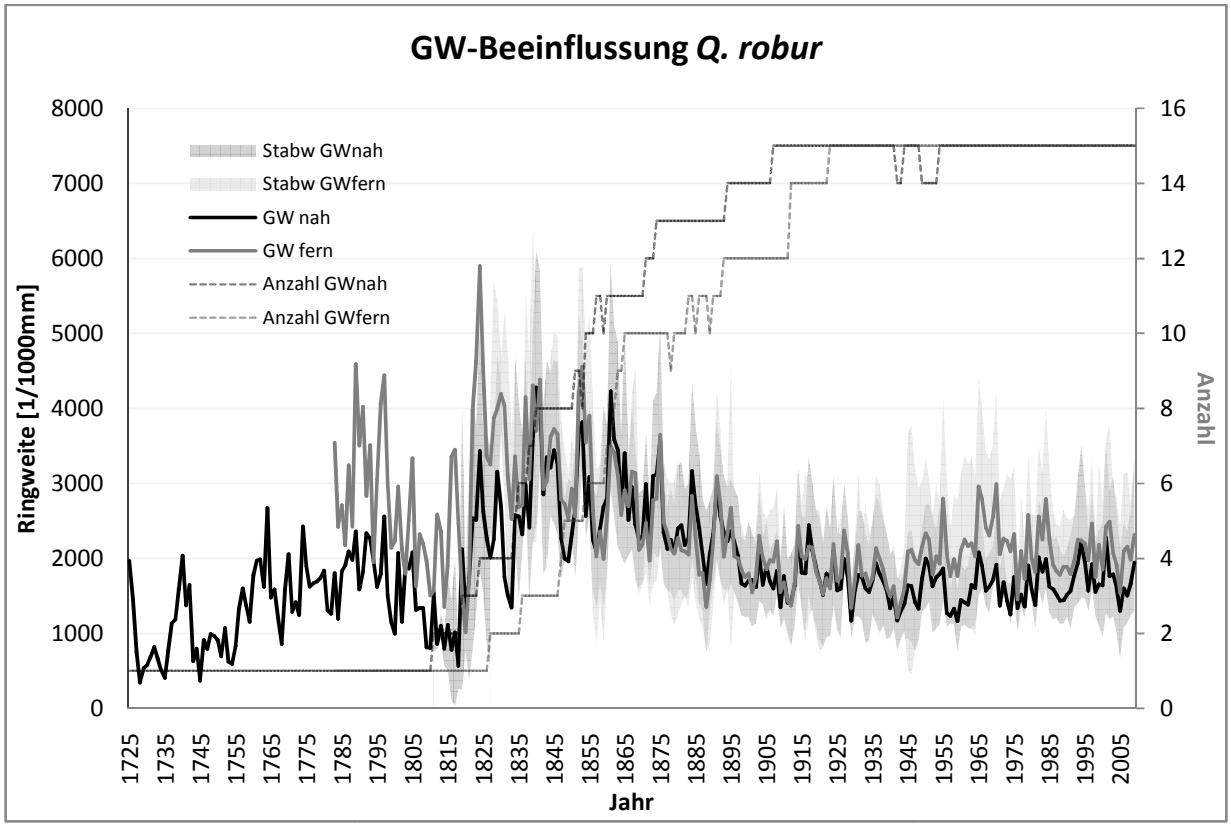

Abbildung 5.10: Radialwachstum der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Beide Gruppen der Stieleiche, die in Abbildung 5.10 dargestellt sind, zeigen einen altersabhängigen Wachstumstrend. Der Verlauf dieser beiden Kurven ist ab ca. 1850 bis 1945 sehr ähnlich. Die früheren Unterschiede beruhen auf der geringen Probenstärke. Im Zeitraum von 1945 bis 1990 zeigen diejenigen Stieleichen, die keinen Wurzelkontakt zum Grundwasser haben, ein deutlich besseres Wachstum als grundwassernahe *Q. robur*. In der darauf folgenden Periode gleichen sich die Wachstumskurven wieder aneinander an.

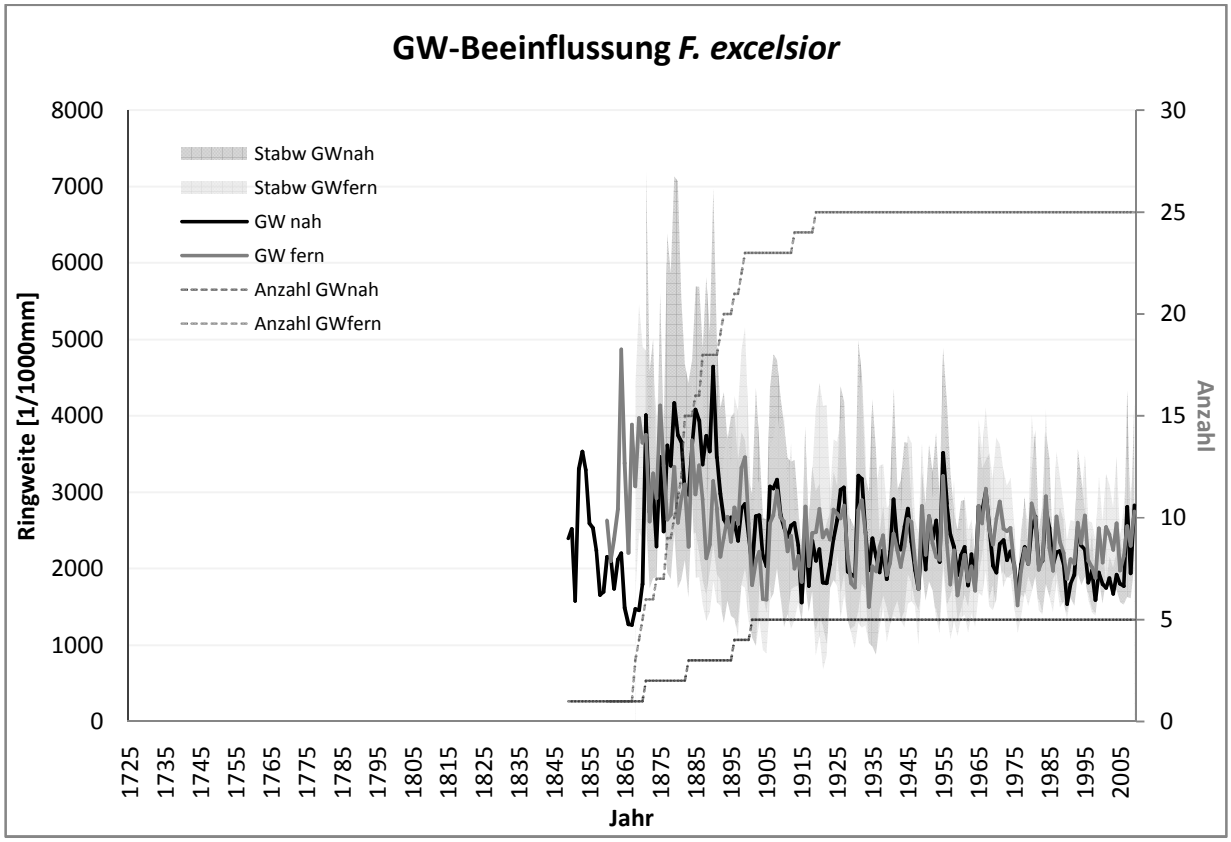

Abbildung 5.11: Radialwachstum der grundwassernahen und grundwasserfernen Gemeinen Eschen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Auch *F. excelsior* zeigt im Verlauf ihrer Wachstumskurven größere Ringbreiten im 19. Jahrhundert als im 20. Jahrhundert, was auf das Alter der Bäume zurückgeführt werden kann. Vergleicht man das Wachstum derjenigen Eschen, die durch ihren Standort vom Grundwasser beeinflusst sind, mit den grundwasserfernen Eschen, dann sind nur geringe Differenzen auszumachen (Abbildung 5.11). Die Grundwassernähe scheint keinen Einfluss auf die jährlichen Zuwächse zu haben. Nur zu Beginn der 1990er Jahre haben grundwassernahe Bäume ein deutlich reduziertes Wachstum, was sich jedoch schnell wieder dem alten Niveau angleicht.

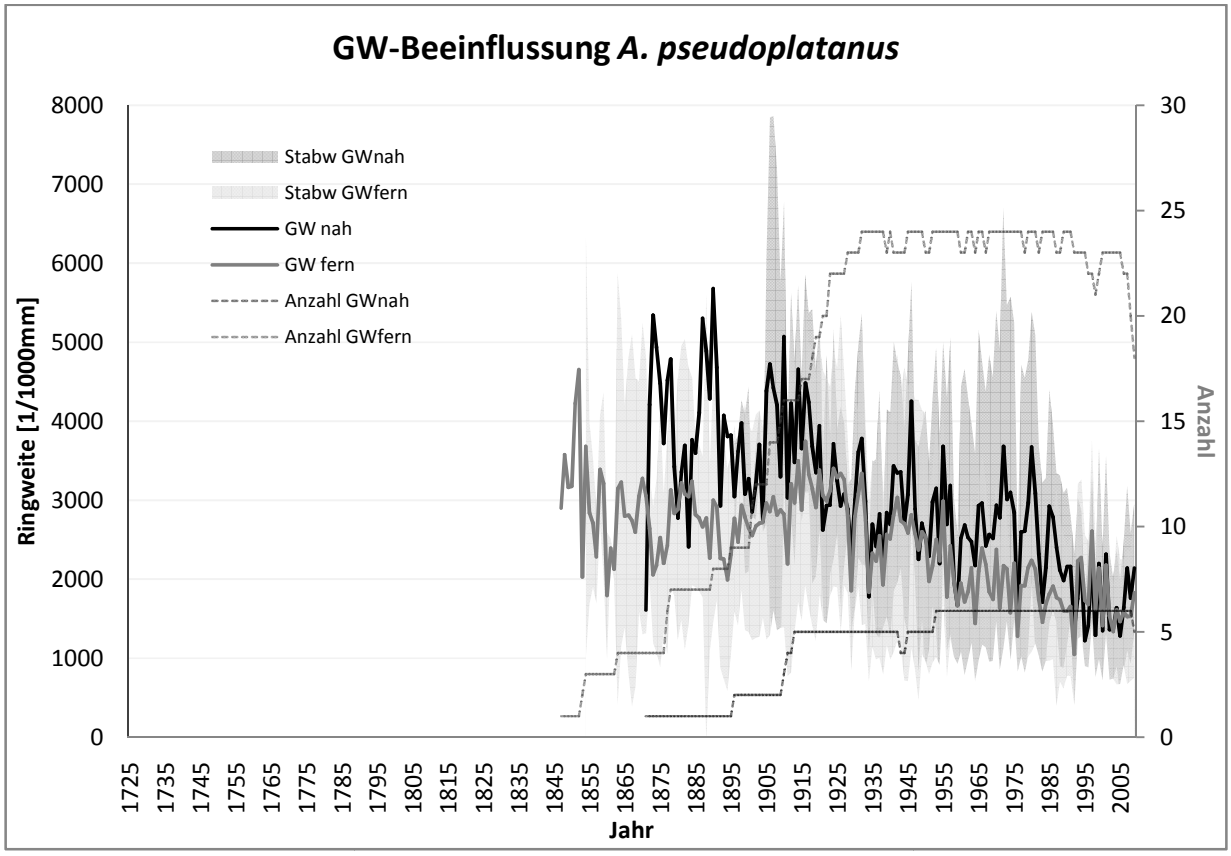

Abbildung 5.12: Radialwachstum der grundwassernahen und grundwasserfernen Bergahorne mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Auch beim Bergahorn sind wie bei *Q. robur* Unterschiede im Radialwachstum zwischen den beiden Gruppen zu erkennen (Abbildung 5.12). Allerdings liegt hier eine gegenteilige Tendenz vor. Denn diejenigen Individuen von *A. pseudoplatanus*, die nah am Wasser wachsen, zeigen besonders im Zeitraum von 1960 bis 1990 breitere Jahrringe als die, die keinen ständigen Kontakt zum Grundwasser aufrechterhalten können. Nach 1990 allerdings verlaufen beide Kurven sehr ähnlich. Die großen Differenzen im 19. Jahrhundert werden wahrscheinlich durch die geringe Probenstärke verursacht. Der Alterstrend macht sich ebenfalls bemerkbar: Bis etwa 1920 werden größere Jahrringe gebildet. Später verringern sich die Zuwächse tendenziell.

Die jährlichen Zuwächse der drei untersuchten Arten wurden mittels t-Test auf signifikante Unterschiede zwischen den grundwasserbedingten Gruppen geprüft. Dies ist in Tabelle 5.2 angegeben.

Tabelle 5.2: Vergleich der Mittelwerte der Jahrringweiten über die gesamte Länge der vermessenen Sequenzen von grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen, Gemeinen Eschen und Bergahornen

Art	GW nah [1/1000 mm]	GW fern [1/1000 mm]	t-Wert	FG	P
Q. robur	1824.54 ± 703.00	2423.85 ± 788.73	9.077	510	**$2.4 \cdot 10^{-18}$**
F. excelsior	2433.38 ± 626.58	2493.76 ± 539.99	0.907	309	0.365
A. pseudoplatanus	3023.70 ± 969.36	2479.58 ± 627.78	-5.868	300	**$1.2 \cdot 10^{-8}$**

Die in Tabelle 5.2 zusammengefassten Mittelwerte und die Ergebnisse des t-Tests bestätigen das Bild, das die Abbildungen 5.10, 5.11 und 5.12 gezeigt haben. Die drei Arten unterscheiden sich nur geringfügig bezüglich ihrer mittleren Ringweiten, wenn sie nicht ständig durch Grundwasser beeinflusst werden. Stehen Bäume allerdings ständig in Kontakt zum Grundwasser, dann ergeben sich deutliche Differenzen zwischen den Arten: Die Eiche zeigt ein vermindertes Wachstum, während der Bergahorn deutlich größere Jahrringe bildet. Dies wird auch durch den durchgeführten Varianztest bestätigt, der hier signifikante Unterschiede zwischen grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen und Ahornen zeigt. *F. excelsior* hingegen zeigt an beiden Standorten intermediäres Wachstum.

In Tabelle 5.3 sind die Ergebnisse eines zweiten t-Tests aufgeführt. Hier wurde untersucht, ob sich das Wachstum innerhalb einer Gruppe in Bezug auf die anthropogen verursachte Grundwasserschwankung unterscheidet. Dazu wurden die Perioden 1945 bis 1985 als Phase der Grundwasserabsenkung und 1990 bis 2009 als Phase des Wiederanstiegs differenziert.

