universität wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Problematik der dendrochronologischen Analyse an Stadtbäumen der Arten *Acer pseudoplatanus* und *Acer platanoides*

verfasst von

Stefan Suette

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, im November 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 444
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Diplomstudium Ökologie (Stzw.) UniStG.
Betreut von:	ao. Univ.-Prof. i.R. Dr. Roland ALBERT

0 Danksagung

Roland Albert
Otto Cichocki
Gerhard Draxler
Michael Grabner
Andreas Gros
Daniela Gruber
Anne-Mette Hanak
Sandra Karnitsch
Waltraud Klepal
Norma Zoe Neszi
Pleunie Pennings
Sabine Schmid
Marion Truppe
Fritz Hans Schweingruber (SchweizWSL)
Familie Suette
Wolfgang Waitzbauer
Margarete Watzka

StRV/ StV Biologie, Österreichische HochschülerInnenschaft
FTW, Forschungszentrum Telekommunikation Wien
Stadt Wien, MA 22 Umweltschutz
Stadt Wien, MA 42 Wiener Stadtgärten
Stadt Wien, MA 48 Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark

Ich möchte allen angeführten Personen für ihre Anteilnahme an dieser (meiner) Arbeit danken. Ohne ihre Geduld sowie finanzielle, moralische und inhaltliche Hilfe, sowie dem Beisteuern neuer Ideen beziehungsweise Umsetzungshilfen für neue Konzepte am Ende einer Versuchsserie wäre die vorliegende Diplomarbeit nicht möglich gewesen.

Ich möchte dringend darauf hinweisen, eine dendrochronologische Diplomarbeit nur dann zu beginnen, wenn bereits einschlägige Erfahrungen mit der Technik gesammelt wurden.

0 Inhaltsverzeichnis

0 DANKSAGUNG 2

0 INHALTSVERZEICHNIS 4

1 EINLEITUNG 8

1.1 Ziel der Arbeit 8

1.2 Bäume in der Stadt 9

1.3 Stressoren für Stadtbäume 9

1.4 Der Einfluss von NaCl-haltigem Streusalz auf die Umwelt 11

1.5 Verbreitung und Ökologie der Arten *Acer pseudoplatanus* & *Acer platanoides* im Wiener Raum 13

1.6 Dendrochronologie 14

1.7 Holzanatomie 14

1.8 Anatomie zerstreutporiger Gehölze 16

1.9 Das Erstellen von Chronologien 18

1.10 Die Auswirkung von Umwelteinflüssen auf die Bildung von Jahrringen 20

1.11 Zerstreutporige in der Dendrochronologie 21

1.12 Färbetechniken in der Dendrochronologie 25

1.13 Röntgenenergiedispersive Elementanalyse an Holzproben 25

2 MATERIAL UND METHODEN 27

2.1 Standorte und Bäume 27

2.1.1 Historische Kurzbeschreibung der Standorte 28

2.1.1.1 Standort Oberzellergasse 28

2.1.1.2 Standort Schottenring 28

2.1.1.3 Standort Votivpark 29

2.2 Probennahme 30

2.3 Probenvorbereitung 31

2.4 Dendrochronologische Analyse 32

2.4.1 Allgemeines 32

2.5 STATISTIK 33
2.5.1 Deskriptive Statistik 33
2.5.2 Mittelkurven 34
2.5.3 Das Aneinanderfügen der Einzelkurven zu Baummittelkurven 35
2.5.4 Das Gewinnen von Kollektivmittelkurven 35
2.5.5 Alignmenterstellung und Gleichläufigkeitsberechnungen 36

2.6 Digitale und mikroskopische Jahrringmessung 38
2.6.1 Details zur digitalen Messung der Jahrringe 38
2.6.2 Details zur mikroskopischen Analyse (Messtisch) 39
2.7 Qualitätskontrolle der Probenvorbereitung und der digitalen Messmethode 41
2.7.1 Automatisiertes Alignment der Bohrkerne mittels R 42
2.8 Färbeexperimente 44
2.9 Voruntersuchung zur Analyse der Proben im REM mittels EDAX-Sensor 45

3 ERGEBNISSE 49
3.1 Die untersuchten Bäume 2005 bis 2013 49
3.2 Vergleiche der Messmethoden und Qualitätskontrolle 55
3.2.1 Digitale Methode 55
3.2.2 Vergleich der Arbeitsschritte 4-6: Qualitätskontrolle der Probenaufbereitung 56
3.2.3 Mikroskopie Methode (Messtisch), 1. Analyseversuch Tsap 3.6 59
3.2.4 Gleichläufigkeitsberechnungen mittels R (Pennings 2010) 60
3.2.5 Vergleich digitale und mikroskopische Analyse - Qualitätskontrolle, Arbeitsschritt 8: Gleichläufigkeitsberechnungen mittels R (Pennings 2010) 61
3.2.6 Dendrochronologische Analyse der beprobten Bäume 61
3.2.7 mikroskopische Methode 63
3.2.8 Vergleich der Bearbeitung der Datensätze aus der mikroskopischen Analyse mit Tsap 3.6 und Tsap Win 63
3.3 Färbungen 72
3.4 Ergebnisse einer Voruntersuchung von Proben mittels REM und EDAX-Sensor 75

4 DISKUSSION 80
4.1 Die untersuchten Bäume 2005 bis 2013 80
4.2 Qualitätskontrolle 82
4.3 Messtischanalyse 82
4.4 Unterschiede der Messverfahren (Bildschirm, Lupe, Scanner) 84
4.5 Der Ahorn als schwieriges Untersuchungsobjekt der Dendrochronologie 88
4.5.1 Anatomie und Wuchsverhalten 88
4.5.2 Morphologie 89
4.6 Ökologie 91
4.7 Probennahme und Vorbereitung 91
4.7.1 Vermessung der Bohrkerne (Arbeitsplatz, Durchführung) 92
4.7.2 Scanner, Messtisch, Dünnschnitt 93
4.8 Röntgenenergiedispersive Elementanalyse an Holzproben 95

5 EMPFEHLUNGEN 96
5.0.1 Zur Dendrochronologie in der Stadt 96
5.0.2 Zu Ahorn: welche methodischen Erweiterungen wären noch möglich - doch Färbungen? 96

6 ABSTRACT 98
Dendrochronological analysis problems in urban trees of the species *Acer pseudoplatanus* and *Acer platanoides*

7 ZUSAMMENFASSUNG 99
Dendrochronologische Analyseprobleme an Stadtbäumen der Arten *Acer pseudoplatanus* und *Acer platanoides*

8 ANHANG 100

8.0.1 Parse rubi 100

8.0.2 R 102

8.0.3 Wiener Baumkataster 107

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 108

10 TABELLENVERZEICHNIS 113

11 LITERATURVERZEICHNIS 117

12 CURRICULUM VITAE 126

1 EINLEITUNG

1.1 Ziel der Arbeit

Die vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „Erhebung der Streusalz- und Trockenbelastung von Alleebäumen in Wien“ der Stadt Wien MA 22, Umweltschutz MA 42, Wiener Stadtgärten und MA48, Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark zur Feststellung des Effektes von Streusalz und Bodensanierungen im Bereich von Alleen (Albert 2007) mit dem Ziel durchgeführt, die genannten Faktoren in den ermittelten Baumkurven feststellen zu können. So wurde die Wiener Ringstraße bis etwa 1989 aufwendig saniert (Albert 1993), und der Effekt sowie etwaige neuerliche Verschlechterungen sollten hier gezeigt werden können. Die Gattung *Acer* spec. gilt in Mitteleuropa als beliebter einheimischer Stadtbaum (Albert 1989, 1993), in Hamburg stellt sie 1981 die 3. häufigsten Baumarten (Eckstein 1981). Für Wien wird die lokale Verbreitung der vorkommenden Arten in dem Bildband „Wiens Pflanzenwelt“ (Vitek 2004) angegeben. Aus eben genannten Gründen wurden gerade diese Arten für dieses Projekt gewählt. Die Problematik der hier behandelten Arten für die dendrochronologische Analyse führte dazu, dass die eigentliche Fragestellung den Rahmen einer Diplomarbeit sprengte, da zunächst methodische Probleme analysiert und bearbeitet werden mussten. Die vorliegende Arbeit stellt daher einen Vergleich der mikroskopischen Analyse mit der digitalen, scannergestützten Analyse her, testet verschiedene Färbemethoden um die Jahrringerkennung zu verbessern und führt Qualitätskontrollen durch, um methodische Einflüsse zu erkennen. Um chemische Analysen zum Salzgehalt durchführen zu können, wurden Alternativen zur klassischen Messung im Holz ebenfalls verfolgt. Diese auf der Verwendung von Möglichkeiten der Elementanalyse am Rasterelektronenmikroskop basierende Methodik sollte die Option generieren, entsprechende Ergebnisse mit relativ geringen Schäden an der Probe zu erhalten. Schließlich gibt die Arbeit noch Ausblick auf mögliche fortführende dendrochronologische Fragestellungen in Bezug auf Ahorne.

1.2 Bäume in der Stadt

Bäume haben in menschlichen Siedlungen lange Tradition (Devecchi 2004). So dienten in Mitteleuropa unter anderem Linden im Mittelalter als Orte der Gerichtsbarkeit (Meyer 1982, Lück 2004). Seit dem 18. Jahrhundert gibt es in Europa Bemühungen, die innerstädtische Landschaft zu begrünen (Devecchi 2004). In Wien gibt es im Landesgesetzesrang unter der Nummer L 540-000 zur Erhaltung der Bäume im Gebiet der Stadt Wien zumindest seit 1974 das Wiener Baumgesetz (Wiener Landtag 2001). Der erste Satz macht die Bedeutung der innerstädtischen Bäume deutlich, Zitat: „Zur Erhaltung einer gesunden Umwelt für die Wiener Bevölkerung ist der Baumbestand im Gebiete der Stadt Wien nach den Bestimmungen dieses Gesetzes geschützt ohne Rücksicht darauf, ob er sich auf öffentlichem oder privatem Grund befindet."

1.3 Stressoren für Stadtbäume

Trotzdem Bäume schon lange bewusst im Stadtbild vorkommen, ist die Stadt ein Ort besonderer Belastungen für Bäume (Wresowar 2000, Maron 2007), die durch die in Kombination mit der Klimaerwärmung wahrscheinlich verstärkt vorkommenden Wetterextreme noch verschärft werden. Für Wien gilt hier besonders die zu erwartende größere Häufigkeit von Trockenperioden (Albert 2007).

Generell wirken auf Pflanzen klimatische Faktoren sowie Wasser und Nährstoff-verfügbarkeit (Penninckx 1999) und die direkte Konkurrenz um diese ein. Die Jahresringe von Bäumen stellen eine direkte Aufzeichnung über die Einwirkungen dieser Stressoren auf das Baumindividuum dar (Smith 2008). Dazu kommen noch Krankheiten und Schädlinge.

In der Stadt erweisen sich diese Stressfaktoren durch kombiniertes Einwirken auf den Baum als besonders belastend (Albert 1989).



Abb. 1: Durch Urin geschädigter Stamm eines *Acer platanoides* der Heinestraße (Albert 2007). Ähnliche Schadmuster sind besonders am Gürtel aufgefallen (Aufnahme 11.8.2005).

Durch zunehmende Bodenverdichtung und -versiegelung werden die Wurzeln und ihre Leistungsfähigkeit beeinträchtigt (Eckstein 1981). Besonders hohe Kohlendioxidwerte und Verhältnisse, wie sie durch Staunässe auftreten, können zum Absterben der Wurzeln führen (Watson 2004). Bodenverschmutzung durch Abfälle und Lecks vergiften den Boden (Eckstein 1981). Seit der Zunahme des Individualverkehres hat auch dieser die Situation urbaner Bäume verschlechtert. Die Schadstoffbelastung der Luft (Albert 1989), v.a. Ozon (Silfver 2008), greift das Laub an, welches als Ort der Photosynthese die Basis für die Ernährung des Baumes darstellt; auch erhöhte Staubbelastung reduziert die Photosynthese. Klimatisch sind Städte im Sommer wärmer als ihr Umfeld (Albert 1989). Die in Relation zu den Bäumen in der Regel zu kleinen Baumscheiben, zunehmende Versiegelung, sowohl baulicher als auch verkehrstechnischer Art, sowie Bodenverdichtung aufgrund der Verkehrserschütterungen führen insgesamt zu einer reduzierten Versickerung von Wasser im Boden und verstärken somit den allgemeinen urbanen Trockenstress (Eckstein 1981, Albert 1993). Der Lebensraum der Bäume im Boden ist weiters oft durch Fundamente stark begrenzt. Mangelnder, schnell abtauender Schnee und der hohe Beton-, Stein- und Schotteranteil in den Böden lassen Kälte tiefer in den Boden eindringen.