Tabelle 5.3: Vergleich der mittleren Ringweiten der untersuchten Arten nach Standortgruppierung innerhalb der Perioden 1945 - 1985 und 1990 - 2009

Art	GW-Einfluss	1945-1985 [1/1000 mm]	1990-2009 [1/1000 mm]	t-Wert	FG	P
Q. robur	GW fern	2198.62 ± 341.56	2074.56 ± 251.28	1.442	59	0.154
	GW nah	1608.08 ± 246.37	1734.49 ± 243.01	-1.889	59	0.064
F. excelsior	GW fern	2325.59 ± 411.33	2293.66 ± 278.47	0.313	59	0.755
	GW nah	2324.48 ± 387.39	1993.05 ± 368.88	3.185	59	**0.002**
A. pseudo-platanus	GW fern	2072.34 ± 385.77	1730.53 ± 375.17	3.277	59	**0.002**
	GW nah	2711.80 ± 554.62	1753.01 ± 402.29	6.885	59	**$4.2 \cdot 10^{-9}$**

Die in Tabelle 5.3 aufgezeigten Ergebnisse des t-Tests zeigen, dass sich der Zuwachs von *Q. robur* zwar deutlich zwischen den Standorten unterscheidet, allerdings wird dieser nicht durch

den Anstieg des Grundwasserspiegels beeinflusst. Dieses Bild zeigen auch die grundwasserfernen Eschen. Diejenigen Eschen allerdings, die ohnehin schon nah am Grundwasser wachsen, werden in ihrem Wachstum durch einen erhöhten Grundwasserspiegel gehemmt. Die geringe Irrtumswahrscheinlichkeit bestätigt den Eindruck, den Abbildung 5.11 hervorgerufen hat. Das Wachstum von *A. pseudoplatanus* wird in beiden Gruppen stark durch den höheren Grundwasserspiegel beeinflusst, wobei diejenigen Bäume, die ohnehin in Grundwassernähe wachsen, einen deutlichen Einbruch erleiden: Die mittleren Jahrringweiten nehmen von 2,71 mm auf 1,75 mm ab.

Auch innerhalb der Phasen werden die Eindrücke der Wachstumsunterschiede zwischen den grundwassernahen und grundwasserfernen Bäumen von Eiche, Esche und Ahorn, die die Abbildungen 5.10, 5.11 und 5.12 hervorgerufen haben, bestätigt. Dies zeigen die Ergebnisse des t-Tests, die in Tabelle 5.4 aufgelistet sind.

Tabelle 5.4: Mittlere Jahrringweiten der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen, Gemeinen Eschen und Bergahorne in den Perioden von 1945 - 1985 bzw. 1990 - 2009

Art	Periode	GW nah [1/1000 mm]	GW fern [1/1000 mm]	t-Wert	FG	P
Q. robur	1945-1985	1608.08 ± 246.37	2198.62 ± 341.56	8.978	80	**$9.7 \cdot 10^{-14}$**
	1990-2009	1734.49 ± 243.01	2074.56 ± 251.28	4.351	38	**$9.8 \cdot 10^{-5}$**
F. excelsior	1945-1985	2324.48 ± 387.39	2325.59 ± 411.33	0.013	80	0.990
	1990-2009	1993.05 ± 368.88	2293.66 ± 278.47	2.909	38	**0.006**
A. pseudo-platanus	1945-1985	2711.80 ± 554.62	2072.34 ± 385.77	-6.061	80	**$4.2 \cdot 10^{-8}$**
	1990-2009	1753.01 ± 402.29	1730.53 ± 375.17	-0.183	38	0.856

Innerhalb der Periode 1945 bis 1985 gibt es signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen der Eiche und des Bergahorns. Auch die Phase 1990 bis 2009 zeigt deutliche Unterschiede bei *Q. robur* auf. Diese wachsen in beiden Zeiträumen besser, wenn es keinen ständigen Kontakt zum Grundwasser gibt, während der Ahorn bei niedrigem Grundwasserspiegel größere Zuwächse aufweist, wenn er ohnehin schon nah am Wasser steht. Die grundwasserfernen Eschen hingegen zeigen signifikant geringere Zuwächse in grundwassernahen Lagen, wenn der Grundwasserpegel ansteigt.

5.4 Sensitivität des Baumwachstums

Die Sensitivität, die die Wachstumsänderung innerhalb zwei aufeinander folgender Jahre zeigt, kann Auskunft über die Wachstumsbedingungen geben. Sind die Verhältnisse ausgeglichen, dann spiegelt sich das im Verlauf der Sensitivität wider, ebenso wenn die Bedingungen eher variabel oder extrem waren [SCHWEINGRUBER (1988)]. In den Abbildungen 5.13, 5.14 und 5.15 sind die mittleren Sensitivitäten der grundwassernahen und grundwasserfernen Bäume für jede der drei untersuchten Arten aufgetragen.

In allen drei Abbildungen zeigt sich, dass die Sensitivität mit dem Alter abnimmt [SCHWEINGRUBER (1996)]. Zu den anfänglich höheren Werten trägt aber vermutlich auch die geringe Anzahl an Bäumen bei, die an der Berechnung Anteil haben.

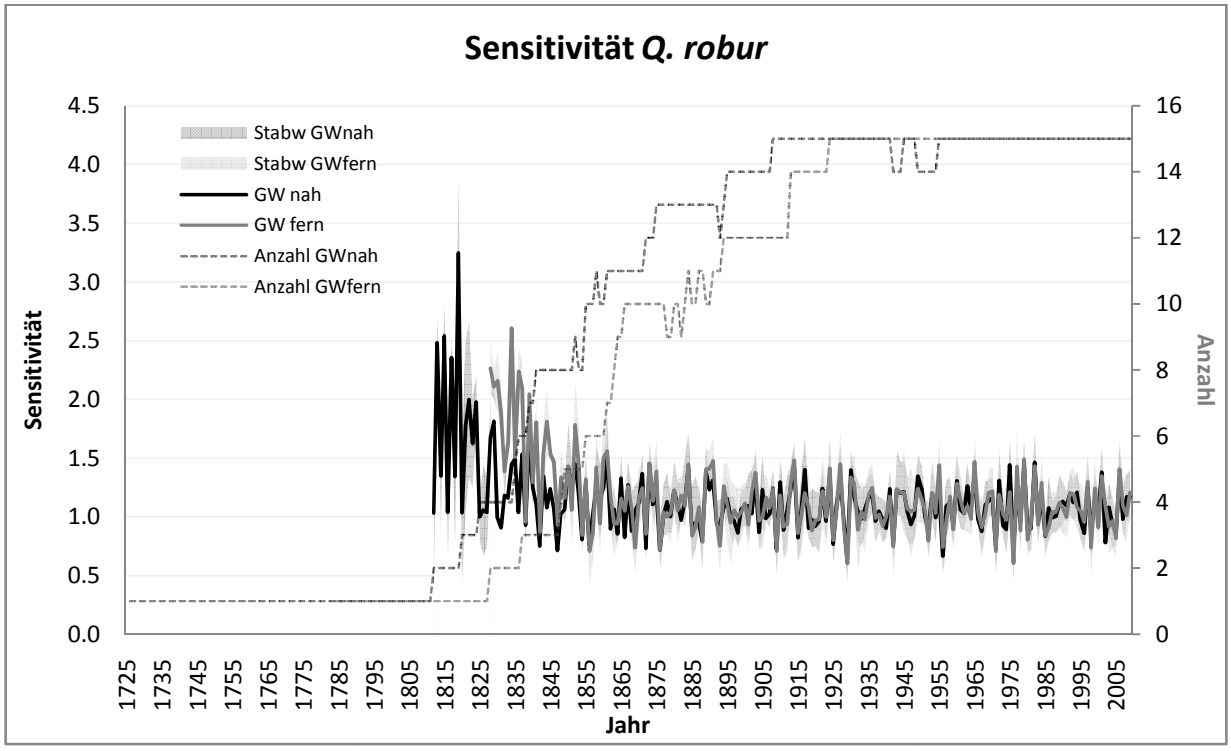

Abbildung 5.13: Sensitivität der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Der Verlauf der Sensitivitäten unterscheidet sich bei *Q. robur* kaum zwischen den grundwasserbeeinflussten und -unbeeinflussten Bäumen.

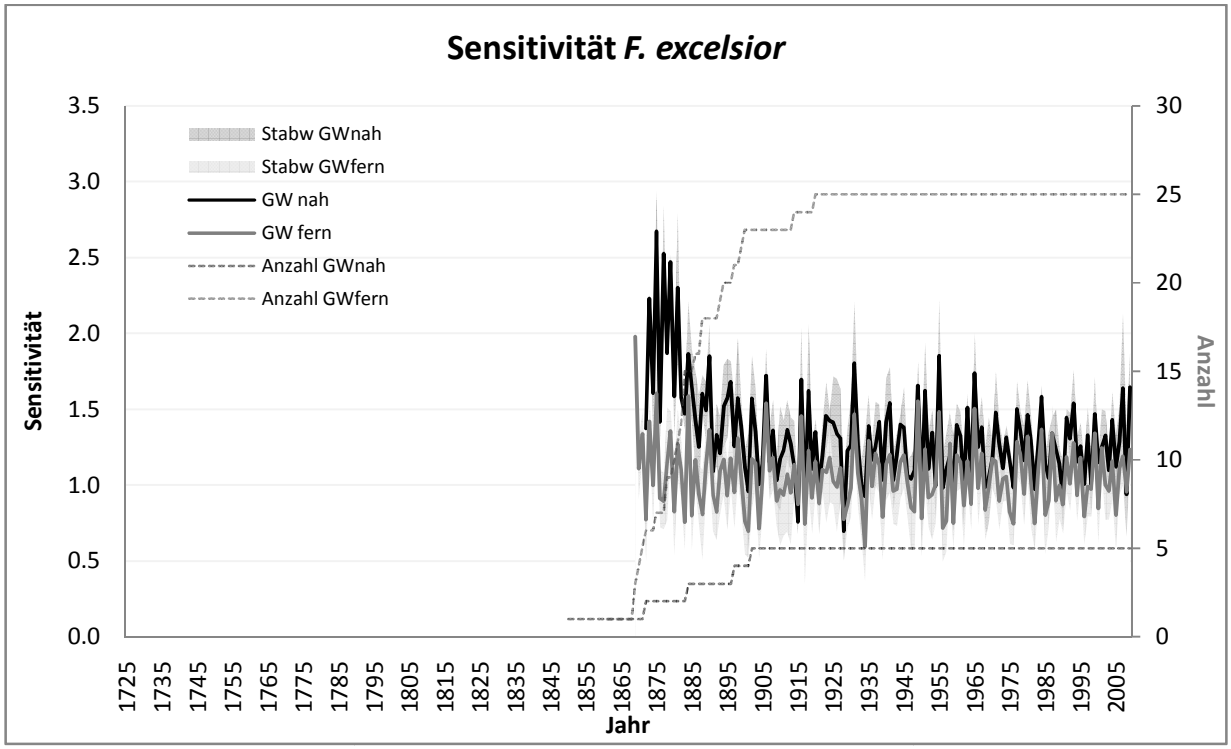

Abbildung 5.14: Sensitivität der grundwassernahen und grundwasserfernen Gemeinen Eschen mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Die Sensitivität der Esche ist über das gesamte 20. Jahrhundert relativ ähnlich. Allerdings zeigen grundwassernahe Bäume ein unregelmäßigeres Wachstum als diejenigen, die keinen Kontakt zum Grundwasser haben.

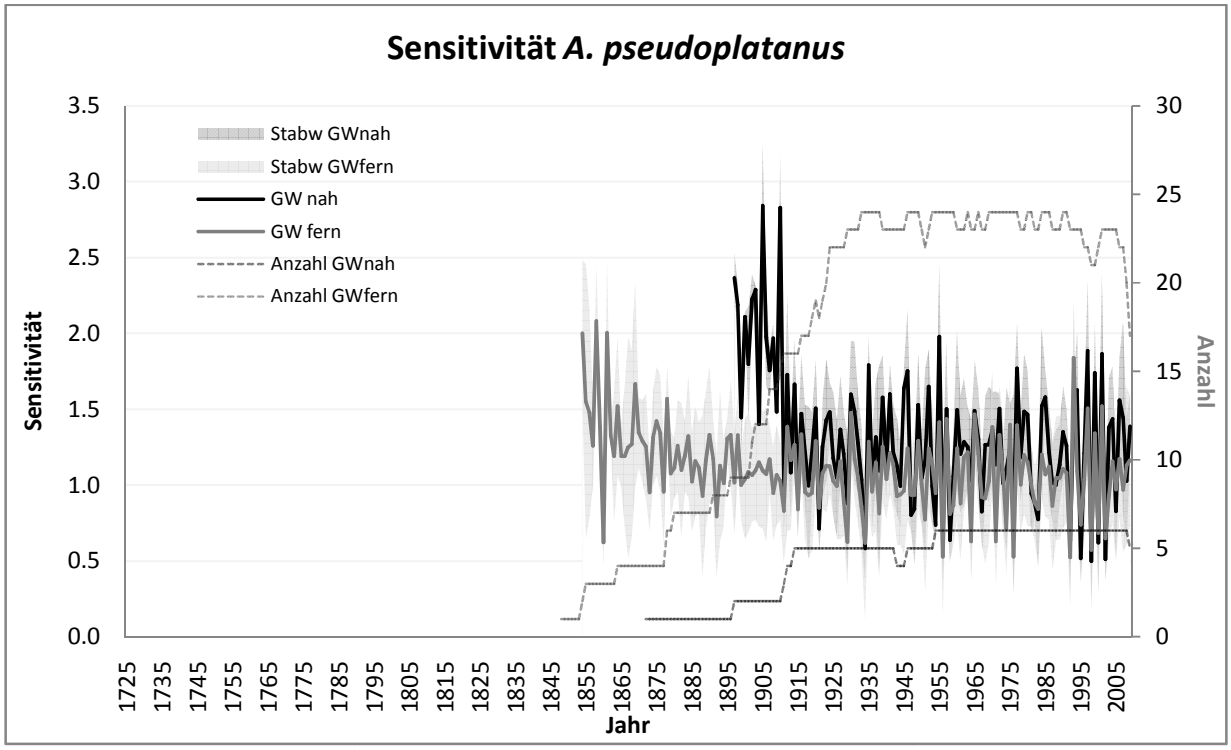

Abbildung 5.15: Sensitivität der grundwassernahen und grundwasserfernen Bergahorne mit Anzahl der in die Berechnung eingegangenen Bäume

Die Kurve der Sensitivität von *A. pseudoplatanus* zeigt für diejenigen Bäume, die nicht im ständigen Grundwasserkontakt stehen, ein ähnliches Muster wie die Stieleiche. Besonders während der 1980er Jahre ist das Wachstum dieser Gruppe sehr ausgeglichen. Dies ändert sich deutlich während der 1990er. Im 21. Jahrhundert scheinen sich die Bäume an ihre Wachstumsbedingungen angepasst zu haben, da die Kurve wieder einen ruhigeren Verlauf annimmt. Die Bergahorne, die in Grundwassernähe wachsen, zeigen stets ein sehr variables Verhalten.

In Tabelle 5.5 sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen der oben aufgetragenen Kurven der Sensitivitäten aufgelistet. Dabei wurden die drei untersuchten Arten nach ihren Standorten, bezogen auf die Grundwassernähe, unterteilt und verglichen. Der t-Test bestätigt den Eindruck der Graphiken, dass sich die beiden Gruppen der Stieleiche nicht in ihrer Sensitivität unterscheiden. Esche und Bergahorn hingegen zeigen signifikante Unterschiede, wobei beide Arten sensitiver auf Umwelteinflüsse reagieren, wenn sie ständigen Kontakt zum Grundwasser haben. Grundwasserunbeeinflusste Bäume zeigen ein deutlich ausgeglicheneres Wachstum.

Tabelle 5.5: Mittelwerte und Standardabweichungen der artspezifischen Sensitivitäten unterteilt nach grundwassernahen und grundwasserfernen Bäumen

Art	GW nah	GW fern	t-Wert	FG	P
Q. robur	0.211 ± 0.241	0.231 ± 0.219	0.854	378	0.394
F. excelsior	0.236 ± 0.221	0.179 ± 0.133	-2.624	277	**0.009**
A. pseudoplatanus	0.343 ± 0.285	0.200 ± 0.180	-5.038	267	**$8.7 \cdot 10^{-7}$**

Trotz der in den Abbildungen 5.13 und 5.15 relativ deutlich ausgeprägten Sensitivitätsunterschiede zwischen den Phasen der stärksten Grundwasserabsenkung (1975 bis 1989) und dem Wiederanstieg des Grundwassers (1990 bis 2004) konnten hier keine Signifikanzen festgestellt werden. Allerdings fiel die Irrtumswahrscheinlichkeit des t-Tests bei den grundwasserfernen Eichen (P = 0,067) und Bergahornen (P = 0,074) deutlich geringer aus als bei der Esche und den grundwassernahen Bäumen der beiden anderen Arten.

5.5 Klimakorrelation

Für jede der untersuchten Baumarten wurde der Zusammenhang des Radialwachstums mit dem Klima analysiert. Dazu wurden die Rohdaten zunächst mittels GAM-Spline in Indexwerte umgerechnet. Diese sind in den Abbildungen 5.16, 5.17 und 5.18 dargestellt.

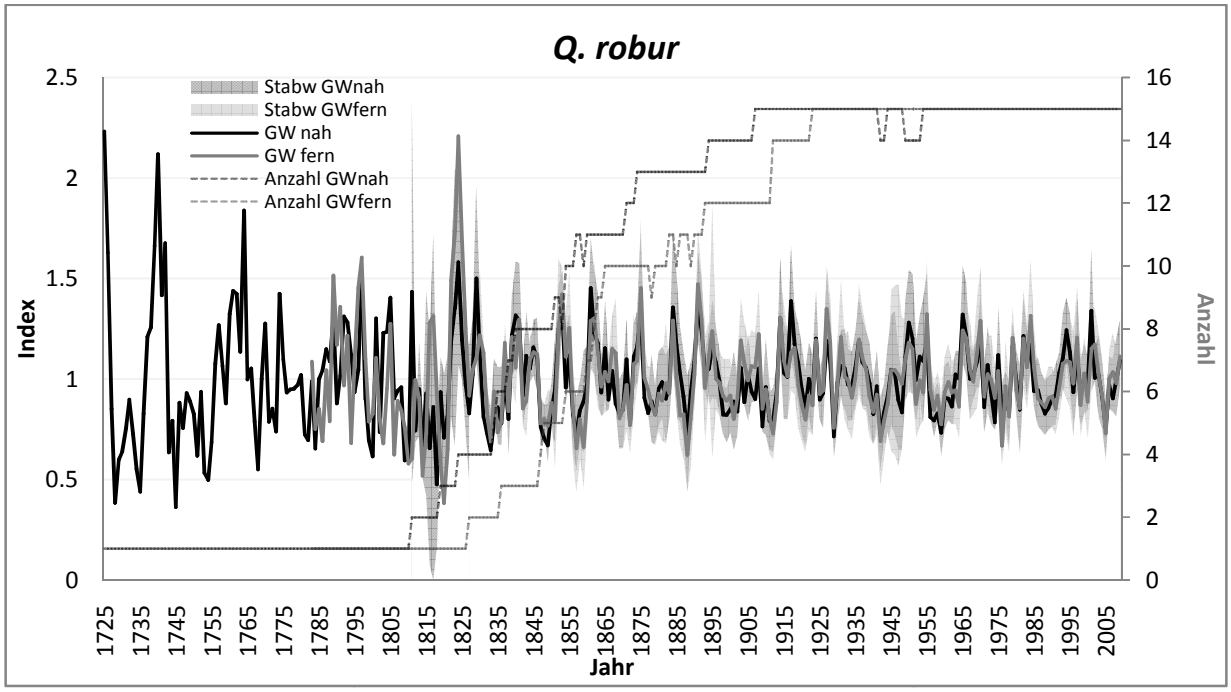

Abbildung 5.16: Indices der grundwassernahen und grundwasserfernen Stieleichen mit Anzahl der in die Rechnung eingegangenen Bäume

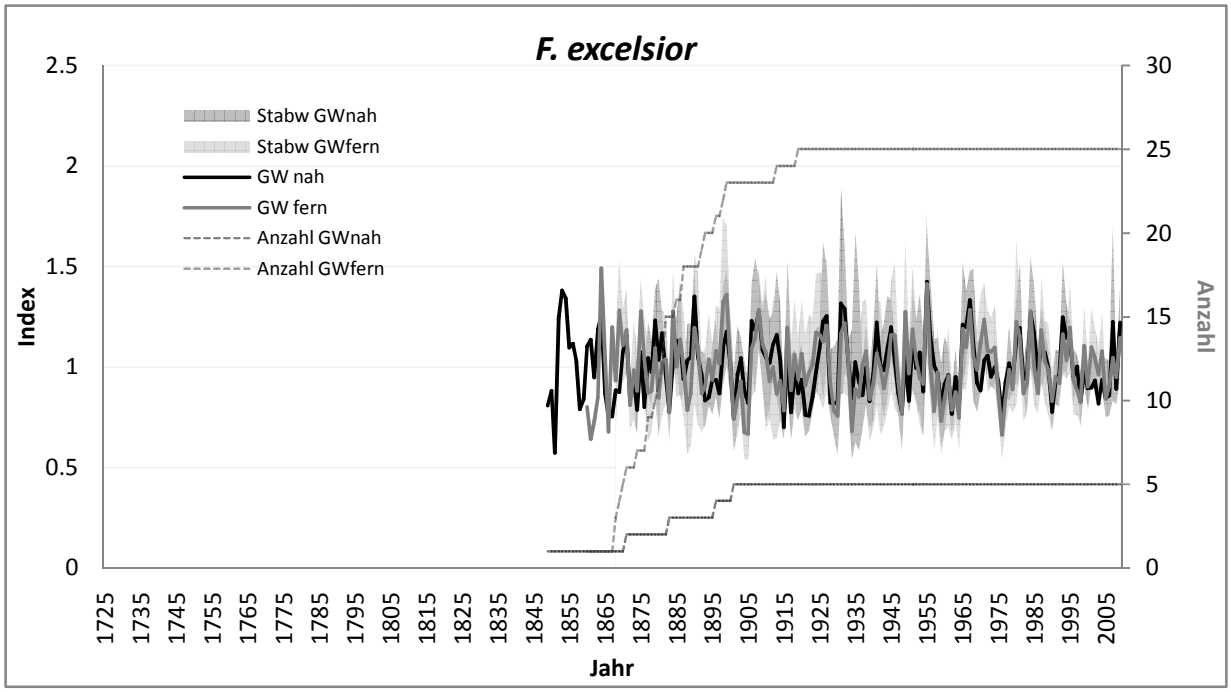

Abbildung 5.17: Indices der grundwassernahen und grundwasserfernen Gemeinen Eschen mit Anzahl der in die Rechnung eingegangenen Bäume

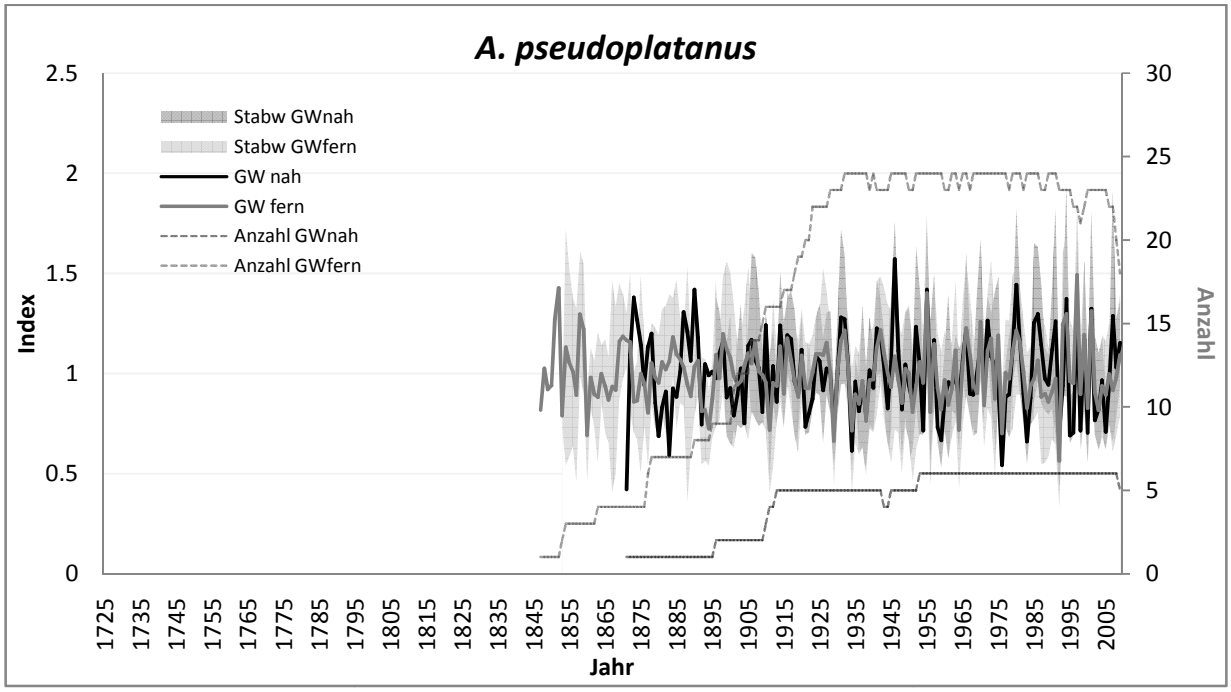

Abbildung 5.18: Indices der grundwassernahen und grundwasserfernen Bergahorne mit Anzahl der in die Rechnung eingegangenen Bäume

Es wurden für alle Arten Korrelationskoeffizienten mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag berechnet. Dabei wurden drei Gruppen gebildet. Die erste schließt alle Bäume einer Art ein, die zweite beinhaltet nur die ständig grundwasserbeeinflussten und die letzte wird von denjenigen Bäumen gebildet, die nicht in Grundwassernähe wachsen. Da Klimawerte ab 1900 vorlagen, wurden drei unterschiedliche Zeiträume analysiert: 1900 bis 2009, 1945 bis 1985 und 1990 bis 2009. Die gesamte Zeitspanne kann allgemeine Tendenzen des klimaabhängigen Wachstums aufzeigen, wobei die letzten Perioden Aussagen zum Klimaeinfluss während der Grundwasserabsenkung bzw. des Wiederanstiegs zulassen.

In den Abbildungen 5.19, 5.20 und 5.21 wurden diese Korrelationen für *Q. robur*, *F. excelsior* bzw. *A. pseudoplatanus* dargestellt. In diesen Abbildungen haben die Abkürzungen in der x-Achsenbeschriftung folgende Bedeutung: T Temperatur, P Niederschlag, W Winter, F Frühjahr, S Sommer, H Herbst, -1 Vorjahr.

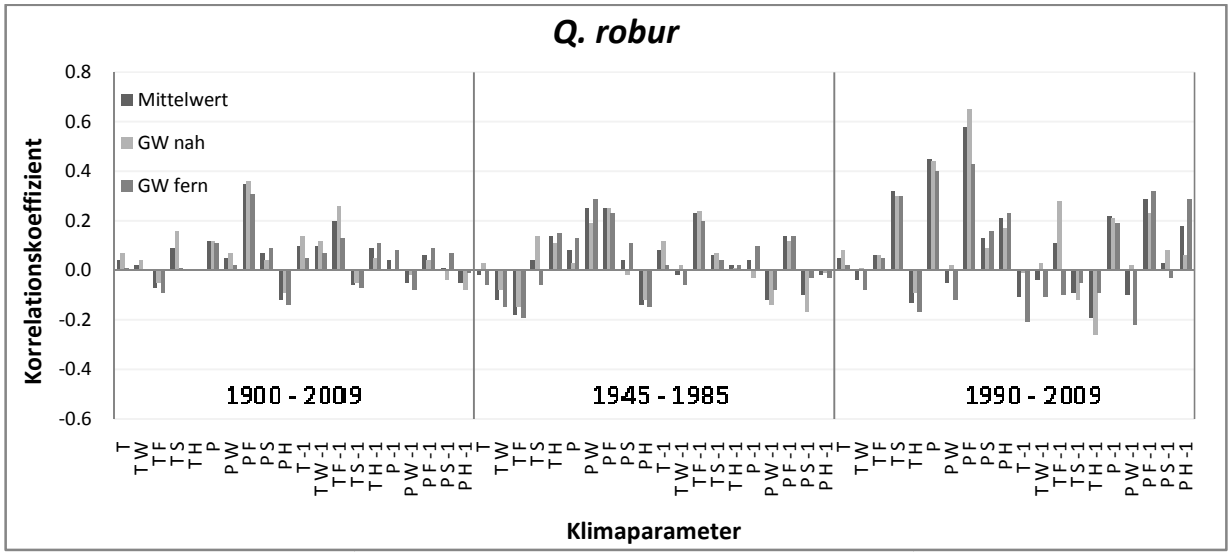

Abbildung 5.19: Korrelationskoeffizienten der Stieleiche innerhalb drei verschiedener Zeiträume mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag

Das Wachstum der Eiche zeigt über den gesamten Zeitraum von 1900 bis 2009 einen starken Zusammenhang mit dem Frühjahrsniederschlag des Jahres der Ringbildung. Auch die Temperaturen im Frühjahr des vorangegangenen Jahres wirken sich positiv auf das Wachstum, besonders der grundwasserbeeinflussten Bäume, aus. Während der Periode der Grundwasserabsenkung hat auch der Niederschlag im Winter einen größeren Einfluss, vor allem wenn kein Grundwasserkontakt besteht. In der letzten Periode haben neben dem Niederschlag (ganz besonders im Frühjahr) auch die sommerlichen Temperaturen einen positiven Einfluss auf das Eichenwachstum. Die Temperaturen des Vorjahres hingegen beeinflussen das Wachstum eher negativ, mit Ausnahme des Frühjahrs bei den grundwassernahen Bäumen.