Zuletzt ist noch die direkte Schädigung der Bäume durch Menschen und ihre Haustiere zu nennen. Zum einen sind es mechanische Schäden, oft durch rücksichtsloses Einparken, andererseits chemische Beeinträchtigungen, unteranderem durch Hunde- oder Menschenurin. Viele Faktoren führen zu veränderten pH-Werten mit entsprechenden Folgen für die Wurzeln im Boden. An den Stämmen von Stadtbäumen können immer wieder direkte Schäden beobachtet werden (Abb. 1). Besonders deutlich wurde das zur Probennahmezeit im Spätsommer – Herbst 2005 nach einer großen europäischen Fußballveranstaltung.

In Städten treten häufig Artzusammensetzungen auf, die sich von denen, die aufgrund der Zonierung und natürlichen Verbreitung zu erwarten wären, unterscheiden. Dies ist begründet in den durch menschlichen Einfluss stark gestörten, an ursprünglich standortsspezifischen Arten verarmten urbanen Ökosystemen. Eine Veränderung der Artenzusammensetzung wird zusätzlich durch das Auftreten von Standorten, welche in dieser Weise in der ursprünglichen Landschaft nicht vertreten waren, gefördert. Ein Beispiel dafür sind kleinräumige, zum Grundwasser hin abgeschlossene Standorte. Das wärmere Stadtklima verändert zusätzlich die Standortsfaktoren. Eine urbane Population bestimmter (standortfremder) Arten kann mitunter (z.B. durch mangelnde Konkurrenz und/oder die geänderten klimatischen Faktoren) leichter aufgebaut werden; dies gilt besonders für Neobiota, da natürliche Feinde dieser Arten oft fehlen (Essl 2002). Neobiota

werden zusätzlich durch die Tatsache gefördert, dass Städte als Handelszentren auch Orte verstärkter menschlicher Einschleppung von Neobioten sind (Berger 2011). Handelt es sich um Schädlinge, kann dies katastrophale Folgen haben. Als berühmtes Beispiel sei hier die vor allem auf der Rosskastanie *Aesculus hippocastanum* vorkommende Miniermotte *Carmeraria ohridella*, deren Raupen die Blätter aushöhlen, genannt. *Carmeraria ohridella* kann auch auf *A. pseudoplatanus* und *A. platanoides* vorkommen (Hellrigl 2006). Ein neuerer Schädling der an Stadtbäumen, auch Ahornen, beobachtet werden kann, ist die an Blattknospen parasitierende Wanze *Corythucha arcuata* (Alma 2004). Auf Ruderalflächen und in Mauerritzen kann auch die „Belastung" des Lebensraumes über Raumkonkurrenz durch Neobiota, wie den Götterbaum *Ailanthus altissima* beobachtet werden (Essl 2002).

Besonders hervorzuheben ist die chemische Belastung durch Streusalz. Alle eingesetzten Auftausalze verändern die Bodenchemie, wie an geänderten, in der Regel steigenden, bei sulfathältigen Auftausalzen aber auch fallenden pH-Werten zu sehen ist (Wresowar 2000). Extreme Werte in beiden Richtungen führen zur Schädigung von Wurzeln sowie zur veränderten Verfügbarkeit von Nährstoffen (Albert 1989). Die osmotische Bindung von Wasser an die Bodensalze führt andererseits zu physiologischem Trockenstress (Wresowar 2000).

1.4 Der Einfluss von NaCl-haltigem Streusalz auf die Umwelt

Streusalz dient der Enteisung und der Reduktion der abzutransportierenden Schneemengen. Im Rahmen der oben erwähnten urbanen Schadfaktoren hat Streusalz einen besonderen Status, da es die Bäume auf vielfältige Weise schädigt. Im Spritzwasser des Verkehrs schädigt Salz die Nadeln direkt (Pedersen 2000) und erreicht im Boden die Wurzeln. Salzbeladenes Spritzwasser ist auch deshalb besonders zu erwähnen, da dadurch das Auftausalz weit über den Straßenrand hinaus verteilt wird (Pedersen 2000, Albert 2007). Kochsalz, chemisch NaCl, das billigste Auftausalz, verändert die Chemie im Boden, besonders den pH-Wert (Wresowar 2000). Weiters verändert es den Ionenhaushalt der Böden, das Kation Na^+ verdrängt für die Pflanze wichtige Ionen wie K^+ und Mg^{++} von den Sorbtionsstellen bzw. belegt deren Bindestellen an den Bodenkolloiden (Albert 2007) und erhöht so die Auswaschung und schlechtere Verfügbarkeit von Nährstoffen. Salzhaltige Böden binden Wasser stärker als unbelastete Böden. Dies stellt sich in einem niedrigeren osmotischen Potential des Bodens im Vergleich zur Pflanze dar, mit der Konsequenz, dass es für die Pflanze schwieriger wird, Wasser aus dem Boden aufzunehmen und bis zu den

Blättern zu transportieren (Albert und Popp 1977), bzw. dass im Extremfall der Boden der Pflanze Wasser sogar entzieht. Viele Wüstenpflanzen sind durch die Anreicherung osmotisch wirksamer Substanzen, wie etwa dem Zuckeralkohol Pinit oder Aminosäuren wie Prolin, an die niedrigen osmotischen Potentiale trockener oder salzbelasteter Böden angepasst (Schmid 2008). Für Pflanzen ist Salz in zu hohen Konzentrationen generell toxisch (Albert 2010). Für Mangroven, also Bäume die zumindest teilweise direkt im Meerwasser wachsen, konnten unter anderen salzausscheidende Drüsen an den Blättern und Anpassungen im Wurzelraum gefunden werden, die als „Ultrafilter“ dienen (Schmitz 2008). Alle diese Pflanzen sind durch spezielle Mechanismen an ihren salzhaltigen Lebensraum angepasst, doch fehlen den nicht an Salzlebensräume angepassten Pflanzenarten alle diese Adaptationen und Regulationsmechanismen.

Die untersuchten Ahorne nehmen Salz in hohen Mengen über die Wurzeln auf. Salz kann im gesamten Baum gefunden werden (Albert 1993, Yanoskey 2001). Durch den Saftstrom wird es in den Blättern, die wie Verdunstungspfannen wirken, angereichert, und führt zu sichtbaren Schäden bis hin zu deren Absterben. Salzgeschädigte Bäume sind durch deutliche Blattrandnekrosen, also durch Absterben der Blätter von den Spitzen bzw. von den Rändern her, zu erkennen. Das Salz stört nicht nur die osmotische Verfügbarkeit von Wasser, sondern, sobald es in die Zellen selbst gelangt, die Funktionsfähigkeit vieler Enzyme. Die salzbedingte Trockenheit wird als physiologischer Trockenstress bezeichnet und wurde bereits 1898 von Schimper beschrieben. Salzschäden können zu einem um mehrere Wochen verfrühten Laubfall führen (Albert 1989). Da die Photosyntheseleistung und damit die Ernährung des Baumes stark vermindert wird, kann es im Extremfall zu einem zweiten Laubaustrieb, einem sogenannten Notaustrieb der Bäume im Herbst kommen (Meyer 1982, Abb. 15)

Die vielfältige oft starke Belastung der Bäume führt auf Dauer zu einem Schwund der Assimilatreserven in Stamm und Ästen. Dies führt zu einem regelrechten Verhungern und frühen Absterben des Baumes (Eckstein 1981, Albert 1989, Pedersen 2000). Verstärkte Pflege (Wresowar 2000) oder ein Austauschen der Bäume führen zu hohen Kosten für die Stadtverwaltung (Mayer 1982).

1.5 Verbreitung und Ökologie der Arten *Acer pseudoplatanus* & *Acer platanoides* im Wiener Raum

Bergahorn und Spitzahorn gelten als einheimische Bäume des Wiener Raumes (nach Fischer 2008), die als Begleitbäume von Buchen (*Fagus sylvatica)* und Eichen (*Quercus* sp.) vom Wienerwald bis in die Aulandschaft der Donau und darüber hinaus verbreitet sind (Abb. 2, Wallnöfer 1993). In trockeneren Lagen bzw. an Waldrändern (Lang 2010) kommt der ebenso heimische und ebenfalls als Alleebaum in Wien anzutreffende Feldahorn (*Acer campestre*) vor. Da die Gattung nicht nur im Wiener Becken sondern auch in den angrenzenden Arealen mit teilweise deutlich abweichenden Klimaverhältnissen, vom Wienerwald bis in die Pannonische Tiefebene, zu finden ist, kann das Großklima als durchaus passend für *Acer* spp. betrachtet werden.

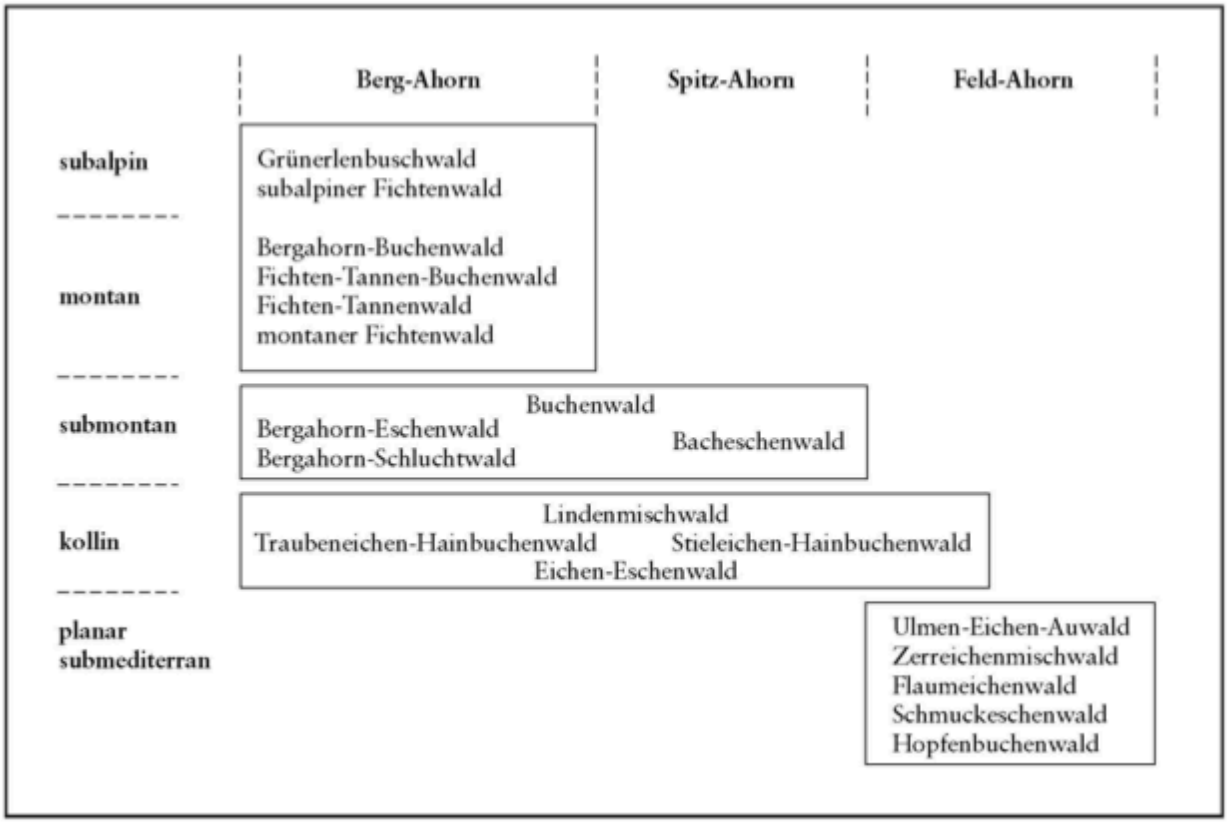


Abb. 2: Gesellschaftsanschluss von Bergahorn, Spitzahorn und Feldahorn unter natürlichen Bedingungen (Lang 2010).