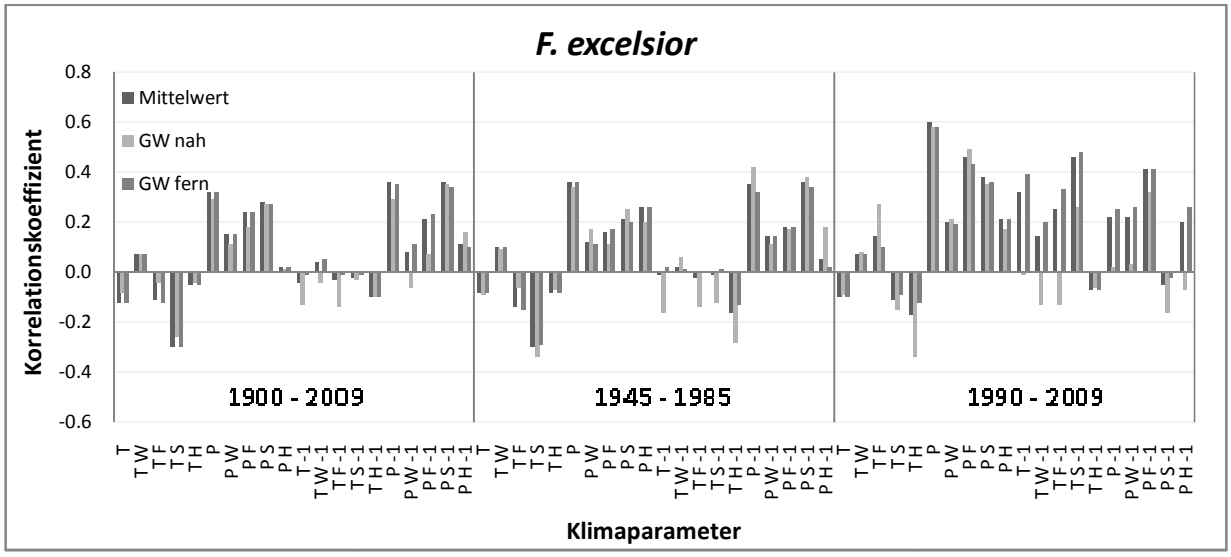

Abbildung 5.20: Korrelationskoeffizienten der Gemeinen Esche innerhalb drei verschiedener Zeiträume mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag

Die Esche zeigt sowohl im gesamten Zeitraum von 1900 bis 2009 als auch in der Phase der Grundwasserabsenkung eine positive Reaktion auf Niederschläge, während hohe Sommertemperaturen einen negativen Einfluss haben. Dieser wird in der Phase des Grundwasseranstiegs abgemildert. Außerdem wirken wärmere Temperaturen von Winter bis Sommer des Vorjahres auf grundwasserferne Bäume positiv.

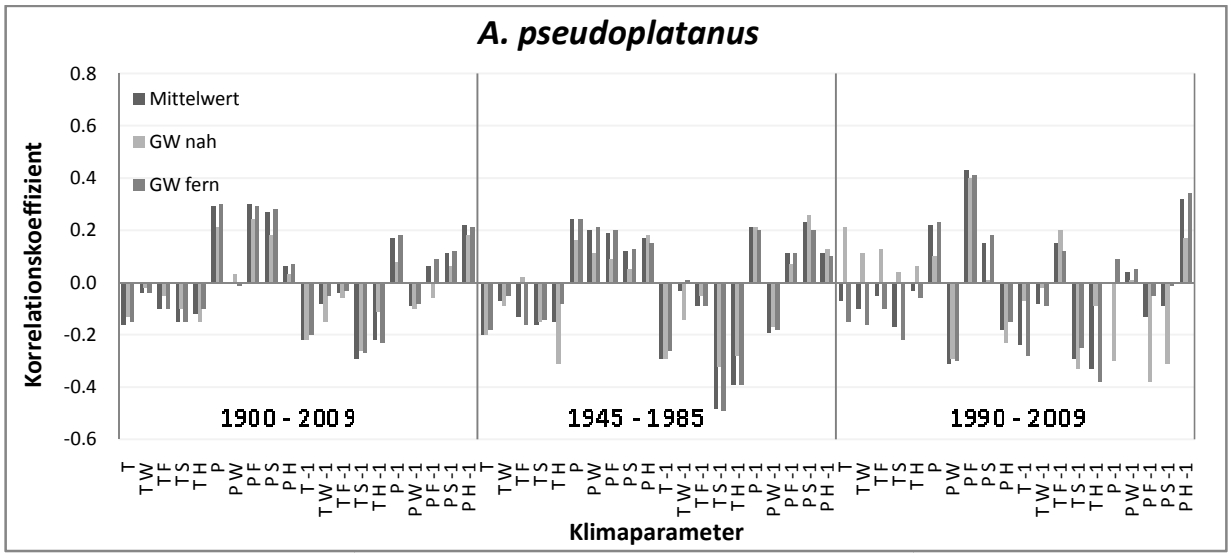

Abbildung 5.21: Korrelationskoeffizienten des Bergahorns innerhalb drei verschiedener Zeiträume mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag

Das Wachstum von *A. pseudoplatanus* zeigt einen positiven Zusammenhang mit den Niederschlägen und einen negativen mit den Temperaturen. Letzteres ist in der Periode von 1945 bis 1985 im Sommer und Herbst des Vorjahres deutlicher ausgeprägt. Nach dem Grundwasseranstieg zeigt sich für die grundwassernahen Bergahorne ein positiver Zusammenhang mit den Temperaturen. Auch der positive Effekt hoher Niederschläge im Frühling ist in dieser Zeitspanne deutlich gesteigert, während hohe Winterniederschläge zur Reduktion des Wachstums führen können. Der negative Einfluss der Vorjahrestemperaturen nimmt für die Grundwassernahen ab, während der der vorangegangenen Niederschläge in Frühjahr und Sommer zunimmt.

6 Diskussion

6.1 Altersstruktur

Die Altersstrukturen der Bestände von Stieleiche, Esche und Bergahorn unterscheiden sich zum Teil stark voneinander. Die Bestände von *Q. robur* sind mit über 200 Jahren deutlich älter als die von *A. pseudoplatanus* und *F. excelsior*, welche durchschnittlich 120 bzw. 160 Jahre alt sind (Abbildung 5.07). Dies hängt maßgeblich mit der Umstellung der Waldbewirtschaftung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zusammen [GLÄSER und SCHMIDT (2007)]. Durch anthropogene Förderung und Pflanzungen konnten sich die schnellwüchsigeren Arten gut etablieren und gegen die im Mittelwald dominierende Stieleiche durchsetzen. Ältere Exemplare wuchsen rasch aus dem Unterholz auf, welches aufgrund des verminderten Brennholzbedarfs während der Industrialisierung nicht mehr regelmäßig geschlagen wurde. Durch wasserbauliche Maßnahmen wurden die Standortbedingungen für die weniger überflutungstoleranten Eschen und vor allem Bergahorne deutlich verbessert [LANGE (1959), DEILLER et al. (2001)]. Aufgrund des geringeren Lichtbedarfs ihres Jungwuchses konnte sich dieser gegen die Stieleiche durchsetzen. Die dominierende Stellung von Esche und Ahorn im Unterholz ist auch derzeitig beobachtbar [SICKERT (2007)].

Befindet sich *Q. robur* hingegen in der oberen Baumschicht, kann sie sich hier aufgrund ihrer deutlich höheren Alterserwartung langfristig gegen konkurrierende Arten durchsetzen. AAS (2010) gibt für die Stieleiche eine maximale Lebensdauer von 400 bis 800 Jahren an. Obwohl sie in ihrer Jugendphase langsamer wächst als Esche und Ahorn, kann sie bis ins Alter von über 300 Jahren eine relativ konstante Holzproduktion aufrechterhalten (Abbildung 5.08). Diese langanhaltende Leistungsfähigkeit der Eiche wird auch durch MAYER (1992) bestätigt.

Der Bergahorn ist während seiner Jugendphase bis zum Alter von 30 bis 40 Jahren sehr schnellwüchsig (Tabelle 5.1). Durch sein rasches Aufwärtsstreben kann er sich die beste Position sichern, für den Fall, dass eine Lücke im Kronendach entsteht [SCHMIDT und ROLOFF (2010)]. Ab dem Alter von 40 Jahren ist der Flächenzuwachs relativ konstant bis zum Alter von 140 Jahren und wird dann vermutlich reduziert. MAYER (1992) bestätigt das rasche Wachstum des Bergahorns, das schon sehr früh kulminiert. Dieser Wachstumsverlauf wurde auch bei dem amerikanischen Zuckerahorn (*Acer saccharum*) festgestellt [PACALA et al. (1994)]: Das schnelle Wachstum bei geringem Lichtangebot ist typisch für schattentolerante Baumarten. Wird

allerdings das Lichtangebot durch Erreichen der Baumschicht verbessert, nimmt die Zuwachsrate im Vergleich zu lichtbedürftigeren Arten ab. Diese, zu denen auch *Quercus rubra* gehört, wachsen im schattigen Unterholz deutlich weniger als schattentolerantere Bäume. Erhöht sich das Lichtangebot hingegen, dann steigert sich der Zuwachs und übertrifft die schattentoleranten Arten deutlich. Dieses Verhalten spiegelt sich auch bei der Stieleiche wider, die in der Jugendphase zwar hinter *A. pseudoplatanus* zurücksteht, aber ihre Holzbildung stetig bis zum Alter von 240 Jahren steigern kann, sodass sie deutlich höhere Zuwachsraten über einen längeren Zeitraum aufweist (Abbildung 5.08).

Obwohl *A. pseudoplatanus* in gebirgigen Lagen bis zu 800 Jahre alt werden kann, ist es eher unwahrscheinlich, dass dieses Alter im Leipziger Auenwald erreicht wird. Ein Höchstalter von 150 Jahren, wie es im Flachland durch SCHMIDT und ROLOFF (2010) berichtet wurde, wird im Untersuchungsgebiet möglicherweise nur um einige Jahrzehnte überschritten.

Für die Gemeine Esche wird durch ROLOFF und PIETZARKA (2010) ein Höchstalter von 250 bis 300 Jahren angegeben. Ob dies auch auf *F. excelsior* im Leipziger Auenwald zutrifft, kann aufgrund ihres im Vergleich zu Eiche und Ahorn untypischen Wachstumsverhalten nicht gesagt werden. Dieses steht im Gegensatz zu dem bei RÖHRIG et al. (2006) beschriebenem Wachstumsverlauf, wonach die Zuwachsleistung der Esche (und auch anderer Arten wie dem Bergahorn) in relativ jungen Jahren kulminiert und dann rasch abfällt. Die beprobten Eschen des Leipziger Auenwaldes können ihren Zuwachs hingegen von Jahr zu Jahr ohne eine altersbedingte Reduktion steigern (Abbildungen 5.05 und 5.08). Dieses Verhalten hängt vermutlich damit zusammen, dass die Esche zwar in der juvenilen Phase schattentolerant ist, sich im Alter hingegen zu einer Lichtbaumart entwickelt [ROLOFF und PIETZARKA (2010)]. Dies ermöglicht ihr, die gegebenen Lichtverhältnisse optimal in Radialzuwächse umzusetzen [PACALA et al. (1994)]. Die Datenlage der Probenahme kann eine Umkehr dieses Aufwärtstrends nicht zeigen. Vermutlich steigert die Esche ihre Holzproduktion solange, bis sie schließlich durch einen Sturm, eine Pilzinfektion oder Eingriffe durch die Forstwirtschaft zusammenbricht. Die im Alter von 165 Jahren plötzlich stark reduzierte Anzahl an Bäumen, die in die Berechnung des Alterstrends eingingen, unterstützt diese Vermutung (Abbildung 5.05).

Durch ihre große Lichtbedürftigkeit hat die Stieleiche im Vergleich zum halbschatten-tolerierenden Bergahorn und der in der Jugend schattentoleranten Esche große Verjüngungs-schwierigkeiten [SCHÜTT et al. (2007), SICKERT (2007)]. Durch gezielte Ausdünnung der

dichten Eschen- und Ahornbestände und durch Anpflanzungen kann der Eichenbestand dauerhaft gesichert werden. Denn aufgrund ihrer sehr viel größeren Lebenserwartung kann sich *Q. robur* langfristig gegen die schnellwüchsige aber vergleichsweise kurzlebige Konkurrenz durchsetzen. Die gezielte Förderung der Eichenverjüngung, wie sie bereits stattfindet und weitergeführt werden soll, wird allerdings unerlässlich bleiben, bis sie wieder in allen Altersklassen vertreten ist [SICKERT (2007)].

6.2 Wachstum von *Quercus robur* L.

An Standorten, die nicht ständig von Grundwasser beeinflusst werden, bildet die Stieleiche trotz ihres höheren Alters durchschnittlich gleichgroße Jahrringe wie Esche und Ahorn. Ist allerdings der Kontakt zum Grundwasser stets gegeben, dann ist das Wachstum signifikant geringer (Tabelle 5.2). Diese Tendenz kann sowohl während der Phase der Grundwasserabsenkung durch den Braunkohleabbau (1945 bis 1985) als auch nach Wiederanstieg des Grundwassers aufgrund der Flutung der aufgegebenen Tagebaue nach 1990 beobachtet werden (Tabellen 5.3 und 5.4). Dies bestätigt zunächst die Erwartung, dass *Q. robur* nicht auf Schwankungen des Grundwasserspiegels reagiert. Denn ihre Wurzeln reichen auch auf staunassen, wenig durchlüfteten Böden bis in Tiefen von 1,4 m [KÖSTLER et al. (1968), KUTSCHERA und LCHTENEGGER (2002), SÁNCHEZ-PÉRES et al. (2008)]. Dies gewährleistet eine ausreichende Wasserversorgung auch während Trockenperioden, die für die staunässetolerante Stieleiche ungünstig sind [THOMAS und HARTMANN (1998)].

Dass die Stieleichen, die ständig den Kontakt zum Wasser aufrecht erhalten können, schlechter wachsen als diejenigen, die einen trockeneren Wurzelraum haben, wird also vermutlich nicht durch die schlechtere Durchlüftung verursacht worden sein. Wahrscheinlicher ist, dass Eichen an besonders feuchten Standorten anfälliger gegenüber der Infektion mit parasitären Pilzen sind. Denn auf staunassen Böden wurde beobachtet, „dass das Verhältnis zwischen Zerstörung der Feinwurzeln durch *Phytophthora* und deren Regeneration stärker zugunsten des Parasiten verschoben ist“ [AAS (2010)]. Auf ein vermindertes Wachstum aufgrund von Parasitenbefall deutet auch die Anzahl der als beschädigt aufgenommenen Bäume in der Gruppe der grundwassernahen Stieleichen hin (Tabelle A.1). So wurden von den 15 Eichen, die in

Gewässernähe wachsen, bei zwölf Exemplaren Schäden wie Stammfäule und (faulige) Totäste registriert.

Das Wachstum der Stieleiche zeigt während des 20. Jahrhunderts eine geringe Klimaabhängigkeit (Abbildung 5.19). Einen deutlichen Zusammenhang gibt es nur mit den Niederschlägen während des Frühjahrs. Dies hängt wahrscheinlich mit der Anfälligkeit der ringporigen Eiche für Embolien im Laufe des Winters zusammen. Aufgrund des unterbrochenen Wasserstroms in den Gefäßen muss vor dem Austrieb im Frühjahr zunächst eine Schicht großporigen Frühholzes gebildet werden, um die Wasserversorgung der neuen Blätter zu sichern [ROLOFF (2004)]. Nach Austrieb des Laubes ist der Transpirationssog groß genug, um die Gefäße wieder mit Wasser zu füllen und somit zu reparieren. Dabei werden Luftbläschen durch nachströmendes Wasser verdrängt. Das Gas diffundiert dann durch das Holz an die Stammoberfläche [YANG und TYREE (1992)]. Je höher das Wasserangebot aufgrund reichlicher Frühjahrsniederschläge ist, desto größer ist der Anteil älterer Gefäße, der regeneriert werden kann. Da so vermutlich eine bessere Versorgung der Blätter gesichert wird, kann der Zuwachs während der gesamten Vegetationsperiode gesteigert werden.

Bei abgesenktem Grundwasserspiegel steigt der negative Einfluss heißer Sommer. Denn durch den Kontaktverlust der Wurzeln zum Grundwasser vergrößert sich der Trockenstress durch eine höhere Verdunstung. Nach der Wiedervernässung des Auenwaldes kehrt sich der Einfluss der sommerlichen Temperaturen ins Positive um. Aufgrund der guten Wasserversorgung können wärmere Temperaturen zur Steigerung der Photosyntheserate genutzt werden, da die Transpirationsverluste schnell wieder ausgeglichen werden können.

6.3 Wachstum von *Fraxinus excelsior* L.

Das Wachstum der Esche während des 20. Jahrhunderts wird im Leipziger Auenwald nicht vom direkten Kontakt des Grundwassers beeinflusst. Sie erreicht sowohl an grundwassernahen als auch -fernen Standorten ähnliche Zuwächse. Diese entsprechen den mittleren Jahrringweiten, die auch Eiche und Ahorn in grundwasserunbeeinflussten Gebieten bilden (Tabelle 5.2). Die Sensitivität variiert jedoch signifikant zwischen diesen Gruppen. Demnach zeigen die Eschen, die nicht in Wassernähe wachsen, ein ausgeglicheneres Wachstum als diejenigen, deren Wurzelraum häufig durch Staunässe beeinflusst wird (Tabelle 5.5). Letztere erleiden auch einen deutlichen

Einbruch nach 1990 im Vergleich zur vorangegangenen Phase der Grundwasserabsenkung zwischen 1945 und 1985 (Tabellen 5.3 und 5.4).

Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass *F. excelsior* vor dem Anstieg des Grundwasserspiegels gut an die Grundwassersituation an ihren jeweiligen Standorten angepasst war. Durch ein extrem flaches, aber horizontal weitreichendes Wurzelwerk, das nur die oberen 30 cm durchdringt, entgeht sie der Staunässe [KÖSTLER et al. (1968), KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002), SÁNCHEZ-PÉREZ et al. (2008)]. Diese ist aufgrund des Sauerstoffmangels sehr unvorteilhaft für die Esche [DOBROWOLSKA (2008)]. Durch die Wiedervernässung des Auenwaldes nach Aufgabe und Flutung der Tagebaue im Süden Leipzigs erreicht der Grundwasserspiegel den Wurzelraum der ohnehin schon grundwassernahen Bäume. Aus diesem erhöhten Stress resultiert ein vermindertes Wachstum. An Standorten, die weiter vom Wasser entfernt sind, reicht der gestiegene Grundwasserspiegel hingegen nicht bis zum Wurzelraum der Eschen, weswegen das Wachstum nicht eingeschränkt wird.

Der Vergleich mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlag zeigt, dass *F. excelsior* während des 20. Jahrhunderts auf hohe Niederschläge sowohl im Jahr der Ringbildung als auch im Jahr zuvor mit gesteigertem Radialwachstum reagiert (Abbildung 5.20). Diese Tendenz behält sie in der Phase der Grundwasserabsenkung ebenso wie im Zeitraum nach dessen Wiederanstieg bei. Der Zusammenhang mit der Temperatur ist hingegen negativ. Die Niederschlagsabhängigkeit innerhalb der Vegetationsperiode wurde ebenfalls von ROLOFF und PIETZARKA (2010) und MUND et al. (2010) beobachtet. Der Zuwachs wird ganz besonders durch hohe Temperaturen im Sommer reduziert. Dies hängt vermutlich mit der hohen Transpirationsleistung der Esche zusammen [ROLOFF und PIETZARKA (2010)]. Sie kontrolliert an feuchten Standorten wie dem Auenwald ihre Stomata nur mittels verminderter Lichtverhältnisse am späten Nachmittag [MARIGO et al. (2000)]. Das führt zu großen Wasserverlusten in heißen, trockenen Sommern. Aufgrund ihres flachen Wurzelsystems meidet sie den direkten Kontakt zum Grundwasser, kann allerdings durch dessen relativ große horizontale Ausdehnung Niederschläge abfangen und gut zur Holzproduktion nutzen.

Nach der Wiedervernässung des Auenwaldes wird das Eschenwachstum positiv durch die Temperaturen des Jahres vor der Ringbildung beeinflusst. Das hängt mutmaßlich mit ihrem gebundenen Wachstum zusammen [ROLOFF und PIETZARKA (2010)]. Durch das gestiegene Grundwasser können hohe Sommertemperaturen genutzt werden, ohne unter den

Transpirationsverlusten zu leiden. Die gesteigerte Photosyntheserate wird dabei in die Knospenbildung investiert, was das Wachstum im Folgejahr unterstützt.

6.4 Wachstum von *Acer pseudoplatanus* L.

Im Leipziger Auenwald wächst der Bergahorn deutlich besser an Standorten, die aufgrund ihrer Grundwassernähe eine ständige Wasserversorgung sichern, als an denen, die größere Distanzen zum Grundwasser aufweisen (Tabelle 5.2). Diese Bäume zeigen außerdem ein ausgeglicheneres Wachstum als die grundwasserfernen, deren Sensitivität signifikant höher ist (Abbildung 5.15 und Tabelle 5.5). Das hängt wahrscheinlich mit der großen Empfindlichkeit von *A. pseudoplatanus* gegenüber Staunässe und daraus resultierendem Sauerstoffmangel ebenso zusammen wie mit seiner geringen Trockenheitstoleranz [SCHMIDT und ROLOFF (2010)]. Denn auf Böden, die durch hochanstehendes Grundwasser geprägt und relativ stark verdichtet sind, bildet der Bergahorn ein sehr flachstreichendes Wurzelsystem aus, das die oberen 40 bis 50 cm dicht erschließt [KÖSTLER et al. (1968), KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002), JENSEN (2008)]. Aufgrund dieser Anpassung wird das Wachstum durch die ausgeglichene Wasserversorgung an grundwassernahen Standorten gefördert. Bäume an diesen Standorten zeigen auch während der Periode der Grundwasserabsenkung zwischen 1945 und 1985 erheblich größere Zuwächse als diejenigen, die aufgrund der geringen Wurzeltiefe die stete Wasserversorgung verlieren (Tabellen 5.3 und 5.4).

Nach der Wiedervernässung des Auenwaldes bilden beide Gruppen sehr ähnliche Jahrringweiten aus. Durch die nun auftretende Staunässe im Wurzelraum, welcher an die vorangegangenen Verhältnisse adaptiert war, wird die Sauerstoffversorgung behindert und das Wachstum gehemmt. Grundwassernahe Ahorne zeigen dabei deutlich größere Reduktionen als grundwasserferne, was vermutlich auf den erhöhten Stress zurückgeführt werden kann. Dies spiegelt auch die Sensitivität der ständig grundwasserbeeinflussten Bäume wider, die während der stärksten Grundwasserabsenkung durch den Braunkohleabbau in den 1980er Jahren relativ ruhig verläuft. Dies ändert sich erheblich in den 1990er Jahren, als der Grundwasserspiegel stieg (Abbildung 5.15). Das lässt darauf schließen, dass die veränderten Bedingungen für die betroffenen Bäume als extrem empfunden werden [SCHWEINGRUBER (1988)].

Auch die Korrelation mit den klimatischen Bedingungen ändert sich mit der Grundwassersituation (Abbildung 5.21). Während des gesamten 20. Jahrhunderts zeigt *A. pseudoplatanus* einen positiven Zusammenhang des Wachstums mit Niederschlägen und einen negativen mit Temperaturen. Erstere fördern sowohl den Zuwachs des gleichen Jahres als auch den des darauf folgenden. Diese Klimaabhängigkeiten wurden durch TARDIF et al. (2001) auch für den nordamerikanischen *Acer saccharum* bestätigt. MUND et al. (2010) konnten im Hainich hingegen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Radialwachstum des Bergahorns und den klimatischen Bedingungen feststellen.

In der Periode der Grundwasserabsenkung bleibt die Tendenz, die während des gesamten 20. Jahrhunderts beobachtet werden konnte, weitgehend erhalten. Allerdings nimmt der negative Einfluss hoher Temperaturen während des Vorjahressommers und -herbstes zu. Das ist ganz besonders ausgeprägt bei denjenigen Bäumen, die an trockeneren Standorten wachsen. Diese zeigen auch allgemein höhere Korrelationen mit den Klimaparametern. Das lässt darauf schließen, dass grundwassernahe Bäume wahrscheinlich nicht nur auf Niederschläge angewiesen sind, sondern mit Grundwasser versorgt werden, während besonders heiße Vorjahressommer zu vermindertem Wachstum an trockenen Standorten führen.

Nach der Erhöhung der Grundwasserstände reagieren die grundwassernahen Bergahorne deutlich empfindlicher auf den Wasserstress im Wurzelraum, der durch hohe Niederschläge besonders im Jahr vor der Ringbildung zunimmt. Allerdings können sie aus höheren Temperaturen im Jahr der Ringbildung profitieren und ihre Holzproduktion aufgrund erhöhter Photosyntheseraten steigern, da durch die ständige Wasserverfügbarkeit Transpirationsverluste schnell ausgeglichen werden können. Feuchte Winter sind bei erhöhten Grundwasserständen problematisch für alle Bäume, weil möglicherweise die Sättigung des Bodens wegen des fehlenden Wasserentzugs durch die Vegetation und der geringen Durchlässigkeit der gefrorenen Böden zunimmt. Dies kann aufgrund des Sauerstoffmangels zu Schädigungen des Wurzelsystems führen und das Wachstum in der folgenden Vegetationsperiode hemmen [SCHÜTT et al. (2007)].

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Die drei untersuchten Baumarten zeigen wie erwartet recht unterschiedliche Wachstumsreaktionen auf die veränderten hydrologischen Bedingungen im Leipziger Auenwald. Das Wachstum von *Q. robur* entspricht der Annahme, dass sie als typischer Baum des Auenökosystems nicht oder nur wenig auf erniedrigte oder gestiegene Grundwasserstände reagiert. Sie zeigt trotz ihres relativ hohen Bestandsalters während des gesamten 20. Jahrhunderts gleichmäßige Zuwächse. Lediglich diejenigen Bäume, die an ständig grundwasserbeeinflussten Standorten wachsen, haben geringere Jahrringbreiten als grundwasserferne Eichen. Dies kann vermutlich auf eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Parasiten zurückgeführt werden.

F. excelsior zeigt ebenso wie *Q. robur* ein gleichbleibendes Wachstum während des gesamten letzten Jahrhunderts. Dies steht entgegen der Annahme, dass ein gestiegener Grundwasserstand bei allen Eschen zu erhöhtem Stress aufgrund von Staunässe und somit zu reduziertem Wachstum führt. Dies trifft lediglich auf einige Bäume zu, deren Wurzelsystem bis nah ans Grundwasser heran reicht und welches nach dem Grundwasseranstieg unter Sauerstoffmangel leidet.

Das verminderte Wachstum von *A. pseudoplatanus* nach der Wiedervernässung des Leipziger Auenwaldes im Vergleich zur Phase der Grundwasserabsenkung entspricht der erwarteten Reaktion dieser staunässeintoleranten Baumart. Dies trifft insbesondere auf diejenigen Individuen zu, die grundwassernahe Standorte haben; der Unterschied ihrer Jahrringweiten innerhalb der beiden unterschiedenen Phasen ist deutlich größer als bei den Bäumen, die keinen ständigen Kontakt zum Grundwasser haben. Letztere zeigen über das gesamte 20. Jahrhundert eine stetige Abnahme der Jahrringbreiten. Diese reduzierten Zuwächse können also ebenso auf die Altersabhängigkeit des Wachstums zurückgeführt werden und müssen nicht zwangsläufig mit den Schwankungen des Grundwasserspiegels zusammen hängen.

Die natürliche Verjüngung der Stieleiche im Leipziger Auenwald ist aufgrund ihrer großen Lichtbedürftigkeit im dichten Unterholz, das vom schattentoleranten Jungwuchs von Esche und Ahorn dominiert wird, schwierig. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Verjüngung von *Q. robur* durch forstliche Eingriffe zu fördern. Durch Auflichtung und Anpflanzungen, wie sie bereits betrieben werden, kann die Stieleiche auch langfristig ihre Stellung als typische Art des Leipziger Auenwaldes behaupten. Denn obwohl ihre heutigen Bestände zum großen Teil auf die Zeit der Mittelwaldbewirtschaftung zurückgehen, kann sie trotz ihres recht hohen Alters im

Oberholz gegen konkurrierende Arten bestehen. Dies wird durch ihre höhere Lebenserwartung und die Fähigkeit zu gleichmäßigem Wachstum auch im Alter von 300 Jahren begünstigt.
Der schattentolerante *A. pseudoplatanus* ist zwar aufgrund seines schnellen Wachstums während der Jugendphase der Stieleiche überlegen und gehört somit zu den dominierende Arten des Unterholzes, aber langfristig kann er sich nicht gegen die langlebigere Eiche behaupten. Denn durch die frühe Kulmination des Wachstums bleibt der Bergahorn im Oberholz gegenüber *Q. robur* zurück.
Der Wiederanstieg des Grundwasserspiegels im Gebiet Leipzigs kann ebenso zur Reduzierung der Bestände von Arten führen, die nicht an die Staunässe der Auenböden adaptiert sind. So werden vermutlich besonders diejenigen Standorte, die sich in Gewässernähe befinden und deswegen besonders geringe Abstände zum Grundwasser aufweisen, von *A. pseudoplatanus* und *F. excelsior* gemieden. Diese können durch die Stieleiche dauerhaft besetzt werden. Somit trägt die Wiedervernässung des Leipziger Auenwaldes vermutlich dazu bei, den Auenwaldcharakter trotz ausbleibender Überflutungen zu erhalten.

Um genauere Aussagen bezüglich der zukünftigen Entwicklung treffen zu können, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Dabei sollten nicht nur die älteren Bestände berücksichtigt werden sondern auch die Individuen der unteren Baumschicht. So kann die Reaktion auf den Grundwasseranstieg unabhängig von den altersbedingten Wachstumsreduktionen betrachtet werden. Einen interessanten Aspekt neben dem Radialwachstum stellt auch der artspezifische Höhenzuwachs dar, der in dieser Arbeit, in der ausschließlich Starkbäume der oberen Baumschicht untersucht wurden, keine Berücksichtigung finden konnte. Dazu sollten Bäume jeder Altersgruppe in die Analyse einbezogen werden.
Die in dieser Arbeit untersuchten Bäume wurden zufällig ausgewählt, was die Formulierung von Aussagen für den gesamten Leipziger Auenwald zuließ. Für spätere Arbeiten sollte eine systematischere Baumauswahl erfolgen. So kann der Einfluss der Gewässernähe durch gleichmäßige Gruppenbildung besser erfasst werden. In dieser Arbeit ist das für die Stieleiche geglückt, bei Esche und Bergahorn hingegen waren deutlich weniger Individuen in der Gruppe der grundwassernahen Bäume vertreten als in der anderen, was zur Überrepräsentation eines einzigen Individuums führen kann und die statistische Auswertung erschwert.