Im Ahornholz gelten die Holzstrahlen als wichtiges Arterkennungsmerkmal (Lang 2010). Hartig (1898) führt in seinem Buch eine Kombination aus Merkmalen der Markstrahlen, Jahrringgrenzen und Holzfarbe als Bestimmungskriterien an. Bei *A. pseudoplatanus* wird eine schöne gerundete feine Linie, bei *A. platanoides* werden hingegen kleinwellige Strukturen und das Auftreten von „Borke-Rissen“ als spezielle Unterscheidungscharakteristika und Holzeigenschaften angeführt; bei *A. campestre* ist das Holz etwas rötlichweiß, und zuweilen treten Zellgänge auf.

Für Ahornbäume in der Stadt Hamburg berichtet Eckstein 1981, dass diese bis zur Einführung von Auftausalz gegen Straßenglätte sehr robuste Stadtbäume waren (Albert 1993), erst im Zuge vermehrter Salzstreuung kam es zu teilweise irreversiblen Schädigungen. Dies spricht für Ahorne als Stadtbäume, aber auch für die Untersuchungswürdigkeit der Reaktionen von Ahorn- Arten auf den Faktor Streusalz.

1.6 Dendrochronologie

Die Dendrochronologie zieht Erkenntnisse aus der Untersuchung von Holz und interpretiert diese. Die Beobachtungen werden dabei in einen zeitlichen Rahmen gesetzt. Jahrringverläufe stellen ein häufiges Untersuchungsobjekt dar. Ein einzelner Messpunkt kann dabei der Abstand zweier Jahrringgrenzen, oder auch ein Teil eines Jahrringes, wie zum Beispiel das Frühholz sein. Zur Erklärung der Messwerte wird auf weitere Informationen wie Wetterereignisse, oder auch auf historisches Wissen zurückgegriffen.

1.7 Holzanatomie

Für ein Verständnis der Dendrochronologie ist ein ausreichendes Wissen zur Holzanatomie unumgänglich. Laubbäume werden, basierend auf ihren Leitgefäßen in Stamm und Ästen, in ringporig und zerstreutporig unterteilt (Strasburger 1998).

Holz beschreibt den durch das Kambium nach innen abgegebenen Zellkörper. Die leitenden Gewebe in Stamm und Ästen von Bäumen bestehen aus Phloem- und Xylemzellen. Alle diese Zellen werden von einer Schicht teilungsfähiger Zellen, dem Kambium, gebildet (Klein 1988). Phloemzellen werden nach außen abgegeben und bilden Bast und Rinde. Xylemzellen bauen den Holzkörper auf. Im Holz kann zwischen den Holzstrahlen und dem Leit- und Festigungsgewebe unterschieden werden. Holzstrahlen mit direktem Kontakt zum zentralen Mark werden als

Markstrahlen bezeichnet, ältere Holzstrahlen werden oft nicht in den ersten Wachstumsjahren des Baumes angelegt und haben diesen Kontakt nicht.

Sowohl die dickwandigen Xylem- als auch die dünnwandigen Parenchymzellen stellen Ausdifferenzierungen derselben Bildungsschicht dar. Die Parenchymzellen bauen das Mark und die Holzstrahlen auf. Die Xylemzellen sind vor allem bei Laubhölzern vielfältig differenziert (Schwarze 2007). Die verschiedenen Zelltypen werden bei den Laubhölzern vor allem zur Erfüllung der Leitungsfunktion für Wasser und gelöste Nährstoffe sowie der Stützfunktion unterschieden. Die Phloemzellen von Rinde und Bast und letztlich auch von der Borke – wenn ausgebildet - stellen das Abschlussgewebe der verholzten Pflanze dar. Ihre Aufgaben sind einerseits der Transport der Assimilate, insbesonder Zucker von den Blättern zu Stamm und Wurzeln, die auch als Speicherorgane fungieren; andererseits dient das Phloem auch als Schutz gegen biotische und abiotische Umwelteinflüsse. Alle Gewebe des Sprosses stehen miteinander in Verbindung, so wird im Winter in gefäßnahen Libriformfasern Stärke gefunden (Lang 2010).

In Regionen mit Jahreszeitenklima werden am Ende jeder Vegetationsperiode durch das allmähliche Aussetzen der Zellteilungen des Kambiums Jahrringgrenzen gebildet (Klein 1988). (Anmerkung: Wien liegt in der temperaten Region, dem Zonobiom 6 (Grabherr 1997), mit vier ausgeprägten Jahreszeiten, die Vegetationsperiode dauert von Frühjahr bis Herbst.) Der Abstand zwischen zwei Jahrringgrenzen markiert den Jahrring, dieser zeigt das Ausmaß des sekundären Dickenwachstums im Bildungsjahr und damit die Fitness des Baumes in diesem Jahr an (Klein 1988, Apple 1986). Mit der Ausdifferenzierung der Zellwand wird Lignin eingelagert (Marion 2007).

Die ringporigen Bäume – Musterbeispiel Eichen – zeigen mit ihren im Laufe des Jahres immer enger werdenden Zell-Durchmessern eine wesentlich differenziertere Anordnung der Gefäße als zerstreutporige Hölzer wie z.B. *Acer* sp.. Die großlumigen Zellen zu Beginn des Zellwachstums lassen Jahrringe deutlich in Erscheinung treten (Abb. 3, Bossard 1982). Auch für zerstreutporige Hölzer gibt es einen Jahresgang der Holzbildung. Das Dickenwachstum des Stammes verläuft am Beginn der Vegetationsperiode schneller (Müller 1941).

Mit Verlangsamung des Dickenwachstums wird zunehmend mehr Lignin in das Holz eingelagert, Interzellularräume werden zunehmend gefüllt, man spricht von Spätholz. Die Bildungsphase von Spätholz erfolgt später im Jahr und ist mit dem Erliegen der Zellteilungen am Ende der Vegetationsperiode abgeschlossen. Allerdings können solche Dichtereaktionen im Holz auch durch Stressoren, besonders naheliegend klimatische wie Trockenheit oder Kälteeinbrüche

innerhalb der Vegetationsperiode auftreten. Dichtemessungen zeigen vor allem für ringporige Hölzer und das Holz der Gymnospermen, dass das Spätholz eines Jahres verglichen mit dem Frühholz eine höhere Dichte aufweist. Dies kann mittels Dichtemessungen z.B. durch Röntgenphotographie zur Jahrringbestimmung genutzt werden (Schweingruber 1983, Arnold 2004). Frühholz, also der Teil des Jahrringes, der zu Beginn der Vegetationsperiode gebildet wird, gilt generell als weniger dichter Anteil eines Jahrringes.

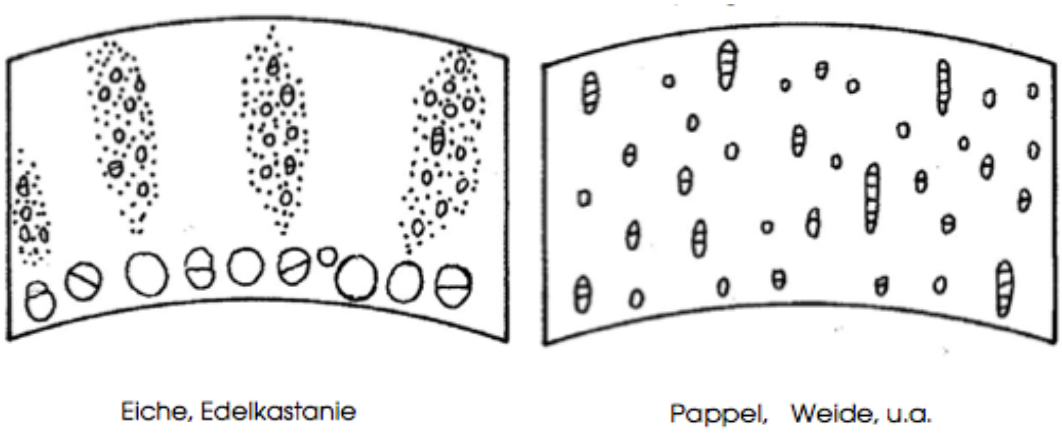


Abb. 3: Typische Gefäßanordnung ringporiger Hölzern (Eiche) verglichen mit zerstreutporigen (Pappel); aus Bossard (1982). Die Wuchsrichtung auf dem Bild geht von unten nach oben.

1.8 Anatomie zerstreutporiger Gehölze

Bei den untersuchten Arten wird der Holzkörper hauptsächlich aus Gefäßzellen, Libriformfasern und Fasertracheiden sowie Parenchymzellen zusammengesetzt (Tab. 1). Dabei sind die Gefäßzellen gemäß der zerstreutporigen Holzanatomie gleichmäßig über den Jahrring verteilt (Abb. 3, Bossard 1982, Hartig 1898). Den größten Anteil am Holzgewebe bilden bei *Acer* spp. die sogenannten Holzfasern mit bis zu 75% Huber und Pütz (1938), bestehend aus Libriformfasern und Fasertracheiden mit Durchmessern zwischen 11,3 und 27,7 µm (Wagenführ 2007).

Aufgrund der Kleinheit der Gefäßzellen sind bei den hier bearbeiteten Ahornarten selbst die Gefäße (< 70µm) nur mit einer Lupe zu erkennen (Abb. 6, Schwarze 2008, Wagenführ 2007). Bossard (1982) gibt, unter Bezug auf Huber und Prütz 1938 Gefäßelementedurchmesser von 30 bis 110 µm für *A. pseudoplatanus* an. Hoffmann (2002) gibt in seinen Messergebnissen zur Gefäßweite 10 bis 45 µm an, unterscheidet allerdings nicht zwischen *A. platanoides* und

A. pseudoplatanus, dies legt den Schluss nahe, dass die Gefäßgrößen – und möglicherweise sogar die aller Zelltypen - beider Arten sehr ähnlich sind. Die Gefäßweite bei Ahorn schwankt aufgrund von sich ändernden Umweltbedingungen (Gärtner 2011), wodurch sich die große Varianz an Werten für Gefäße erklären lässt, die in der Literatur zu finden ist (Tab. 2). Als einzige gut erkennbare Struktur gelten die Holzstrahlen (Lang 2010), die mit freiem Auge erkennbar sind (Hartig 1898).

Tab. 1: Die wichtigsten Zelltypen, ihr Anteil (%) im Holzkörper und ihr Durchmesser (µm) in *A. pseudoplatanus* (Wagenführ 2007, Lang 2010) und *A. platanoides* Gefäße (Hoffmann 2002).

	A. pseudoplattanus		*A. platanoides*
Gefäße	30; 50; 70 µm	4,0; 6,9:8,4%	10 – 45 µm Werte wie *A. pseudoplatanus*
Holzstrahlen (Parenchymzellen)	12 bis 60 µm	16,2;17,2;18,5%	
Libriformfasern/ Fasertracheiden Wandstärke (2W)	4,8; 7,5; 11,2 µm		
Libriformfasern/ Fasertracheiden Lumen (L)	6,5; 10,0; 14,5 µm		
Libriformfasern/ Fasertracheiden Wand (2W:L)	0,75	74,0;75,9;79,4%	

Tab. 2: Zellweiten von *Acer pseudoplatanus* berechnet nach Werten von Wagenführ (2007). Querschnittsfläche A=r2*pi; Radius r=d/2; Durchmesser (d) nach Wagenführ.

	Querschnittsfläche (µm²)	**Radius (µm)**	**Durchmesser (µm)**
Gefäßweiten	706,86	15	30
	1963,5	25	50
	3848,45	35	70
Tracheidenweite	100,29	5,65	11,3
	240,53	8,75	17,5
	602,63	13,85	27,7

1.9 Das Erstellen von Chronologien

Vermessen werden der Abstand zweier Jahrringgrenzen oder bestimmte Teile eines Jahrringes, wie zum Beispiel das Frühholz. Die Messwerte werden in einen historischen Kontext unter Berücksichtigung der Umweltgegebenheiten gesetzt. Jahrringe können auf verschiedene Weise gemessen werden.