Anhang

Tabelle A.1: Datenaufnahme im Wald inklusive rekonstruiertem Alter (grau unterlegt)

Baum-nr.	Baum-art	Rechts-wert	Hoch-wert	Standort	Alter [a]	BHD [cm]	Höhe [m]	Krone [m] N	Krone [m] E
E1044	QURO	4520314	5692846	Burgaue	116	65.2	33.4	0.32	9.02
Ei173	QURO	4524683	5687334	Connewitz	175	80.2	29.9	4.57	3.58
Ei234	QURO	4524943	5685445	Connewitz	136	83.3	36.4	6.31	4.36
Ei243	QURO	4524796	5687666	Connewitz	185	79.6	30.8	4.42	4.45
Ei312	QURO	4524201	5687684	Connewitz	159	84.7	27.7	3.65	9.85
10141	QURO	4521617	5692316	Burgaue	282	97.5	ca. 28.0	2.37	5.65
10156	QURO	4520796	5692172	Burgaue	157	86.7	ca. 32.0	7.04	3.24
10204	QURO	4521145	5692043	Burgaue	205	87.1	29.7	ca. 6.50	1.98
10205	QURO	4521135	5692040	Burgaue	210	82.9	ca. 25.0	5.48	2.14
10206	QURO	4521175	5692066	Burgaue	223	87.6	29.5	4.46	6.27
10209	QURO	4521105	5692041	Burgaue	173	82.9	30.1	4.10	4.71
10210	QURO	4521095	5692038	Burgaue	220	82.5	30.1	3.49	2.40
10309	QURO	4520263	5693207	Burgaue	223	90.9	27.7	9.10	5.55
10314	QURO	4520254	5693232	Burgaue	243	95.3	38.1	7.11	6.74
10347	QURO	4520197	5693085	Burgaue	227	97.6	30.9	ca. 4.40	ca. 5.50
10401	QURO	4522508	5692357	Burgaue	178	100.1	37.6	7.70	8.30
10421	QURO	4521869	5691978	Burgaue	220	98.2	37.4	5.88	3.49
10429	QURO	4521901	5691676	Burgaue	356	84.4	27.4	6.71	ca. 4.30
10443	QURO	4522115	5692119	Burgaue	195	95.3	36.3	ca. 4.80	10.22
10779	QURO	4524673	5687976	Connewitz	199	90.3	36.7	9.12	ca. 4.80
10797	QURO	4524577	5687833	Connewitz	189	88.5	33.2	4.71	6.18
11262	QURO	4524428	5685916	Connewitz	191	86.6	32.5	ca. 8.00	5.10
11394	QURO	4524652	5685471	Connewitz	208	99.8	36.3	9.16	8.94
11438	QURO	4524201	5685395	Connewitz	241	96.5	37.0	6.53	8.17
11537	QURO	4524982	5684327	Connewitz	204	96.9	28.2	6.79	4.94
11547	QURO	4525067	5684279	Connewitz	236	94.0	30.5	4.9	5.73
11574	QURO	4525122	5685032	Connewitz	193	ca.81	30.3	ca. 3.5	ca. 4.00
11598	QURO	4525352	5684300	Connewitz	209	90.6	29.1	3.62	6.36
11615	QURO	4525421	5684386	Connewitz	218	91.3	30.3	4.48	6.16
11641	QURO	4525789	5684305	Connewitz	154	92.6	39.8	5.91	7.19
E0070	FREX	4520216	5693149	Burgaue	114	70.8	34.0	7.29	7.93
E0101	FREX	4520233	5693212	Burgaue	144	65.9	32.5	3.77	3.21
E0297	FREX	4520420	5692667	Burgaue	162	85.1	37.4	ca. 9.50	6.94
E0301	FREX	4520472	5692752	Burgaue	167	85.1	38.9	11.92	5.63
E0467	FREX	4525362	5686225	Connewitz	184	94.2	41.4	4.21	5.18
E1274	FREX	4521100	5691944	Burgaue	121	83.7	37.3	7.96	ca.10.00

Baum-nr.	Baum-art	Rechts-wert	Hoch-wert	Standort	Alter [a]	BHD [cm]	Höhe [m]	Krone [m] N	Krone [m] E
E1368	FREX	4520651	5692585	Burgaue	162	68.9	31.8	7.07	1.90
E1441	FREX	4520988	5692653	Burgaue	152	86.5	36.4	10.34	4.83
E1546	FREX	4521078	5692845	Burgaue	158	88.6	38.2	6.16	5.93
E1732	FREX	4521384	5692481	Burgaue	142	88.6	ca. 34.5	9.54	ca.7.80
E1733	FREX	4525426	5686184	Connewitz	153	83.4	32.9	5.38	8.74
E1748	FREX	4521291	5692249	Burgaue	166	83.9	36.6	5.37	6.46
E1805	FREX	4521484	5692162	Burgaue	137	79.5	37.2	7.79	ca. 5.40
E1838	FREX	4521880	5691940	Burgaue	145	82.5	28.5	3.79	9.53
E1895	FREX	4522013	5692004	Burgaue	190	92.5	31.6	9.55	5.82
E2249	FREX	4522141	5692476	Burgaue	133	83.8	28.4	ca. 3.70	11.07
E2884	FREX	4524478	5688183	Connewitz	159	74.1	38.2	ca. 7.00	8.07
E2893	FREX	4524392	5687977	Connewitz	171	86.5	38.1	6.80	6.82
E3193	FREX	4524278	5687647	Connewitz	155	74.6	32.8	5.61	3.59
E3378	FREX	4521584	5692354	Burgaue	154	75.3	ca. 32.5	6.66	6.3
E3577	FREX	4524477	5686158	Connewitz	131	72.5	35.2	11.72	3.11
E3991	FREX	4524841	5685971	Connewitz	179	75.6	28.2	1.73	5.20
E4148	FREX	4524452	5685690	Connewitz	166	82.3	37.6	8.78	ca.7.50
E4644	FREX	4525205	5686555	Connewitz	165	80.1	38.3	ca. 6.15	ca.6.00
E4653	FREX	4525285	5686585	Connewitz	148	87.2	38.5	6.96	9.93
E4696a	FREX	4525162	5686799	Connewitz	159	75.1	33.1	4.44	11.81
E4745a	FREX	4525417	5685854	Connewitz	136	76.8	34.5	9.27	2.96
E4747a	FREX	4525420	5685892	Connewitz	130	76.9	35.4	4.99	8.59
E4802	FREX	4525646	5685528	Connewitz	143	76.3	30.2	8.15	7.53
E4816	FREX	4525856	5685413	Connewitz	165	78.0	33.2	6.37	7.79
B0020	ACPS	4520266	5693075	Burgaue	105	66.3	29.3	5.82	4.70
B0022	ACPS	4520154	5693119	Burgaue	122	65.5	30.5	4.65	4.71
B0054	ACPS	4520444	5692769	Burgaue	116	79.5	34.2	10.45	6.36
B0386	ACPS	4520768	5692052	Burgaue	87	68.2	29.1	ca. -0.5	3.21
B0398	ACPS	4521143	5691878	Burgaue	118	65.0	ca. 26.5	2.01	ca.2.90
B0399	ACPS	4521147	5691925	Burgaue	107	63.9	26.4	4.98	3.33
B0456	ACPS	4520907	5692689	Burgaue	157	60.7	29.8	3.41	3.42
B0467	ACPS	4521087	5692405	Burgaue	171	73.3	30.6	7.52	7.52
B0470	ACPS	4521252	5692571	Burgaue	168	87.9	29.6	7.97	4.24
B0518	ACPS	4521289	5692722	Burgaue	104	61.6	33.5	5.51	7.23
B0578	ACPS	4521269	5691903	Burgaue	120	72.1	31.3	7.56	7.79
B0581	ACPS	4521283	5692056	Burgaue	86	65.6	30.9	4.29	3.01
B1039	ACPS	4522455	5692407	Burgaue	131	65.2	27.4	8.82	6.19
B1358	ACPS	4524911	5687268	Connewitz	135	80.9	36.5	8.61	7.46
B1362	ACPS	4524855	5687218	Connewitz	129	62.5	32.2	6.68	7.03
B1413	ACPS	4524504	5686048	Connewitz	103	62.8	30.8	4.78	2.77
B1421	ACPS	4524608	5685975	Connewitz	182	69.2	28.9	4.96	5.02

Baum-nr.	Baum-art	Rechts-wert	Hoch-wert	Standort	Alter [a]	BHD [cm]	Höhe [m]	Krone [m] N	Krone [m] E
B1432	ACPS	4524281	5685947	Connewitz	103	75.2	27.8	4.42	3.55
B1473	ACPS	4525021	5686378	Connewitz	134	70.4	33.1	5.74	6.16
B1475	ACPS	4525054	5686681	Connewitz	57	62.8	27.7	6.88	ca. 8.00
B1478	ACPS	4524995	5686353	Connewitz	154	62.5	27.1	0.83	7.66
B1514	ACPS	4524836	5685726	Connewitz	123	59.7	32.4	6.95	9.55
B1527	ACPS	4524703	5685725	Connewitz	153	64.3	29.2	7.76	8.53
B1560	ACPS	4524823	5685154	Connewitz	137	62.6	27.8	4.56	3.91
B1571	ACPS	4524623	5685483	Connewitz	112	72.1	33.6	6.52	5.05
B1591	ACPS	4524780	5684865	Connewitz	110	64.5	33.4	5.6	2.92
B1653	ACPS	4525130	5686611	Connewitz	113	63.1	31.9	6.52	0.00
B1658	ACPS	4525526	5685566	Connewitz	133	77.6	24.5	7.02	ca. 8.00
B1672	ACPS	4525763	5685426	Connewitz	103	64.0	32.4	6.87	7.85
B1686	ACPS	4525525	5684057	Connewitz	118	68.4	19.0	ca. 7.00	ca. 3.50

Baum-nr.	Krone [m] S	Krone [m] W	Sozio-logie	Mikrotopologie
E1044	10.06	ca. 3.00	2	konvex, nach S abfallend (1,4%; 0,8°); ca.1m S Rückegasse; ca.60m N hinter Damm: Luppe
Ei173	7.91	8.09	2	eben, 2m E Weg
Ei234	8.91	ca. 12.00	2	eben, 1m W Floßgraben, hier abfallend
Ei243	ca. 7.50	6.38	2	eben, ca.5m W u. S Tümpel, sumpfig; ca.10m S Weg
Ei312	6.02	9.38	2	Wegböschung S u. W (19,1%, 10,8° zwischen Weg und Baum ansteigend)
10141	ca. 12.40	6.56	2	eben, leicht wellig; ca.7m leichter Graben, ca.13m E dammartige Struktur
10156	6.96	11.82	2	eben, ca.6m E Abflussrinne/Tümpel
10204	8.89	4.35	2	eben, leicht wellig, ca.12m N u. E Wassergräben, ca.25m W Abwassergraben
10205	5.69	5.24	2	eben, ca.12m N Wassergraben, ca.20m W Abwassergraben
10206	6.36	4.38	2	eben, direkt W Reitweg, ca.5m N Wassergraben, ganz leicht nach E abfallend
10209	8.54	5.09	2	eben, ca.8m N Wassergraben, ca.10m E Abwassergraben
10210	3.23	5.12	2	eben, ca.10m N Wassergraben, ca.10m E Abwassergraben
10309	3.57	5.03	2	konvex, ca.1m N trockener Graben (30,0%; 16,7° abfallend), nach S flach
10314	7.96	9.75	2	eben, konvex, ca.25m S trockener Graben, leicht wellig (1,7%; 1,0° abfallend)
10347	8.71	4.81	1	eben, ca.1m E Hundewasser-Graben, nach S abfallend (4,5%; 2,6°)
10401	9.38	6.69	1	eben, ca.100m N Luppe
10421	9.03	9.96	2	wellig, konkav, nach E in Mulde abfallend (5%; 2,8°)
10429	ca. 4.50	4.55	2	eben, ca.15m SW Wassergraben

Baum-nr.	Krone [m] S	Krone [m] W	Sozio-logie	Mikrotopologie
10443	9.24	8.64	2	eben, leicht wellig wegen Fahrspur (1m SW)
10779	ca. 6.80	10.17	1	eben, leicht konvex; ca.10m N Wassergraben; E,S,W: Wege ca.15-20m
10797	9.95	5.96	2	eben, rundherrum in ca.20m Wege, in ca.10m N trockener Graben
11262	11.75	10.56	1	eben, ca.24m W Wassergraben (wenig Bärlauch => trocken?)
11394	9.58	8.70	1	eben, leicht nach NW abfallend(Richtung 75° 3,5%; 2°)
11438	5.99	7.43	2	eben, ca.10m NNW Wassergraben
11537	5.30	ca. 9.00	1	eben, 7,5m zum Fluss, zum Fluss hin ca.2m abfallend
11547	6.43	6.24	1	wellig, konvex; am Waldrand auf Böschung stehend
11574	ca. 7.00	ca. 5.00	2	eben, am Rand eines Sumpfes
11598	12.61	7.41	2	eben, zwischen 2 Wegen unweit der Siedlung
11615	5.29	7.42	1	eben
11641	10.51	5.91	1	eben
E0070	7.59	3.39	1	eben, nach N abfallend (9%; 5,1°), ca.10m N Hundewasser-Graben,
E0101	11.01	9.10	2	von N nach S abfallend (4,6%; 2,7°), ca.15m S trockener Graben
E0297	9.75	8.03	1	flach, konvex: nach NE wellig abfallend (2,6%; 1,5°)
E0301	5.73	10.89	2	eben, ca.30m N eingetiefter Weg, anschließend Durchforstungsfläche (gefällte und stehen gelassene Bäume)
E0467	7.86	10.68	2	eben, Umgebung relativ sumpfig
E1274	9.89	9.11	1	eben
E1368	1.33	8.73	2	eben, ca.15m S ca.15m breiter, trockener Graben
E1441	7.21	6.64	2	eben, ca.12m W u. ca.15m N Wege
E1546	9.30	8.28	2	eben, leicht wellig, ca.8m N u. W Rückegassen, ca.15m E Hügel
E1732	9.80	9.10	2	konvex, wellig; in S direkt trockener Graben (hoher Wurzelansatz!)
E1733	8.66	6.51	2	eben bis konkav, zu den Wegen in S u. E ansteigend
E1748	7.81	7.20	2	eben, leicht wellig, konvex; 23,5m S Graben (3,2%; 1,8°) u. 10m N Vertiefung
E1805	5.71	9.02	2	eben, leicht konkav, nach N ansteigend (6,6%; 3,8°) - ca.4m N erhöhter Weg; ca.3m S Weg
E1838	13.46	4.54	2	eben, leicht wellig, nach SSE abfallend (7,3%; 4,2°)
E1895	2.26	9.21	2	eben, 1m W Reitweg, ca.10m W erhöhte Straße
E2249	10.33	3.22	2	an N-S-Dammkrone, nach W abfallend (2,8%; 1,6°); ca.10m W trockener Graben, ca.30m N Luppe (hinter E-W-Damm)
E2884	11.60	7.54	2	eben, ca.20m S, W u. N Wege
E2893	10.87	11.57	1	eben, 5m SE u. W Wege
E3193	5.93	7.73	1[1]	eben, leicht wellig durch Forst-Fahrspuren in E
E3378	5.33	11.75	2	eben, leicht wellig
E3577	ca. -1.0	8.90	2	eben, neben Rückegasse (ca.8m), vor kurzem gefällte Bäume

Baum-nr.	Krone [m] S	Krone [m] W	Sozio-logie	Mikrotopologie
E3991	7.57	7.47	2	eben, von Flussbiegung ungeben
E4148	10.26	10.88	1	eben, 1m E Graben => abfallend
E4644	9.72	ca. 3.00	2	eben
E4653	6.81	7.30	1	eben, zwischen Wegen
E4696a	5.11	6.63	2	eben, nach NW leicht abfallend
E4745a	7.31	11.00	1	eben, ca.15m W Weg
E4747a	8.48	8.57	1	eben mit sumpfiger Fahrspur
E4802	4.99	2.93	1	nach N (Fahrspur) 0,5m abfallend (10,7%; 6,1° in Richtung 379gon); 15m N Mühlgraben
E4816	4.02	7.09	2	eben
B0020	6.05	4.94	2	konvex, nach N abfallend (6,2%; 3,6°); Flussschleife ca.15m W,N,E (Hundewasser)
B0022	6.02	5.13	2	eben, ca.6m NW Hundewasser-Graben; in SW Baum umgestürzt - profitiert?
B0054	8.13	9.03	2	eben, ca.10m N eingetiefter Weg, dann vereinzelt gefällte Bäume
B0386	8.90	4.02	2	eben, ca.3m W Graben (12,1%; 6,9° abfallend), ca.8m W erhöhter Weg
B0398	7.05	5.30	2	auf Damm: an Wassergraben abgewandter Seite von Damm nach S stark abfallend (18,0%; 10,2° (ca.14m S Graben)), nach N leicht abfallend (1,1%;0,6°)
B0399	2.08	ca. 7.30	2	eben, ca.4m W Abwassergraben, ca.6m E Reitweg
B0456	4.06	3.91	2	konvex, ca.10m N kleiner Graben, dann erhöhter Weg u. Wiese, nach S abfallend (3,4%; 1,9°)
B0467	7.44	4.43	2	eben, ca.2m N kleine Mude (ca.3m ∅) (9,3%; 5,3° abfallend), ca.10m NE ca.1,5m tiefere Ebene beginnend
B0470	6.67	ca. 10.00	1	eben, nach N in ca.1m abfallend (5,6%; 3,2°); S freigestellt, W eingezäunte forstl. Mittelwaldfläche (Krone frei)
B0518	4.82	6.25	2	konvex, nach E in Mulde/Graben abfallend (4,3%; 2,5°), ca.8m W Rückegasse
B0578	5.55	5.51	2	eben, ca.5m S Reitweg, ca.12m S Wassergraben
B0581	5.87	3.78	2	eben, ca.15m NW Wassergraben
B1039	4.27	ca. 3.20	2	eben, leicht wellig; ca.50m N Luppe (hinter E-W-Damm), im NE rel. Licht
B1358	5.59	7.77	2	eben, ca.30-40m N erhöhte Straße
B1362	3.60	4.92	2	eben, ca.20m E erhöhter Weg, ca.30-35m N erhöhte Straße
B1413	6.49	7.18	2	eben, neben Rückegasse
B1421	3.08	6.80	2	eben, ca.17m S Graben, dazwischen erhöhter Weg
B1432	3.91	6.90	2	eben
B1473	6.26	6.77	2	konvex: nach E 6,5%, 3,7°; nach WNW 4,8%, 2,8° - trockene Gräben
B1475	4.31	ca. 4.30	2	eben, 1m W Weg, ca.4-5m E Floßgraben
B1478	8.01	1.41	2	eben, ca.3m E Weg, ca.15m E Floßgraben
B1514	6.88	5.86	2	eben

Baum-nr.	Krone [m] S	Krone [m] W	Sozio-logie	Mikrotopologie
B1527	3.39	4.95	2	eben, ganz leicht nach W abfallend (weg vom Weg)
B1560	5.84	5.46	1[1]	Hangneigung nach NW (7,3%; 4,2°) - Graben (ca.8,5m entfernt) mit anschließendem Tümpel
B1571	8.48	5.75	1	eben
B1591	5.54	7.18	2	ca.20m Floßgraben, nach NNE abfallend (2,2%; 1,3°)
B1653	7.87	9.93	2	nach NW in Mulde abfallend (6,2%; 3,8°)
B1658	6.18	2.62	2	konkav, zwischen Weg (S) u. Grundstück (E)
B1672	6.13	2.55	2	eben, nach E abfallend (2,5%; 1,4°)
B1686	ca. 7.50	ca. 8.50	1[2]	nach NE abfallend (10%; 5,8°), konvex

[1)] durch kürzliche Freistellung von herrschend zu vorherrschend

[2)] am Waldrand stehend

Baum-nr.	Schädigung	Bemerkung
E1044	einige Totäste in unterer Krone	nach S überhängend, Kronenmitte ca.5m S
Ei173	natürlicher Astabwurf, einige Totäste	Bohrkern feucht, schwarze Flecken - Pilz?
Ei234		1m W Floßgraben - W-Krone geschätzt
Ei243	Stammfäule, einige Totäste	sumpfig in 5m W u. S
Ei312		
10141	normaler Astabwurf, Totäste	Auwaldkran-Baum 3616 Qru
10156	einige Totäste, Stammfäule	ca.15m W Spielplatz; keine Nr. aber passende Position
10204	Rindenschäden, einige Totäste, Stammfäule	leicht nach S geneigt; ca.25m W Abwassergraben (dunkelgraue, stinkende Brühe)
10205	Totäste, Rindenschäden, Stammfäule	leicht nach S geneigt; evtl. fehlt ein Teil aus der Mitte (ca.2/3 nach außen), aber nichts auf Boden gefunden
10206	einige Totäste, Stammfäule	direkt an Reitweg
10209	einige Totäste, Astabbrüche, Stammfäule	leicht nach S geneigt
10210	Totäste, Stammfäule	bisher kaum Laub ausgeschlagen (im Ggs. zu anderen QURO)
10309	wenige Totäste, beginnende Kernfäule, Rindenschäden	leicht unterhöhlt
10314	normaler Astabwurf, Totäste	leicht unterhöhlt, Wildschweingrabung neben Wurzelfuß
10347	faulige Totäste, beginnende Stammfäule	2 Bohrungen, 2. Bohrkern geteilt (1+2)
10401	Stammfäule	kleiner Bohrer, da kein Hilfsbaum
10421	einige Totäste, Wulst an Wurzelansätzen	kleiner Bohrer, da kein Hilfsbaum
10429	Totäste, Rindenschäden, Astabbrüche	leicht unterhöhlt, kleiner Bohrer

Baum-nr.	Schädigung	Bemerkung
10443	einige Totäste	sehr licht, Fällarbeiten in naher Umgebung, v.a. junge Bäume (Buchen, Ahorn); kleiner Bohrer, da kein Hilfsbaum
10779	normaler Astabwurf	
10797	wenige Totäste	
11262		überragt umgebende, schon ausgeschlagene Bäume (v.a. Hainbuchen) - Krone im N nur geschätzt
11394	nur niedere Äste tot/ abgeworfen	kleiner Bohrer, da kein Hilfsbaum; nahe Hochsitz
11438	Totäste in Kronenhöhe	leicht gebohrt, schwer raus
11537	Totäste, Kernfäule	nach W überhängend, Krone nach W geschätzt; Bohrkern gebrochen
11547	einige wenige Totäste	Krone reicht rel. weit nach unten (7,5m)
11574	Astabbrüche durch Fällung gegenüber	Stamm leicht zum Sumpf überhängend; Krone geschätzt
11598	einzelne Totäste	Wege verlaufen E-W parallel (ca.15m Abstand zueinander)
11615	einige Totäste	Pfadnähe
11641	normale Astreinigung	Waldkante verloren => 2.Bohrung
E0070		SW umgestürzter Baum, NW Wassergraben - rel. freistehend
E0101	wenige Totäste	nach S überhängend, Kronenmitte 4,5m S
E0297	einige Astabbrüche in Kronenhöhe	in ca.30m-Radius einige große umgestürzte Bäume - Freistellung? (evtl. aber auch schon größer als diese gewesen)
E0301		Zwiesel in 9,4m Höhe
E0467	Totäste	Stockaussschlag; kleiner Bohrer, da kein Hilfsbaum
E1274	einige Totäste	beginnender Efeubewuchs, Stockausschläge, ca.35m S Feld
E1368	normale Astabbrüche	auf NW-Seite starke Einkerbung ab Wurzelanlauf bis ca.1m Höhe (Gegenseite angebohrt)
E1441		Stockausschläge; Stamm leicht nach N geneigt, in Krone wieder ausgeglichen
E1546	einige Astabbrüche	im N rel. frisch durchforstete Fläche
E1732	einige Totäste	an Kante eines trockenen Grabens stehend
E1733	Totäste	
E1748		15m u. 20m WNW gefällte Bäume
E1805	wenige Totäste	zwischen 2 parallelen Wegen
E1838	Astabbruch, wenige Totäste	Krone leicht nach S geneigt, Kronenmitte ca.4,3m S
E1895	wenige Totäste	leichter Drehwuchs, Stockausschlag, Stamm ± dreieckig (an Mitte vorbei); kleiner Bohrer, da kein Hilfsbaum
E2249	rel. frischer Astabbruch	nach SE überhängend, Kronenmitte: ca.3m SE
E2884	Astabbruch, Kernfäule	
E2893	wenige Totäste	
E3193	Fäll- u. Rückeschäden an Rinde	vor kurzem (3-4a) Freifläche geschaffen (E), Baum am Rand stehend
E3378		Zwiesel in 7m Höhe

Baum-nr.	Schädigung	Bemerkung
E3577		vor kurzem auf S-Seite wahrscheinlich dominante FREX gefällt => ausweichender Wuchs - Kronenmitte ca.6m N; welliger Stamm
E3991		
E4148		auf Grabenseite Wurzeln freigelegt (von Tier gegraben)
E4644		Stockausschläge, Krone z.T. von umgebenden Laub verdeckt - geschätzt
E4653		
E4696a		ca.1m S und ca.5m W trockener Wassergraben (macht Bogen)
E4745a	Astabbruch in Krone, Efeu	
E4747a	Astabbruch in Krone, ganz wenig Efeu	17,5m W Weg
E4802		
E4816	Totäste, Efeu, Kern beginnende Zersetzung durch Fäule	in Pflanzung von Jungbäumen; Bohrkern mehrmals gebrochen
B0020		Krone auf N-Seite schon bei 4m Höhe beginnend
B0022	wenige Totäste	2 Bohrungen (bei A fehlt WK)
B0054		Zwiesel in 7,2m Höhe
B0386	Stammfäule	nach S überhängend, Kronenmitte ca.4,3m S; leichter Efeubewuchs
B0398	einige Totäste	Efeubewuchs, nach S geneigt, Kronenmitte ca.2,2m S; ca.10m W Feld, ca.8m E Abwassergraben
B0399	wenige Totäste	Stockausschläge, leichter Drehwuchs
B0456	Totäste im unteren Kronenbereich	noch nicht ausgetrieben (im Ggs. zu anderen ACPS)
B0467	wenige Totäste, Rindenschäden	Wülste an Wurzelanläufen, Stockausschlag
B0470	Rindenschäden, beginnende Kernfäule	Drehwuchs, nach W überhängend
B0518	Stockausschläge	2 Bohrungen (90° versetzt); ca.20m SW rel. neuer Kahlschlag - mehr Licht?
B0578	Stockausschlag	leicht schräger Wuchs im unteren Stammbereich
B0581	einige Totäste	
B1039		Stamm ± dreieckig, Krone NE-ausgerichtet (Stamm aber nicht schräg!)
B1358	wenige Totäste	Efeubewuchs, Zwiesel in 5,9m Höhe; 2 Bohrungen - in A evtl. keine WK
B1362	wenige Totäste	leichter Drehwuchs, vor kurzem 5m S Baum gefällt - hier rel. frei stehend
B1413		am Rand von vor kurzem angelegter Lichtung - viele Bäume gefällt
B1421	Kernfäule	

Baum-nr.	Schädigung	Bemerkung
B1432		Zwiesel in 9m Höhe
B1473	einige Totäste	Drehwuchs, ca.25m SSE Floßgraben
B1475		nach E (Fluss) überhängend - Kronenmitte ca.3m E (Krone geschätzt); Stockausschlag
B1478		nach S überhängend - Kronenmitte 4,3m S (Richtung Floßgraben)
B1514		Zwiesel in 4,7m Höhe
B1527	Totäste, v.a. untere Krone, Kern leicht verfärbt	nach E zum Weg überhängend, Stockausschlag
B1560		Kronenlücke, steht gleich neben Stumpf von B1559
B1571		bei erstem Bohrkern Mitte sehr schräg
B1591		
B1653	etwas Efeu	nach W überhängend, Kronenmitte ca.2,5 - 3m WNW
B1658	Totäste, beginnende Zersetzung im Stamm (Kernfäule)	Grundstücksgrenze u. Weg erhöht, anschließender Wald eben; ca.20m S Fluss
B1672	Totäste	Eschen im Umkreis übernehmen bald
B1686	einige Totäste u. Astabbrüche (z.T. auf Gartengrundstück gefallen)	in unmittelbarer Hausnähe, gleich daneben Komposthaufen - z.T: sehr gut gewachsen, Stockausschläge, SSE-Neigung (Randbaum); Krone geschätzt

Die Aufnahme von Baumhöhen und Kronenprojektionen konnte z.T. nicht genau erfolgen, da bereits ausgeschlagenes Laub die Sicht behinderte. Einige Bäume wuchsen direkt an einem Wassergraben oder Zaun, was ebenfalls die exakte Messung verhinderte. Aus diesem Grund wurden einige Größen nur geschätzt. Diese sind in Tabelle A.1 mit „ca.“ kenntlich gemacht.