Die Holzbildung eines Jahres wird maßgeblich vom Wetterverlauf und von den Ernährungsverhältnissen der Vorjahre geprägt (Eckstein 1981, Schweingruber 1983). Generell weist ein breiterer Zuwachsstreifen auf einen aktiveren, besser versorgten und weniger gestressten Zeitabschnitt des Baumes hin (Marion 2007). Während die Frühholzbildung Rückschlüsse auf die Ernährungssituation des Baumes im Vorjahr ermöglicht, erlauben mittels Spätholz getroffene Aussagen Schlussfolgerungen auf die Umweltbedingungen im Sommer des jeweiligen Bildungsjahres (Grabner 2005, Schweingruber 1983). Durch den Vergleich des Jahreszuwachses mehrerer Bäume können allgemeine Aussagen über die auf die Bäume wirksamen Umweltbedingungen vergangener Jahre getroffen werden (Höll 1977). Je besser die historischen Umweltbedingungen der Standorte bekannt sind und je ähnlicher diese Faktoren, umso genauere Aussagen zu den gefundenen Auffälligkeiten können getroffen werden.

Daher ist es für verlässliche Aussagen notwendig, dass die Standortbedingungen der zu vergleichenden Bäume möglichst ähnlich sind (Penninckx 1999). Trotz der vielen in der Stadt zur Geltung kommenden und oft sehr kleinräumig wechselnden Standortfaktoren kann auch hier durchaus von einem übergeordneten, prominenten Effekt des Großklimas ausgegangen werden, sodass dennoch dendrochronologische Analysen möglich und sinnvoll sind (Eckstein 1981).

Verlässliche Aussagen über einzelne Stressfaktoren können an Standorten erzielt werden, an denen das Baumwachstum der untersuchten Arten ausschließlich durch diese speziellen Faktoren limitiert ist, besonders, wenn diese regelmäßigen Schwankungen unterliegen (Höll 1977, Klein 1988). Streusalz an Straßen ist dafür ein besonders gutes Beispiel, da es je nach Witterung bedarfsorientiert in unterschiedlicher Menge verwendet wird (Albert 2007). Auch an der xerischen, durch Trockenheit bedingten Baumgrenze, wie sie teilweise bereits im pannonischen Bereich des nordöstlichen Burgenlandes gefunden werden kann, könnten Untersuchungen der Jahreszuwachsunterschiede auf eine limitierenden Wasserverfügbarkeit hindeuten. In Wien ist die Wasserverfügbarkeit für die Bäume durch zwei Faktoren extrem verschärft: einmal rinnt das Niederschlagswasser auf Grund der starken Versiegelung oberflächlich größtenteils ab, ohne in den Boden zu gelangen, zum andern führt Salz, wie weiter oben bereits erwähnt, zu „physiologischer Trockenheit“. Somit kann in Wien mit besonderer Sensibilität der Bäume für den Faktor Trockenstress gerechnet werden, und speziell Salz darf mit Fug und Recht für *Acer* spec. und alle anderen Alleebaumarten als besonderer „factor limitans“ gelten. Damit können im Zusammenhang mit der winterlichen Salzstreuung gute dendrochronologische Werte erwartet werden.

Im Falle extremer Umweltbedingungen, etwa der für Wien besonders relevanten sommerlichen Trockenperioden, sind deutliche Änderungen in den individuellen Zuwachswerten der Bäume zu erwarten. Solche Jahre werden als Zeigerjahre, „pointer years“ bezeichnet (Aniol 1982). Existieren historische Aufzeichnungen dieser, geben sie wertvolle Hinweise für die zeitliche Zuordnung der Jahrringe während der gesamten Lebensspanne des Baumes und für den Vergleich der Bäume untereinander. Somit wird eine korrekte historische Interpretation der Jahrringe von ökologisch zusammenfassbaren Baumgruppen (Baumkollektive) zu konkreten Jahren während der zu beobachtenden Zeitspanne erleichtert.

Jahrring-Muster von Baumkollektiven können so mit den historischen Klimadaten und Informationen zu punktuellen Umwelteinflüssen, wie Sanierungsmaßnahmen oder Salzstreuung, verglichen werden.

1.10 Die Auswirkung von Umwelteinflüssen auf die Bildung von Jahrringen

Die Analyse von Zeigerjahren aus relevanten Baumchronologien, die das Regionalklima darstellen (Čejková und Kolář 2009) unter Beachtung von Art und Standortunterschieden (Neuwirth 2005, Čejková und Kolář 2009, Gillner 2012), die Analyse historischer meist lokaler Begebenheiten, wie etwa dokumentierte Murenabgänge (Bollschweiler und Stoffel 2007) oder Eingriffe, wie Bodensanierungen, Bautätigkeiten u.ä., die für die „Blumentopfsituation" der Bäume in der Stadt besonders relevant sind (Meyer 1982), führen zu einer Vorhersage an möglichen Zeigerjahren, die in den Jahrringfolgen der Bohrkerne betroffener Bäume gefunden werden können. Jedoch kann bei keiner dieser Vorhersagen mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass der Einzelbaum auf diese Ereignisse im Stammdickenwachstum und damit im analysierbaren Holzbild reagiert (Schweingruber et al 1990). Dies kann darin begründet sein, dass der Baum während dieses Ereignisses in einer besonderen Gunstsituation gestanden hat und daher keine entsprechende Reaktion zeigt. Diese extreme Kleinräumigkeit, oft nur auf einen einzigen Baum bezogen, kann in der Stadt besonders häufig vorkommen, da hier individuelle Pflege- und Vorsichtsmaßnahmen verstärkt getroffen werden, oder der Baum aus anderen, möglicherweise übersehenen Gründen nicht reagiert. Daher kann die Vorhersage aus Dokumenten nur als vager Hinweis dienen. Gefundene Signale im Holzbild, etwa auffällige Zuwachsänderungen im Dickenwachstum, können möglicherweise durch diese Recherchen erklärt werden. Nicht nur die individuelle Reaktion im Dickenwachstum der Bäume, sondern auch das Auftreten falscher Jahrringe kann beobachtet werden. Solche falschen Jahrringe werden Stressringe genannt. Sie treten auf, wenn das Dickenwachstum des Baumes aufgrund ungünstiger Wachstumsbedingen (z.B. durch einen Kälteeinbruch) während der Vegetationsperiode zum Erliegen kommt. Gut veranschaulicht die Problematik der individuellen Baumreaktionen beispielsweise die Untersuchung von gefundenen Zeigerjahren anhand von 48 Bäumen in Polen, wo aufgrund schlechter Gleichläufigkeitswerte zur Analyse nur 24 Bäume herangezogen wurden (Bijak 2008).

Bisweilen ist es möglich, Signale weltweit in Chronologien zu finden, so können diese durchaus auch globale Aussagekraft besitzen (Büntgen 2006). Solche Ereignisse globaler Wirkung können zum Beispiel Eiszeiten oder Vulkanausbrüche sein (Schweingruber 1983).

1.11 Zerstreutporige in der Dendrochronologie

Zerstreutporige Hölzer sind dendrochronologisch besonders schwierig zu bearbeiten (Deflorio 2005), da die Anordnung der Gefäße keinen Rückschluss auf die Position im Jahrring zulässt (Abb. 4, Hoppe 2001, Abb. 6, Schwarze 2008, Abb. 7, Schöne 1999). Ausserdem können bei zerstreutporigen Arten die Leitbahnen im Holz über mehrere Jahre in Verwendung sein. Da der gesamte Holzkörper zur Wasserleitung genutzt wird Hoffmann (2002), wird in manchen Jahren kein (analysierbarer) Jahrring ausgebildet (Klein 1988, Höll 1977). Bei ringporigen Hölzern, wie etwa Eichen, werden im Gegensatz dazu die Gefäße vor allem im Frühholz des jeweiligen Jahrringes angelegt, wodurch dessen Grenze gut erkennbar wird. Diese Baumarten müssen zudem jedes Jahr einen weiteren Ring bilden, um mit frischen Gefäßen eine ausreichende Versorgung der Baumkrone zu gewährleisten, sodass sich eine regelmäßige, lückenlose Abfolge an Jahrringen mit Anlage der neuen Gefäße mit Beginn des Jahrring-Wachstums ergibt (Hoffmann 2002, Abb. 5).

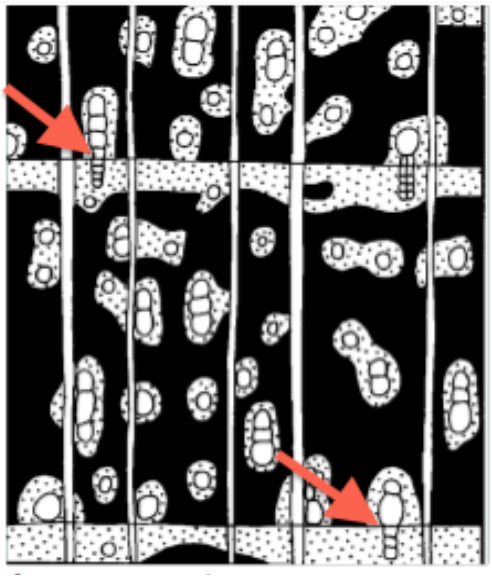


Abb. 4: Jahrringschema von *Acer campestre*; an den horizontalen Ringgrenzen und um die Gefäße (weiße Blasen) sind lebende Libriformfasern eingezeichnet (weiß gepunktet). Die geraden weißen vertikalen Bahnen symbolisieren Holzstrahlen. Die Pfeile markieren von Gefäßen durchbrochene Jahrringgrenzen (verändert nach Hoppe 2001).

Dennoch gibt es bei zerstreutporigen Hölzern, wie zum Beispiel dem Bergahorn, mitunter gut erkennbare Jahrringe (Bossard 1982). Schwarze führte 2008 für *Acer pseudoplatanus* die erhöhte Konzentration lebender Libriformfasern um die Gefäße und an den Jahrringgrenzen als Merkmal an. Die schlechte Erkennbarkeit der Jahrringe wird bei Ahorn durch sehr schmale Jahrringgrenzen, also Regionen sehr kleiner Zellen als Resultat der Kambialaktivität und des erliegenden Zellwachstums, sowie durch eine nur sehr geringe Vergrößerung der alternden Zellen und einer zumindest ansatzweisen Durchmischung der Jahrringgrenzfaserzellen mit Gefäßzellen noch verstärkt (Abb. 4, Abb. 6, Schwarze 2008, Hoppe 2001).

Eine weitere Herausforderung für die Analyse von Ahorn stellt die Helligkeit des Holzes dar (Bossard 1982, Lang 2010), aufgrund derer Jahrringgrenzen kaum Kontrast haben und dadurch schwer erkennbar sind. Färbemethoden können die Auflösung der Jahrringe gegenüber dem Umgebungsholz verbessern (siehe Kap. 1.12, Färbetechniken in der Dendrochronologie).

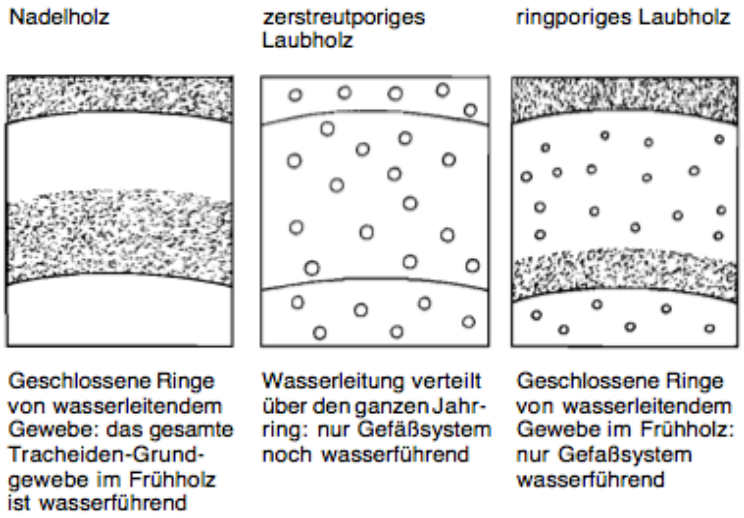


Abb. 5: Anordnung der Wasserleitsysteme bei unterschiedlicher Holzanatomie. Die Wasserleitung erfolgt im Nadelholz durch Tracheiden, im Laubholz durch Gefäße. Die horizontalen schwarzen Linien markieren Jahrringgrenzen (Bossard 1982). Der dunkle Teil der Jahrringe kennzeichnet das dichtere, optisch oft dunklere Spätholz.

Ein großes Problem bei der Analyse von Ahornen, wie z.B. für den amerikanischen Zuckerahorn *Acer saccharum* berichtet (Lorimer 1999), ist das Ausfallen von Jahrringen oder das teilweise zonenweise Fehlen von Jahrringen bzw. das Auftreten falscher Jahrringe durch auskeilende Jahrringgrenzen oder nicht saisonal bedingte Stressringe (Abb. 7) (Schöne 1999). Apple berichtet 1986 für *A. platanoides* aus Sydney NY, am genauen „Cross-dating“ der Jahresringe auch von Kernen desselben Baumes gescheitert zu sein.

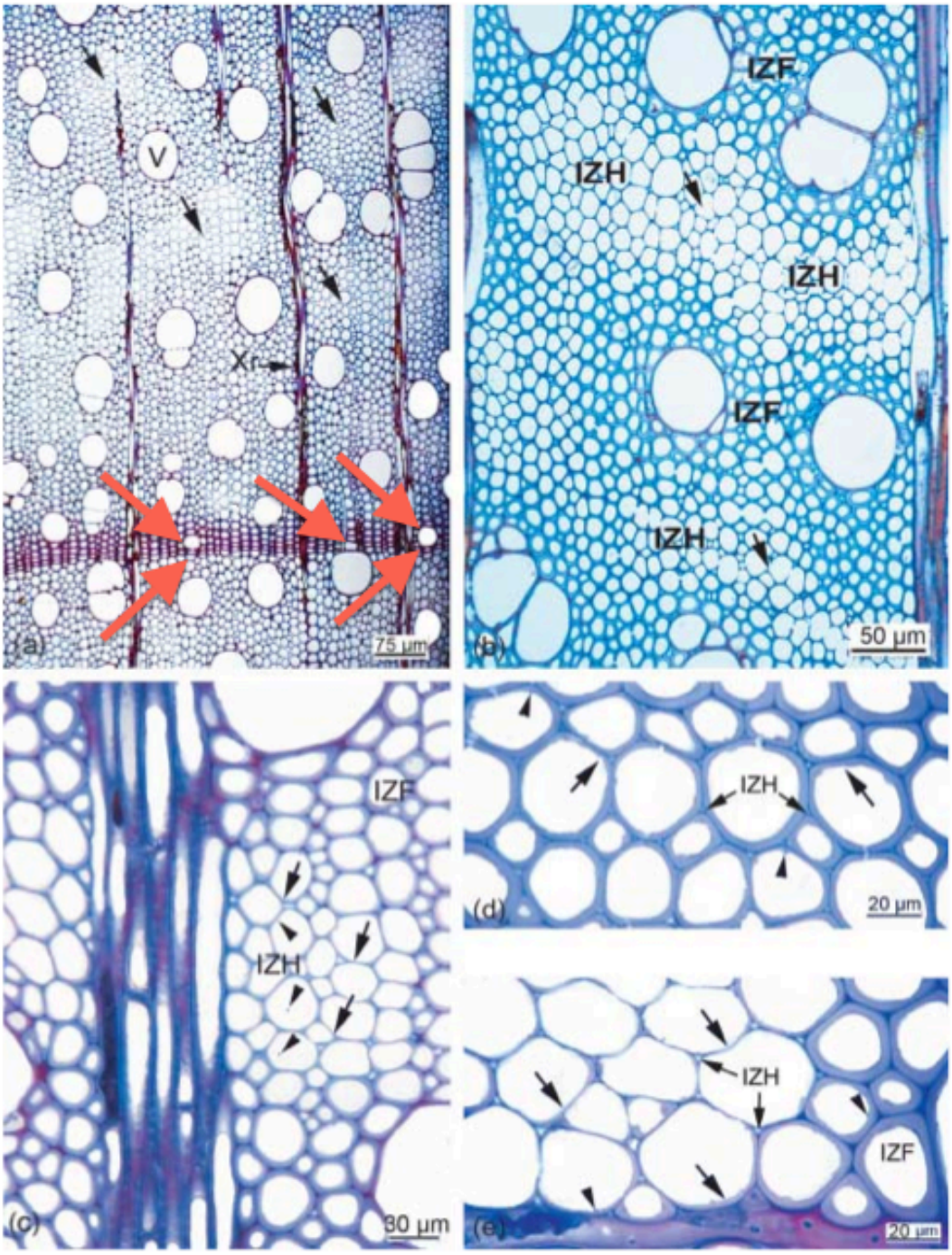
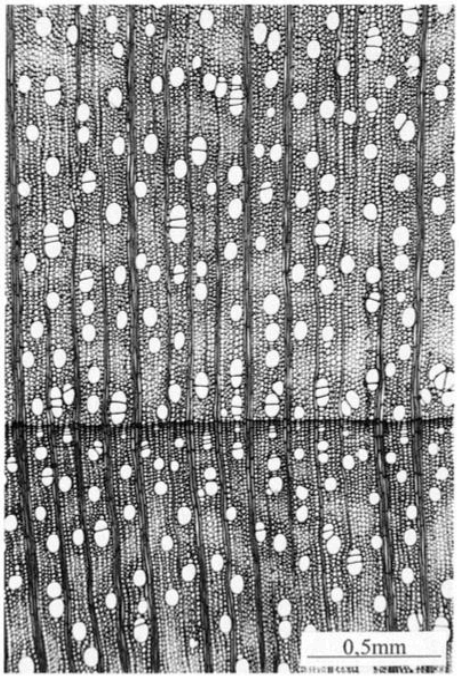
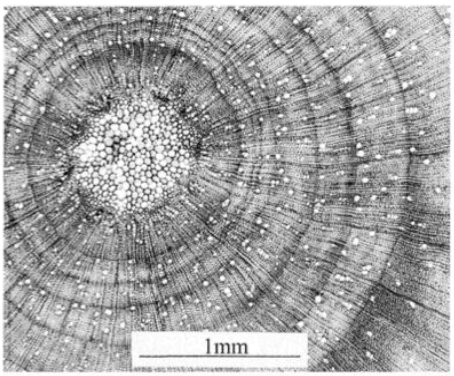


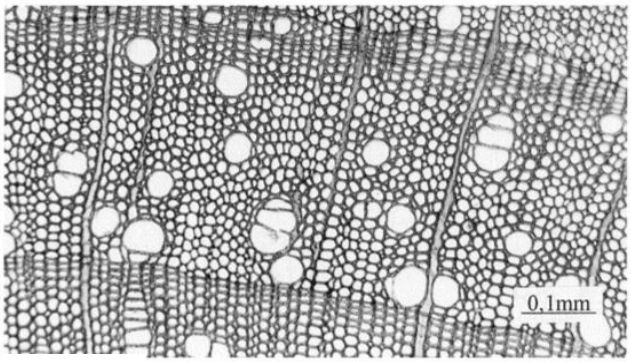
Abb. 6: Mikroskopische Bilder von *Acer pseudoplatanus* mit der für diesen Holztyp charakteristischen, relativ gleichmäßigen Zellverteilung. Zu bemerken sind Regionen hoher bzw. geringer Dichte. (a) zeigt in einem vertikalen Dünnschnitt drei Holzstrahlen (Xr) und normal dazu eine Jahrringgrenze (orange Pfeile von unten). Dabei ist zu erkennen, dass bei dieser Art die Jahringgrenze in dieser Region nicht nur aus dem durch die Holzstrahlen durchbrochenen Stützgewebe besteht, sondern auch Gefäße aufweist (orange Pfeile von oben); (b) mit dem Schimmelpilz *Xylaria longipes* für 18 Wochen inkubiertes Holz. Das Interzellularen beinhaltende Holz (schwarze Pfeile) abseits der Gefäße weist Degradierungen auf (nach Schwarze 2008).



a



b



c

d

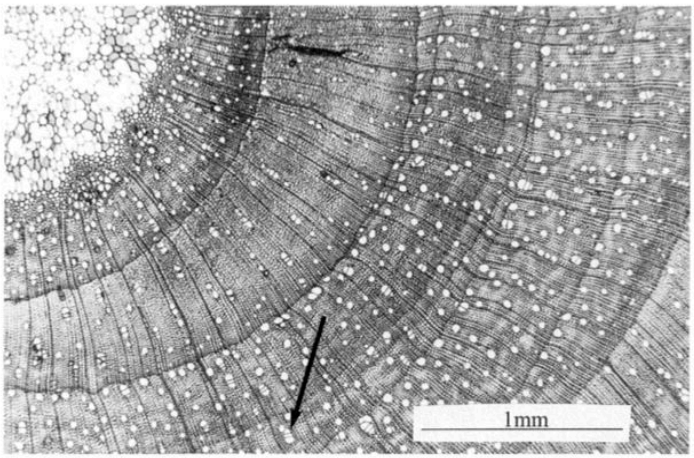


Abb. 7: Mikroskopische Bilder von Holzquerschnitten der Art *Acer pseudoplatanus*. (a) zeigt einen ungestressten Baum, (b-d) zeigt Holzbildungen unter gestressten Bedingungen mit leicht verzogenen Holzstrahlen. Im Fall von (b) sind Dichteschwankungen zu erkennen wie sie in der Blockanalyse als falsche Jahrringe auffallen können, (c) schmaler Jahrring, bei (d) markiert der schwarze Pfeil einen auskeilenden Jahrring (Schöne 1999).

1.12 Färbetechniken in der Dendrochronologie

In der Dendrochronologie werden in Einzelfällen Färbungen angewandt um Unterschiede im Holzkörper deutlicher sichtbar zu machen. Je nach Fragestellung werden dabei ganze Kerne in Blockfärbung oder Dünnschnitte gefärbt. Die Färbungen zielen darauf ab, Lignin, Zellulose und Hemizellulose hervorzuheben. Im Fall der Blockfärbung ist es auch möglich, die angeschnittenen Zelllumina durch Auffüllen mit Material „anzufärben", um die Zellgröße sichtbar zu machen. Für anschließende chemische Analysen sind Färbungen problematisch, da die Probe durch die Färbung chemisch verunreinigt wird. Im Fall der Bestimmung von NaCl und Nährstoffen im Holz sind Färbemethoden zu vermeiden, da diese Substanzen lösen und verfrachten könnten, beziehungsweise Zusätze in den Farbreagenzien enthalten, die das Messergebnis durch Überrepräsentation einer gesuchten Substanz verfälschen können. Im Fall der Bestimmung von Kohlenstoff, insbesondere dann, wenn auch die Signatur der stabilen Kohlenstoff-Isotope 13C und 14C erfasst werden soll, darf durch die Färbung keine Änderung der Chemie und Verteilung von Kohlenstoff im Stamm herbeigeführt werden. Es muss daher im Vorfeld abgeklärt werden, ob Färbungen für die jeweilige Fragestellung möglich sind. Die Veränderung der Kohlenstoffmessung ist besonders für die im folgenden beschriebene Verwendung von EDAX von Bedeutung. Hier werden die Proben mit einer Schicht Kohlenstoff überzogen.

1.13 Röntgenenergiedispersive Elementanalyse an Holzproben

Mittels der röntgenenergiedispersiven Elementanalysemöglichkeiten des Rasterelektronen-mikroskopes (REM) - es handelt sich dabei um ein „Environmental scanning electron microscope" (ESEM), mit dem Elemente an der Probe direkt semiquantitativ vermessen werden - wird versucht, die dendrochronologische Analyse mit einer eventuell im Holz auffindbaren Chloridbelastung aus der winterlichen Salzstreuung direkt zu verbinden. Penninckx (2001) berichtet über jahresspezifische Messergebnisse von Elementen in *Fagus sylvatica.* Für zerstreutporige Hölzer wurden in Wien Elementanalysen gemacht (Sieghardt 1994). In der hier präsentierten Vorstudie wurde besonderer Wert auf die genaue Lage der Messpunkte gelegt. Durch die sehr genau verortbare ESEM-Messung (Goldstein 1992) ist vielleicht sogar eine bessere Abgrenzung der Jahrringe dadurch zu erreichen, dass Chlorid je nach Intensität der Salzstreuung, also abhängig von der Witterung im Winter, in gewissen Jahren verstärkt zu finden sein könnte. Vorraussetzung dafür ist allerdings, dass das im Holz deponierte Chlorid wenig

mobil ist (Martin 1994). Dies könnte also über wechselnde Chloridwerte in den Messungen einzelnen Jahrringen ein zusätzlicher Anhalt zu deren Auffinden sein.
Durch die entsprechende Einlagerung von Salz in den Jahrring könnte vielleicht sogar in Frühholz und Spätholz unterschieden werden. In diesem Fall ist für Frühholz mit einer höheren Konzentration von Chlorid zu rechen. Dies sollte von weiteren Stressoren unabhängig sein. Die höhere Chloridkonzentrationen wäre mit dem noch stark salzbelasteten Boden zu erklären. Für die Bildungszeit des Spätholzes ist die Bodenkonzentration von Salz als reduziert anzunehmen, da in den meisten Fällen im späteren Jahr bereits die Salzbelastung durch die Verfrachtung mittels Wasserabfluss, zum Beispiel durch Regen, reduziert wurde.