Tabelle A.2: Korrekturen der Vermessungen der Jahrringe zur Datierung
(ACPS: *Acer pseudoplatanus*, QURO: *Quercus robur*)

Korrektur	Baumnr.	Baumart	betroffene Jahrringe
eingefügte Jahrringe	B0386	ACPS	1987 - 1988
	B0456	ACPS	1939, 1960 - 1961
	B1039	ACPS	1950
	B1358	ACPS	1922, 1941 - 1944
	B1362	ACPS	2008
	B1413	ACPS	1951
	B1432	ACPS	1982
	B1478	ACPS	1967
	B1527	ACPS	1996 - 1999
	B1560	ACPS	1943 - 1944
	B1658	ACPS	1921, 1964, 1978, 1998
	10205	QURO	1949 - 1953
	10210	QURO	1853, 1859
	10421	QURO	1882, 1885
	10429	QURO	1893
	11574	QURO	1942 - 1943
	11615	QURO	1878, 1889
gelöschte / addierte Jahrringe	B0456	ACPS	1980
	B1358	ACPS	1960 - 1962
	B1362	ACPS	1982
	B1413	ACPS	1985
	B1478	ACPS	1953 + 1954
	B1527	ACPS	1956
	B1658	ACPS	1963, 2001 - 2003
	B1672	ACPS	1962
	10429	QURO	1828 + 1829
	11537	QURO	1882 + 1883
umdatiert	B0399	ACPS	2008
	B0456	ACPS	2008
	B1421	ACPS	2008
	B1432	ACPS	2007
	B1653	ACPS	2005
	B1686	ACPS	2008

Literaturverzeichnis

Aas, Gregor: *Baum des Jahres 1989 : Quercus robur*. In: Bäume Mitteleuropas : Von Aspe bis Zirbel-Kiefer. Herausgeber: Roloff, Andreas; Weisberger, Horst; Lang, Ulla M.; Stimm, Bernd. Wiley-VCH Verlag Weinheim (2010) S. 121 - 134

Cook, E. R.; Peters, K.: *The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies*. Tree-Ring Bulletin 41 (1981) S. 45 - 53

Cook, E. R.; Briffa, K.; Shiyatov, S.; Mazepa, V.; Jones, P. D.: *Data Analysis*. In: Methods of Dendrochronology : applications in the environmental science. Herausgeber: Cook, E. R.; Kairiukstis, L. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1990) S. 97 - 162

Crawley, Michael J.: *The R Book*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester (2007)

Deiller, Anne-Frédérique; Walter, Jean-Michel N.; Trémolières, Michèle: *Effects of flood interruption on species richness, diversity and floristic composition of woody regeneration in the Upper Rhine alluvial hardwood forest*. Regulated Rivers : Research and Management 17 (2001) S. 393 - 405

Deutscher Wetterdienst: Klimadaten Halle, Stadt; Leipzig, Holzhausen, Leipzig, Mockau; Schkeuditz und Niederschlagsdaten Eilenburg

Dister, Emil: *Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen an lehmigen Standorten*. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 10 (1981) S. 325 - 336

Dister, Emil: *Ökologie der mitteleuropäischen Auenwälder*. In: Die Auenwälder gestern und heute - und morgen? Herausgeber: Wilhelm-Münker-Stiftung. Druckhaus KAY, Kreuztal (1988) S. 6 - 30

Dobrowolska, Dorota; Hein, Sebastian; Oosterbaan, Anne; Skovsgaard, Jens-Peter; Wagner, Sven: *Ecology and growth of European ash (Fraxinus excelsior L.).* http://www.valbro.uni-freiburg.de/ (2008) 35 Seiten

Eißmann, Lothar; Tinapp, Christian: *Zur Entwicklung des Leipziger Raums während des Quartiärs unter besonderer Berücksichtigung der jüngeren Zeit*. In: 4. Leipziger Auwaldsymposium: Der Leipziger Auwald und das Wasser. Herausgeber: Stadt Leipzig, Dezernat für Umwelt/Ordnung/Sport, Amt für Umweltschutz (2005) S. 5 - 9

Ellenberg, Heinz: *Die Vegetation Mitteleuropas und der Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht.* 5. Auflage, Ulmer-Verlag, Stuttgart (1996) S. 379 - 417

Friedrichs, Dagmar A.; Büntgen, Ulf; Frank, David C.; Esper, Jan; Neuwirth, Burkhard; Löffler, Jörg: *Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany*. Tree Physiology 29 (2008) S. 39 - 51

Fritts, Harold C.: *Dendroclimatology and Dendroecology.* Quaternary Research 1 (1971) S. 419 - 449

Frye, Jonathan; Grosse, Wolfgang: *Growth Response to Flooding and Recovery of Deciduous Trees.* Zeitschrift für Naturforschung 47c (1992) S. 683 - 689

Gläser, Judith: *Die Esche (Fraxinus excelsior L.) : ein Baum des Leipziger Auwaldes?* Forstwissenschaftliches Centralblatt 120 (2001) S. 114 - 121

Gläser, Judith; Schmidt, Peter A.: *Zur historischen Entwicklung des Baumartenbestandes von Hartholz-Auenwäldern - dargestellt am Beispiel des Leipziger Auenwaldes*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 178 5/6 (2007) S. 90 - 97

Glenz, Christian; Schlaepfer, R.; Iorgulescu, I.; Kienast, F.: *Flooding tolerance of Central European tree and shrub species*. Forest Ecology and Management 235 (2006) S. 1 - 13

Grissino-Mayer, Henri: *Research Report : Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial fort the computer program COFECHA*. Tree-Ring Research 57/2 (2001) S. 205 - 221

Gutte, Peter: *Die Pflanzen*. In: Der Leipziger Auwald - ein verkanntes Juwel der Natur. Herausgeber: Müller, Gerd K.; 1. Auflage, Urania-Verlag, Leipzig Jena Berlin (1992) S. 21 - 33

Gutte, Peter: *Flora der Stadt Leipzig einschließlich Markkleeberg*. Weißdorn-Verlag, Jena (2006)

Haase, Dagmar; Gläser, Judith: *Determinants of floodplain forest development illustrated be the example of the floodplain forest in the District of Leipzig*. Forest Ecology and Management 258 (2009) S. 887 - 894

Hartmann, Helmut: *Die Gewässer der Flussauen*. In: Der Leipziger Auwald - ein verkanntes Juwel der Natur. Herausgeber: Müller, Gerd K.; 1. Auflage, Urania-Verlag, Leipzig Jena Berlin (1992) S. 20 - 21

Holmes, Richard L.: *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. Tree-Ring Bulletin 43 (1983) S. 69 - 78

Jensen, J. K.; Rasmussen, L. H.; Raulund-Rasmussen, K.; Borggaard, O. K.: *Influence of soil properties on the growth of sycamore (Acer pseudoplatanus L.) in Denmark.* European Journal of Forest Research 127 (2008) S. 263 - 274

Kasperidus, Hans D.; Klimo, Emil; Müller, Gerd K.; Richter, Wilfried; Sickert, Andreas: *The Urban Floodplain Forest Ecosystem of Leipzig*. In: The Floodplain Forests in Europe : current Situations and Perspectives. Herausgeber: Klimo, Emil; Hager, Herbert. European Forest Institute Research Report 10 (2000) S. 127 - 145

Knibbe, Bernhard: *COREM : Cofecha Remote Control*. SCIEM (2004)

Köstler, Josef Nikolaus; Brückner, Ernst; Bibelriether, Hans: *Die Wurzeln der Waldbäume : Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa*. Parey-Verlag Hamburg (1968)

Kramer, Koen; Vreugdenhil, Stefan J.; van der Werf, D.C.: *Effects of flooding on the recruitment, damage and mortality of riparian tree species: A field and simulation study of the Rhine floodplain*. Forest Ecology and Management 255 (2008) S. 3893 - 3903

Kutschera, Lore; Lichtenegger, Erwin: *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*. 6. Band der Wurzelatlas-Reihe. Stocker-Verlag Graz Stuttgart (2002)

Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden: Grundwasserstanddaten von Rückmarsdorf; Schkeuditz, Kleinliebenau, Gasthof Liebenau; Schkeuditz/04435, Schkeuditz, Geo 0085/2c, B21/62; Schkeuditz; Dölzig; Leipzig, Hauptfeuerwache/04109; Floßplatz, Geo 0001/3d/04107; Leipzig, Brückenstraße/04249; Leipzig-Auewald/04249; Auewald/04249

Lange, Otfried: Die *Geschichtliche Entwicklung des Leipziger Stadtwaldes*. Inauguraldissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Naturwissenschaftlich-mathematischen Fakultät der Albert-Ludwig-Universität Freiburg/Brsg. (1959)

Lorimer, Craig G.; Dahir, Sally E.; Singer, Matthew T.: *Frequency of partial and missing rings in Acer saccharum in relation to canopy position and growth rate*. Plant Ecology 143 (1999) S. 189 - 202

Marigo, Gérard; Peltier, Jean-Paul; Girel, Jacky; Pautou, Guy: *Success in the demographic expansion of Fraxinus excelsior L.* Trees 15 (2000) S. 1 - 13

Mayer, Hannes: *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. 4. Auflage, Gustav Fischer-Verlag Stuttgart, Jena, New York (1992)

Mund, M.; Kutsch, W. L.; Wirth, C.; Kahl, T.; Knohl, A.; Skomarkova, M. V.; Schulze, E.-D.: *The influence of climate and fructification on the inter-annual variability of stem growth and net primary productivity in an old-growth, mixed beech forest*. Tree Physiology (2010) S. 1 - 16

Pacala, Stephen W.; Canham, Charles D.; Silander, Jr., John A.; Kobe, Richard K.: *Sapling growth as a function of resources in a north temperate forest*. Canadian Journal of Forest Research 24 (1994) S. 2172 - 2183

Richter, Hans; Schönfelder, Günther: *Leipziger Land*. In: Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 257: Naturräume in Sachsen. Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag Leipzig (2008) S. 99 - 107

Röhrig, Ernst; Bartsch, Norbert; von Lüpke, Burghard: *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. 7. Auflage, Eugen Ulmer-Verlag Stuttgart (2006)

Roloff, Andreas: *Bäume : Phänomene der Anpassung und Optimierung*. Ecomed-Verlagsgesellschaft Landsberg / Lech (2004) S. 205 - 206

Roloff, Andreas; Pietzarka, Ulrich: *Baum des Jahres 2001 : Fraxinus excelsior*. In: Bäume Mitteleuropas : Von Aspe bis Zirbel-Kiefer. Herausgeber: Roloff, Andreas; Weisberger, Horst; Lang, Ulla M.; Stimm, Bernd. Wiley-VCH Verlag Weinheim (2010) S. 159 - 173

Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF), Fachbereich Forstliche Informationssysteme / Betriebswirtschaft: Datenblätter des Waldinformationssystems Sachsen (WIS) / Schlüsselverzeichnis (2003)

Sánchez-Pérez, José Miguel; Lucot, Eric; Bariac, Thierry; Trémolières, Michèle: *Water uptake by trees in a riparian hardwood forest (Rhine floodplain, France)*. Hydrological Processes 22, (2008) S. 366 - 375

Schlittgen, Rainer: *Statistische Auswertungen : Standardmethoden und Alternativen mit ihrer Durchführung in R*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag München, Wien (2004)

Schmidt, Olaf; Roloff, Andreas: *Baum des Jahres 2009 : Acer pseudoplatanus*. In: Bäume Mitteleuropas : Von Aspe bis Zirbel-Kiefer. Herausgeber: Roloff, Andreas; Weisberger, Horst; Lang, Ulla M.; Stimm, Bernd. Wiley-VCH Verlag Weinheim (2010) S. 3 - 28

Schönfelder, Günther: *Bergbaurevier Südraum Leipzig*. In: Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 257: Naturräume in Sachsen. Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag Leipzig (2008) S. 108 - 115

Schütt, Peter; Schuck, Hans Joachim; Stimm, Bernd: *Lexikon der Baum- und Straucharten : Das Standardwerk der Forstbotanik*. Lizenzausgabe für Nikol Verlagsgesellschaft Hamburg (2007)

Schweingruber, Fritz Hans: *Treerings : basic and applications of dendrochronology*. D. Reidel Publishing Company Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo (1988) S. 81 - 92

Schweingruber, Fritz Hans: *Anatomie europäischer Hölzer : Anatomy of European woods.* Herausgeber: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmersdorf. Paul Haupt Verlag, Bern und Stuttgart (1990)

Schweingruber, Fritz Hans: *Tree Rings and Environment : Dendroecology*. Herausgeber: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP, Birmersdorf. Paul Haupt Verlag Bern, Stuttgart und Vienna (1996)

Sickert, Andreas: *Forestry management systems applied to Leipzig's floodplain forest*. Forest Management Systems and Regeneration of Foodplain Forest Sides. Reviewed Proceedings from the International Conference, Brno 8. - 9.10.2007 S. 61 - 72

Späth, Volker: *Biotope in Baden-Württemberg 7 : Bruch-, Sumpf- und Auwälder*. Herausgeber: Umweltministerium Baden-Württemberg (1995) S. 10 - 18

Staatliches Umweltfachamt Leipzig: *Leipziger Grundwasser - quo vadis?* : *Beschreibung der Grundwasserverhältnisse im Großraum Leipzig*. Herausgeber: Das Lebensministerium, Freistaat Sachsen, Staatliches Umweltfachamt Leipzig (2003)

Stadt-Kultur-Projekt Leipzig:: *Die Leipziger Gewässer von der Jahrtausendwende bis zur Gegenwart*. Neue Ufer 3 (1995) S. 23 - 25

Stadt Leipzig, Amt für Stadtgrün und Gewässer Abteilung Stadtforsten: *Starkbaumkartierung*. 1998 und 2005/06 (unveröffentlicht)

Stoffel, M; Bollschweiler, M.: *Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview*. Natural Hazards an Earth System Sciences 8 (2008) S. 187 - 202

Tardif, Jacques; Brisson, Jacques; Bergeron, Yves: *Dendroclimatic analysis of Acer saccharum, Fagus grandifolia, and Tsuga Canadensis from an old-growth forest, southwestern Quebec*. NCR Research Press Web: http://cjfr.nrc.ca (2001)

Thomas, Frank M.; Hartmann, Günther: *Tree rooting patterns and soil water relations of healthy and damaged stands of mature oak (Quercus robur L. and Quercus petraea [Matt.] Liebl.)*. Plant and Soil 203 (1998) S. 145 - 158

Volk, Helmut: *Zur Natürlichkeit der Esche (Fraxinus excelsior L.) in Flussauen Mitteleuropas : Is Ash (Fraxinus excelsior L.) Native to Central European Flood Plains?* Forstwissenschaftliches Centralblatt 121 (2002) S. 128 - 137

Wenk, Günther; Antanaitis, Vaidotas; Šmelko, Štefan: *Waldertragslehre*. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin (1990)

Yang, S.; Tyree, M. T.: *A theoretical model of hydraulic conductivity recovery from embolism with comparison to experimental data on Acer saccharum*. Plant Cell and Environment 15 (1992) S. 633 - 643

Internetquellen

Bundesamt für Naturschutz: *Rote Liste der Pflanzengesellschaften*. URL: http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/RoteListePflanzengesellschaften.pdf (zuletzt besucht am 12.08.2010)

NABU - Regionalverband Leipzig e. V.: *kulkwitzersee.com*. URL: http://www.kulkwitzersee.com/information/history/ (zuletzt besucht am 02.08.2010)

Stadt Leipzig: *Stadtwald / Auwald: Wissenswertes*. URL: http://www.leipzig.de/de/buerger/freizeit/leipzig/stadtwald/wissen/ (zuletzt besucht am 21.07.2010

Alexandra Bähring
alexandra_baehring@yahoo.de