Die (ESEM) EDAX Analyse ermöglicht die Messung der relativen Menge von Elementen in einem definierten Volumen eines Festkörpers, zum Beispiel von Holz (Joy 1989). Die Energieintensität und Bündelung des auf die Probe einwirkenden Elektronenstrahls bestimmt das Volumen des Messpunktes.
Die Möglichkeiten von EDAX lassen es sinnvoll erscheinen, die durchgeführte Vorstudie zur Anwendung dieser Methode im Rahmen dieser Arbeit zu schildern.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Standorte und Bäume

In dieser Arbeit werden insgesamt 24 Bäume der Arten *Acer pseudoplatanus* (7 Bäume) und *Acer platanoides* (17 Bäume) untersucht. Dabei handelt es sich um ausgewählte Wiener Stadtbäume aus den Alleen der Oberzellergasse, des Schottenringes sowie dem Baumbestand des Votivparkes (Tab. 3). Die Bäume von Schottenring und Oberzellergasse sind im Wiener Baumkataster aufgenommen (Tab. 3, und für den Kataster: „Anhang“ Abb. 31, Abb. 32).



(a)

Abb. 8: (a) Oberzellergasse Blick Richtung Landstraße. Deutlich ist der belastete Baum unter der Garagenausfahrt OZ55 an der schütteren Krone zu erkennen.



(b)

(b) Situation am Schottenring abseits der Haltestelle, am Beispiel von SR31. Die Bäume wachsen in baulich abgegrenzten Grünstreifen.



(c)

(c) Gesunder Baum im Votivpark. VP74 zeigt Baumpflegemaßnahmen und nicht nekrotische Blätter.

(Aufnahmen 14.August 2013)

Als am wenigsten gestörter Standort wurde der Votivpark herangezogen, um Proben zu erhalten, die möglichst ausschließlich den Einfluss des Stadtklimas, jedenfalls aber keinen Salzeinfluss zeigen sollten (Abb. 8, c). Die Bäume in der Oberzellergasse bilden einen einreihigen, von Parkplätzen unterbrochenen Bestand an der Grenze eines großen Neubaus, dem Wohnpark Rennweg, Errichtungszeit August 1991 bis November 1994, auf dem Areal der ehemaligen Rennweg-Kaserne (ARWAG 2012). Der Schottenring stellt als Teil der Ringstraßen-Prachtallee eine mehrreihige Allee mit Parkstraße dar.

Die beprobte, in Fahrtrichtung rechte Straßenseite ist von zwei Baumreihen bepflanzt. Besonders stark belastet sind die Bäume im Haltestellenbereich Wipplingerstraße. Besonders wenig belastete Bäume sind für die hausnahe 2. Reihe zu erwarten. Alle beprobten Bäume wachsen an der Hauptfahrbahn teilweise im Bereich der Straßenbahnhaltestelle Börsegasse/Wipplingerstraße, beim Palais der Wiener Börse (Albert 2007). Eine Kurzcharakteristik der individuellen Standorte der Einzelbäume nach Lage der Baumscheibe und Position zum Straßenverkehr findet sich in Tab. 3.

2.1.1 Historische Kurzbeschreibung der Standorte

2.1.1.1 Standort Oberzellergasse

Von 1991 bis 1994 hat die ARWAG angrenzend an die Oberzellergasse den Wohnpark Rennweg und damit verbunden insgesamt 3 Tiefgaragen inklusive Einfahrten errichtet (Abb. 8 a). Die Gebäude im Bereich der Oberzellergasse wurden dabei komplett neu gebaut (Abb. 9, ARWAG 2012).



Abb. 9: Errichtung des Wohnparkes Rennweg auf dem Grund der Rennwegkaserne in Wien Landstraße. Bauzeit: 08 1991 – 11 1994. Für diese Zeit kann mit Störungen durch Bautätigkeit im unmittelbaren Bereich der Bäume in der Oberzellergasse gerechnet werden, da diese das Areal der neu errichteten Gebäude sowie einer Tiefgarage unmittelbar begrenzt hatten (ARWAG 2012).

2.1.1.2 Standort Schottenring

Die Ringstraße wurde von Beginn an als Prachtstraße auf dem ehemaligen Glacis der Stadt gebaut. Ursprünglich war sie mit zwei bis drei Baumreihen von Götterbäumen und Platanen auf beiden Straßenseiten besetzt. Heute wird die Allee von Linden, Ahorn und Platanen gebildet. Die Bäume stehen dabei in meist bewachsenen Grünstreifen (Abb. 8, b). An Haltestellen und Kreuzungen wachsen die Bäume in vergitterten Baumscheiben (Abb. 31). Somit ist besonders dort der Grad der Versiegelung sehr hoch. Auch kann vermutet werden, dass besonders in diesen Bereichen viel Salz gestreut wird. Die gesamte Ringstraße ist stark von Hundekot beeinflusst. Diese Standortsituation und sinkender Grundwasserspiegel machten 1987 bis 1991 und 2005 eine

Generalsanierung notwendig, deren Ziel unter anderem die Installierung einer automatischen Unterflurbewässerung war. Bereits aus dem ersten Jahr nach den Sanierungen wird von sichtbarem Erfolg durch späteren Laubfall und grüne Blätter berichtet (MA42 2012).

2.1.1.3 Standort Votivpark

1961 wurden die zum Teil unterirdische Station des „Jonasreindls“ und eine Tiefgarage errichtet. 1.8.1956 spricht die Radhauskorrespondenz von 100 Zierbrunnen die in ganz Wien, unter anderem im Votivpark, in diesem Jahr errichtet wurden (Galeta 2012).

Tab. 3: Standort der Untersuchungsbäume im Wiener Baumkataster. Die Baumnummer wurde im Rahmen der Aufsammlung vergeben und direkt am Stamm vermerkt. Die Position gibt eine Beschreibung des Standortes wieder. Position 1 neben der Straße; 3-13 in der OZ von unten nach oben gezählte Bäume, besonders erwähnt wird der Standort an einer Tiefgaragenausfahrt. VK Votivkirche; OZ Oberzellergasse; SR Schottenring; VP Votivpark; SA Spitzahorn; BA Bergahorn; L Linde; Die Baumscheibe wird nach ihrer Erscheinung und der Lage zum Straßenniveau beschrieben. h hoch – erhaben zum Straßenniveau; t tief unterhalb des Straßenniveaus; e eben, auf Höhe des Straßenniveaus. Das Straßenniveau beschreibt den Ort der Enteisungsmittelausbringung. 2037 und 3037 Bäume mit Notaustrieb, nicht in der Studie untersucht. (Albert 2007 verändert)

Stand-ort	Baum ID	Baum-kataster	Position	Baum-nummer	Art	Baum-scheibe	Straßen-niveau	Durch-messer (cm)
OZ	55	1003	3-uAusf	3	SA	Sträucher/ Sockel	h	38,8
OZ	56	1004	4-oAusf	4	SA	Sträucher/ Sockel	h	40,4
OZ	57	1006	6	6	SA	Sträucher/ Sockel	h	19,7
OZ	58	1007	7	7	SA	Sträucher/ Sockel	h	39,1
OZ	59	1008	8	8	SA	Sträucher/ Sockel	h	37,2
OZ	60	1013	13	13	SA	Sträucher/ Sockel	h	30,6
SR	21	3034	1		SA	Rasen	h	29,3
SR	22	3032	1	22	BA	Rasen	h	36,3
SR	23	3031	1		BA	Rasen	h	20,7
SR	24	3014	1	24	BA	Rasen	h	33,1
SR	25	3009	1	25	SA	Rasen	h	14,6
SR	26	3001	1	26	SA	Rasen	h	23,6
SR	27	3037	HS		SA	Gitter	t	29,6
SR	28	3043	HS		SA	Gitter	t	24,2

Stand-ort	Baum ID	Baum-kataster	Position	Baum-nummer	Art	Baum-scheibe	Straßen-niveau	Durch-messer (cm)
SR	29	3048	HS		BA	Gitter	t	18,8
SR	30	3036	1		SA	Rasen	h	28
SR	31	3068	1		SA	Rasen	h	19,4
SR	32	3079	1		SA	Rasen	h	22,9
SR		2037	HS		SA	Gitter	t	
SR		3037	HS		L	Gitter	t	
VP	71		links VK		L	Rasen	e	34,4
VP	72		links VK		L	Rasen	e	34,4
VP	73		links VK		L	Rasen	e	34,4
VP	74		hinter VK		BA	Rasen	e	29,3
VP	75		hinter VK		BA	Rasen	e	22,9
VP	76		hinter VK		BA	Rasen	e	32,8
VP	77		rechts VK		SA	Rasen	e	38,5
VP	78		rechts VK		SA	Rasen	e	33,1
VP	79		rechts VK		SA	Rasen	e	36,3

2.2 Probennahme

Den Bäumen wurden von 5. Bis 27. Oktober 2005 mithilfe eines Zuwachsbohrers jeweils 3 Bohrkerne von 5mm Durchmesser in Brusthöhe (~1,3 m) entnommen (Albert 1989; Grissino-Mayer 2003, Albert 2007). Die Entnahmestellen am Stamm waren dabei um jeweils etwa 120° versetzt. Holzfehler (Moser 2003), wie Maserknollenbildungen (umgangssprachlich oft als Wucherungen bezeichnet), wurden bei der Probennahme vermieden um ein gutes Holzbild in den Bohrkeren sicherzustellen. Die Minimallänge der Einzelbohrung entspricht dem Radius des zu untersuchenden Stammes. Die Bohrlöcher wurden mit einem handelsüblichen Baumwundpflegemittel ausgefüllt, um die Schäden (Blutungen, Pilz-Infektionen, etc.) für das Individuum zu minimieren (Eckstein 1981). Die Kerne wurden einzeln in Glaseprouvetten gesammelt und im Labor im Trockenschrank bei 60°C für 2 Tage getrocknet.

2.3 Probenvorbereitung

Die trockenen Kerne wurden in Kabelkanälen fixiert (Cichocki 2005), und allfällige Bruchstücke wurden in der richtigen Reihenfolge angeordnet. Die Passung wurde durch die „Geometrie“ der Bruchkanten und Übereinstimmung der Markstrahlen sichergestellt. Der Kern wurde an beiden Enden mit Holzblöcken geschützt. Diese sind wichtig um als Keile den Kern vor möglichem Zerreißen während der Oberflächenbearbeitung zu schützten. Die Ausrichtung der Kerne wurde so gewählt, dass die Schnittfläche der Fasern normal zur Oberfläche ausgerichtet war (Asherin 2001).

Dem so fixierten Kern wurde nun in 7 Schritten eine glatte, ebene Oberfläche verliehen. Dazu wurde das Holz mit dem Hobel APRON PLANE high-carbon steel blade O5P27.01 mit Carbonstahlklinge bearbeitet. Die Klinge wurde nach der Behandlung von 3 Bohrkernen nachgeschliffen, bei Bedarf auch öfter. Anschließend wurde mit Schleifpapieren der Marken Coat und Micro-mesh geglättet: electro coated EASY CUT Waterproof für die Körnungen 400, 600, und 1200 dpi (Polyester und Asphalt); Micro-mesh, Microsurface finishingproducts Inc. für die Körnungen 1500, 2400 und 4000 dpi (Silikon-Carbidkristalle). Schleifrückstände in den offenen Zelllumina wurden durch Abklopfen und Abblasen entfernt. Die Kerne wurden in Papiersäcken aufbewahrt. Im Rahmen der Probenvorbereitung wurde eine erste Abschätzung der Analysierbarkeit der bearbeiteten Kerne nach Holzbild, Passung der Bruchstücke zueinander, Holzbild und Sichtbarkeit der Jahresringe getroffen.

In einer Verfeinerung der Methode wurde für spätere Analysen ein zusätzlicher Säuberungsschritt mit Kleberollern hinzugefügt. Dies wird an gegebener Stelle in der Methode vermerkt.

Sto	Probe	Kern1	Kern2	Kern3
SR	21	j	j	j?
SR	22	n	n?	n
SR	23	n?	j	j?
SR	24	j?	j?	n?
SR	25	n	j	n
SR	26	n	n	n
SR	27	n	j	j
SR	28	n	j	n
SR	29	n?	j	n
SR	30	j	n	n?
SR	31	n	j	j
SR	32	j	j	j?
OZ	55	j	j	j
OZ	56	j	j	j
OZ	57	j	n	j
OZ	58	j	j	j
OZ	59	j	j	j
OZ	60	j	j	j
VP	74	j	n?	n
VP	75	j	j	n
VP	76	n	j	n
VP	77	j	j	n?
VP	78	n	n	j
VP	79	n	n	n?

Tab. 4: Die beprobten Bäume mit optischer Abschätzung (ohne Hilfsmittel bzw. mit Pflanzenlupe) der zu erwartenden Analysierbarkeit der Einzelkerne. Entscheidungsgrundlage sind Holzqualität, Passung der Bruchstücke zueinander, Sichtbarkeit (Kontrast) der Jahresringe oder auch auftretende Fäule. (Sto) Standort, (Probe) Baumindividuum, (Kern 1-3) Teilproben, (j) gute Analysierbarkeit, (n) schlechte Analysierbarkeit, (?) unsichere Abschätzung.

2.4 Dendrochronologische Analyse

2.4.1 Allgemeines

Zum Erhalt der dendrochronologischen Zeitreihe der jeweiligen Kollektive wurden die Grenzen der Jahrringe jedes Baumkernes markiert. Die optische Analyse wurde auf zwei Arten durchgeführt: Der Kern wurde entweder mittels Mikroskop und Messtisch vermessen (Mikroskopie - Methode) oder die Kerne wurden gescannt, und die Analyse erfolgte am gescannten Bild (digitale Methode).

Wichtig für die vergleichende Analyse der Bäume ist es, mit einfach analysierbaren unbelasteten Individuen anzufangen. Diese erfolgreichen Analysen ermöglichen es, die weiteren Bäume mit Hilfe der Vergleichswerte auch bei schwierigen Holzpassagen mit gutem Ergebnis zu vermessen. Dazu wird bereits in der Probenvorbereitung eine Abschätzung über die Analysefreundlichkeit der Proben getätigt (Tab. 4).

2.5 STATISTIK

Die Basis der hier verwendeten Statistik stellen die aus den Bohrkernanalysen gewonnenen Daten, bestehend aus den Zuwachsmessungen der gefundenen Jahrringe, dar. Die optische und statistische Analyse soll es ermöglichen, vertrauenswürdige Übereinstimmungen zwischen den Jahrringmessungen der Einzelkerne zu finden. Übereinstimmende Jahrringmessungen werden zu Mittelkurven zusammengefasst. Dabei wird mit den Kernen desselben Baumes begonnen, bei erfolgreichen Ergebnissen wird danach die Analyse auf Jahrringmessungen vergleichbarer Bäume desselben Straßenzuges ausgedehnt. Das Ziel ist es schließlich, alle in Wien untersuchten Bäume zueinander in Bezug zu setzten (Ahornchronologie für Wien).

2.5.1 Deskriptive Statistik

Neben den Gleichläufigkeitsberechnungen (siehe 2.5.6) wurden verschiedene deskriptive Statistikberechnungen (Mittelwerte, Standardabweichungen) durchgeführt. Ausreißer, also Messwerte die aus dem allgemeinen Bild deutlich herausstechen, werden erkannt und individuell beurteilt. Die Analysen erfolgten in SPSS 17.0. und Excel. Die Basis der Statistik stellen die aus den Bohrkernanalysen gewonnenen Daten, bestehend aus den Zuwachsmessungen, dem Abstand der gefundenen Jahrringe zueinander, dar.

Mit dem Versuch der Vereinfachung der Daten wurden in Excel einfach vergleichbare Kurven generiert, die nur mehr die Veränderung des Zuwachses wiederspiegeln (Abb. 18). Dies sollte die Zusammenführung der Messreihen aus den Holzbohrkernen der Einzelbäume vereinfachen. Die Vereinfachung sollte die Effekte individueller Standortsfaktoren und Alterstrends in den Zahlenreihen reduzieren, um eine bessere Vergleichbarkeit der Bäume zu erreichen. Das eindrucksvollste Ergebnis dieser Vereinfachungen ist an SP64 (einem Baum des Wiener Stadtparks) im Ergebnisteil (siehe 3.2.1) dargestellt. Der Effekt dieser Aufarbeitungen lässt sich an einem besonders erfolgreichen Baum der Bearbeitung mit Excel betrachten (Abb. 17).

Zuwachsmessungen, gewonnen aus der Vermessung des Stammdurchmessers und dem Wiener Baumkataster, werden ebenfalls durch Excel gestützt deskriptiv analysiert.

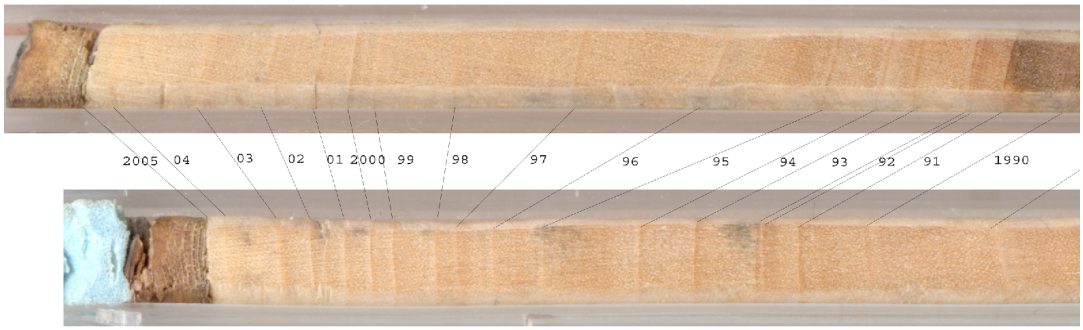


Abb. 10: Das Alignment zweier Holzkerne, gebildet durch den Vergleich der in den Kernen gefundenen Jahrringe. Die Zahlen markieren das Bildungsjahr des Jahrrings. Sicherheit über die zeitliche Zuordnung wird durch ähnliche Zuwachsfolgen in beiden Kernen erhalten. Im Optimalfall werden, gestützt durch andere Beobachtungen, v.a. durch Klimadaten, für bestimmte Jahressequenzen ähnliche Zuwachsmuster identifiziert. Gibt es besonders auffällige Jahre, werden diese als Zeigerjahre bezeichnet, im Bild das Jahr 2000. Abbildung von Margarete Watzka.

2.5.2 Mittelkurven

In weiterer Folge werden Mittelkurven der einzelnen Bäume (Einzelkurven) und danach des Baumkollektivs (Kollektivkurven) erstellt. So können standortspezifische, individuelle Unterschiede in Kontext zu klimatischen Faktoren, die auf das gesamte Kollektiv wirken, nachvollzogen werden. Der Vorgang, die Jahrringe der Einzelkerne miteinander unter dem zeitlichen Bezug der Bildung derselben gleichzusetzen, wird als das Bilden eines „Alignments“ bezeichnet (Abb. 10). Wichtige Hinweise auf Ähnlichkeiten werden durch sogenannte Zeigerjahre, „pointer years“, erreicht (Abb. 10). Dies sind Auffälligkeiten in den Kurven, hervorgerufen durch besonders gute oder schlechte Jahre (z.B. Trockenheit) für das Baumwachstum (Aniol 1982). Die erhaltenen Mittelkurven für Einzelbäume (Baummittelkurven) sind autökologisch, die für Baumgruppen (Kollektivmittelkurven) entsprechend regional interpretierbar. Interpretationen erfolgen z.B vegetationsökologisch oder auf Populations- oder Formationsebene. Auf diese Weise können z.B. Aussagen über das Klima größerer Gebiete getroffen werden (Schmidt 1988, Penninckx 1999, Esper 2002).

2.5.3 Das Aneinanderfügen der Einzelkurven zu Baummittelkurven

Nachdem die Jahrringe der einzelnen Bohrkerne zu je einer Kurve, Einzelkurve, zusammengefasst wurden, werden diese nun in Kontext zu den anderen Kernen desselben Baumes gebracht. Dieser Vorgang wird – wie schon oben erwähnt - als das Bilden eines Alignments bezeichnet und erfolgt mittels optischen Vergleichs. Die Alignmentbildung kann durch Programme wie „Tsap 3.6“ (Copyright 1989 – 2000, Frank Rinn, Heidelberg, Rinn 1989) unterstützt werden. Beginnend mit dem ersten vollständigen (also jüngsten) an die Borke anschließenden Jahrring, wird mittels optischen Vergleichs der Kurven versucht, einen gemeinsamen Startpunkt zu erstellen. Fehlende Jahrringe müssen ergänzt, ein Zuviel an gemessenen Ringen (als Dichteschwankungen) in der Probe muss erkannt und entsprechend eingearbeitet (gelöscht) werden. Für fehlende Ringe wurde als Dicke der „Standardwert 1“ (0,01 mm) angenommen. Bei der Erstellung der Baummittelkurven ist zu beachten, dass es vorkommen kann, dass ein Ring im Vergleich zu anderen Bäumen des Kollektives fehlt. In diesem Fall wurde der fehlende Ring im Nachhinein in die Baummittelkurve, nach demselben Prinzip wie oben beschrieben, eingefügt. Sollte es sich um einen dicken Ring gehandelt haben, wurde der Standardwert 2000 (20 mm) vergeben. Die Baummittelkurve besteht schlussendlich aus Jahrringwerten, errechnet aus den Mittelwerten der gemessenen Jahrringdicken des jeweiligen Jahres der Einzelkerne.

War eine Zusammenführung nicht möglich, bzw. waren die notwendigen Änderungen zu groß, musste auf eine Baummittelkurve verzichtet werden. Es ist davon auszugehen, dass die lokalen Standortfaktoren ein allgemeines Wachstumsbild überdecken können, sodass der Baum dadurch für eine Chronologie ungeeignet ist und dementsprechend aus dem Datensatz genommen werden muss. Ein solcher Baum mit individuell abweichendem Dickenwachstum ist als Ausreißer zu titulieren.

2.5.4 Das Gewinnen von Kollektivmittelkurven

Die Kollektivmittelkurve wird errechnet, indem die errechneten Mittelwerte der gemessenen Jahrringweiten der drei Einzelkurven oder Baummittelkurven für das jeweilige Jahr zur neuen gemeinsamen Kurve aneinandergefügt werden.

2.5.5 Alignmenterstellung und Gleichläufigkeitsberechnungen

Zur statistischen Absicherung der mittels Dendrochronologie gefundenen Mittelkurven werden Gleichläufigkeitsberechnungen angewandt. Die ermittelten Gleichläufigkeitswerte ermöglichen eine Abschätzung der Zuverlässigkeit des vermuteten Alignments zweier oder mehrerer Holzkerne. Das Alignment beschreibt dabei die erreichte Deckung mehrerer Kurven, Einzelkurven bis Kollektivmittelkurven, zueinander. Aus dem Alignment kann in weiterer Folge die nächsthöhere Mittelkurve gebildet werden.

Die Ähnlichkeit der erreichten Kurven lässt sich durch Gleichläufigkeitsberechnungen ermittelten. Dabei werden die angepassten Kurven mit einem Punktesystem hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit bewertet. Ist der Kurvenverlauf der verglichenen Kurven ident, das heißt, die Kurven weisen im selben Jahr erhöhtes, geringeres oder gleichbleibendes Wachstum verglichen mit dem Vorjahreswachstum auf, wird ein Punkt vergeben bei Steigerung des Wachstums, gepaart mit vermindertem Wachstum im Vergleichskern werden 0 Punkte vergeben. Weist ein Kern gleichbleibendes Wachstum auf, der Vergleichskern aber eine Abweichung im Dickenwachstum so wird ½ Punkt gerechnet. Der Gesamtpunktestand eines Jahres wird durch die Zahl an Proben für dieses Jahr dividiert. Der so erhaltene Ähnlichkeitswert wird mit den weiteren Jahreswerten der Überlappungsphase addiert und durch die Jahreszahl dividiert. Eine Gleichläufigkeit von 80% ergibt sich aus dem Ergebnis 0,8. Je länger der Vergleichszeitraum ist, als Länge des Alignments bezeichnet, desto niedriger kann der Gleichläufigkeitswert ausfallen, um immer noch ein Alignment mit 0,1% Fehlerwahrscheinlichkeit annehmen zu dürfen. Das bedeutet 99,9% Sicherheit über die Paarung der Jahrringe ohne dass er sich dabei um eine zufällige Passung handelt. Der Wert der Fehlerwahrscheinlichkeit zeigt an, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass fälschlicherweise Jahrringe aus unterschiedlichen Entstehungsjahren miteinander verglichen werden. Die Fehlerwahrscheinlichkeit kann für eigene Berechnungen der Gleichläufigkeit bzw. Berechnungen mit dem Programm Tsap 3.6 (Rinn 1989) mittels Tabelleneinsicht (Abb. 11) abgeschätzt werden (Grabner nach Eckstein 1969). Das Programm Tsap Win gibt Fehlerwahrscheinichkeiten aus.

Die Gleichläufigkeit ist von der Überlappungslänge abhängig. Längere, auch weniger passende Überlappungen werden als sicherer angenommen als kurze Überlappungen da zufällige Ähnlichkeiten in kürzeren Abschnitten als häufiger angenommen werden müssen als in längeren.

Bei 30 Jahren ist ein Wert von min 79% Gleichläufigkeit, bei 50 Jahren von min 72% und bei 80 Jahren Überlappung von min 68% notwendig, um 0,1% Fehlerwahrscheinlichkeit

einzuhalten. Diese Werte gelten für den Vergleich von Kernen eines Individuums wie auch zwischen verschiedenen Individuen oder sogar Arten (Grabner 2011). Gleichläufigkeiten werden vom Programm TsapWin Professional durch die die Funktionsgruppe Math Graph mit den Signifikanzwerten 95,0% „*“, für 99,0%„**“, und 99,9% „***“ (Signifikanz der Gleichläufigkeit) angegeben (Rinn 2003), das entspricht 0,5% 0,1% und 0,01% Fehlerwahrscheinlichkeit.

Überlappungslänge	Gleichläufigkeit %
10	98,9
20	84,5
30	78,2
40	74,4
50	71,8
60	69,9
70	68,5
80	67,3
90	66,3
100	65,5
110	64,7
120	64,1
130	63,6
140	63,1
150	62,6
160	62,2
170	61,8
180	61,5
190	61,2
200	60,9

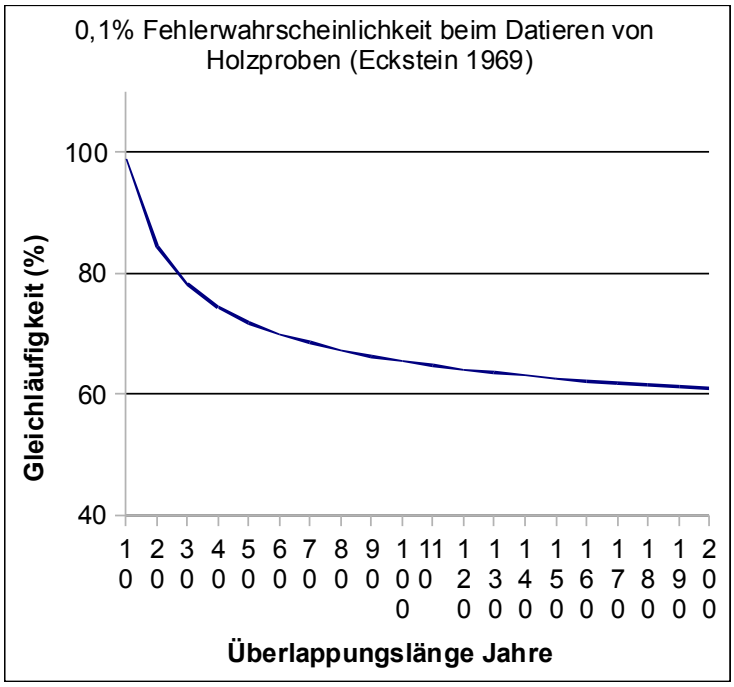


Abb. 11: Die 0,1% Fehlerwahrscheinlichkeit bei Alignments als Funktion der Überlappungslänge in Jahren und des Gleichläufigkeitswertes (Dendrochronologie - Labor der Universität für Bodenkultur Wien (Grabner nach Eckstein 1969)).

2.6 Digitale und mikroskopische Jahrringmessung

2.6.1 Details zur digitalen Messung der Jahrringe

Die Kerne wurden mit einem HP Scanjet 4890 Flachbettscanner, mit einer maximalen optischen Auflösung von 2400 dpi, mit dem Programm Photoshop (Version 7.0) mittels TWAIN Schnittstelle, abgescannt. Um dem Einfluss von Streulicht vorzubeugen, wurde der Vorgang in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Das erhaltene Bild wurde unter den Menüeinstellungen „Filter – Scharfzeichnungsfilter“ mit dem Werkzeug „Unscharf Maskieren“ mit den Einstellungen „250%; 2,0; 2 Stufen“ digital nachbearbeitet. Das so vorbereitete Bild wurde beschriftet und als Rohbild abgelegt.

Die optische Analyse der Daten erfolgte auf einem Windows XP Professional SP2 Computer mit AMD-Athlon ™ 64 2800+ Prozessor mit 1,8GHz, 1GB RAM und 256MB NVIDIA Grafikkarte mit einem 17“ Standartflachbildschirm S7A, TFT LCD Monitor mit 50-60Hz, ModelNr. LE1708, SKU Nu. I280028, Pixelklasse II mit dem Ziel Jahrringgrenzen zu finden. Die Bearbeitung erfolgte bei empirisch festgestellten optimalen Lichtverhältnissen und bei optimalem Blickwinkel. Zur Feststellung der Jahresringe wurden die Zuwächse einzelner Jahre im Photoshop 7.0 durch den Vergleich der Bilder der 3 Kerne eines Baumes markiert. Markierungen wurden unter Berücksichtigung ähnlicher Ringfolgen in den weiteren Kernen desselben Baumindividuums gesetzt. Die Vergleichbarkeit der Bilder wurde durch das gemeinsame Scannen der Kerne sichergestellt. Die Kerne eines Baumes wurden benachbart im erhaltenen Bild dargestellt. Die Jahrringweite wurde bestimmt und durch grüne, parallel zu den Markstrahlen verlaufende Striche mit Stärke 8 Pkt. markiert (Abb. 20). Im analysierten Bild wurde für jeden Kern separat, von der Borke beginnend, alle 10 Jahre eine Marke (x) gesetzt.

Das analysierte Bild wurde in das Programm ImageJ (Abroff 2004) importiert und vermessen. Für die Kalibrierung wurde unter „analyse - set scale“ ein Millimeter in Pixel definiert. Dabei entsprechen 2 mm 198 Pixel. Unter „analyse - set measurements“ wurde das Messwerkzeug auf „feret´s diameter“ und 3 Kommastellen eingestellt. Bei diesen Einstellungen ermöglicht ImageJ, durch eine Linienmarkierung der im Photoshop gesetzten Linien, mit der integrierten Funktion „Zauberstab“ und die Funktion „measure“ die Länge der gezogenen Linien zu bestimmen. Die Messung erfolgte von der Borke beginnend gegen das Innere des Stammes. Die so bestimmten Jahrringstärken wurden automatisch in der Reihenfolge der Linienmessungen durchnummeriert und in einer Tabelle gesammelt.

Die mit ImageJ exportierten Tabellen wurden in Microsoft Excel 2003 importiert, dabei bekam jeder Baum ein File und jeder Kern ein eigenes Arbeitsblatt. Die Daten eines Baumes wurden graphisch als Kurven dargestellt um den Jahreszuwachs der Kerne vergleichbar zu machen und Perioden schlechteren Zuwachses zu erkennen.

Gleichzeitig war es hier möglich, Fehler zu erkennen, die sich im unterschiedlichen Zuwachsverhalten der 3 Kerne eines Baumes äußern und eine wiederholte Holzbearbeitung und Bild-Analyse notwendig machen. Ist eine vertrauenswürdige Ähnlichkeit der Einzelkurven, individuelle Kurven der einzelnen Bohrkerne erreicht, kann aus dem nun erstellten Alignment eine Baummittelkurve gebildet werden.

2.6.2 Details zur mikroskopischen Analyse (Messtisch)

Die Analyse erfolgte im Dendrochronologie - Labor von Dr. Michael Grabner, Institut für Holzforschung, Universität für Bodenkultur Wien.

Wie im Abschnitt 2.3, Probenvorbereitung, beschrieben wurden die vorbereiteten Kerne nochmals mit Schleifpapier nachgearbeitet (Tab. 4). Anders als für die digitale Analyse wurden die Kerne mithilfe eines Kleberollers entstaubt. Da Reste der adhäsiven Oberfläche auf den Kernen die chemische Analyse beeinflussen könnten, sind hier die Herstellerfirmen angeführt: Kleberoller der Firma Tesa, Kleiderroller der Fa. H&M. Optisch waren keine Klebereste zu erkennen. Ziel der Entstaubung war es, eine saubere Oberfläche zu erhalten und die angeschnittenen Zelllumen von Schleifrückständen zu befreien. Im Rahmen der Messtischanalyse wurde die Qualität der Proben optisch eingeschätzt. Dies ermöglicht eine effizientere weitere Aufarbeitung und im Extremfall das frühzeitige Ausscheiden von nicht analysierbaren Kernen. Gründe für das Ausscheiden von Kernen sind neben der Nichtanalysierbarkeit aufgrund von zu kontrastarmem Holz vor allem die nicht immer mögliche korrekte Zusammensetzbarkeit der Bruchstücke eines Kernes und zu weite Passagen morschen Holzes (Tab. 4).

Die Kerne wurden mittels eines Messtisches von Diagnostic Instruments mit 0,01 mm Messgenauigkeit des Vortriebes mit dem Mikroskop Zeiss Stemi 200-C, ausgerüstet mit dem Okular w-pi 10x23 mit internem Fadenkreuz und einem Objektiv mit 0,65-5x Vergrößerung, analysiert. Lichtquellen waren indirektes Tageslicht bzw. Neonlicht sowie eine externe Lichtquelle für das Mikroskop, Zeiss KL 1500 LCD. Eine Digitalkamera übertrug das Bild mittels eines Sony Camera Adapter CMA-D2 auf einen Röhrenfernseher ITT Nokia mit aufgemaltem Fadenkreuz. Bewegt wurde der Kern durch den stufenlos bewegbaren Messtisch.

Die Analyserichtung beginnt bei der Borke und folgt den Holzstrahlen. Die Holzstrahlen hatten parallel zum Vortrieb ausgerichtet zu sein. Wenn nötig wurde die Ausrichtung des Objektes während der Messung manuell am Objekttisch korrigiert.

Die vermeintlichen Jahrringe wurden jeweils am Fadenkreuz mittels Mausbefehl als Messpunkte markiert. Die so gesetzte Entfernungsangabe über die zurückgelegte Strecke des Messtisches vom vorhergehenden zum aktuellen Messpunkt ergibt den jährlichen Zuwachs. Verrechnet und gespeichert wurden die Daten mit Tsap Win Professional 0.53 (c) 2002 – 2004 von Frank Rinn, RINNTECH (Rinn 2002). Das Programm zeigt den Messfortschritt bereits während der Messung in Jahrringkurven an.

Bei Analyseproblemen wurde der Kern zusätzlich mit freiem Auge und mittels Pflanzenlupe (10x bzw. 20x Vergrößerung) kontrolliert und mit vorhergehenden Analysen der Nachbarkerne verglichen, die am Bildschirm in der Tsap-Mitschrift in Form von Jahrringkurven die aktuelle Messung unterlegend angezeigt wurden. Im Bedarfsfall wurde nach oben beschriebener Methode nachgearbeitet.

Während der Analyse wurde abhängig vom Platzangebot jeder Ring am Bohrkern mit einem Nadelstich und einem Kratzer an der Oberseite des als Objektträger fungierenden Kabelkanals markiert. Zusätzlich wurde jeder 10. Ring durch einen einfachen, jeder 50. Ring durch einen doppelten Kratzer am Rand des Kabelkanals sowie durch eine entsprechende Beschriftung markiert. Bei Veränderungen der Ringzahl durch Fehleranalysen wurden die Dezimalkratzer nicht mehr verändert, neue Jahresmarkierungen wurden aber hinzugefügt. Die Analyse mithilfe von Tsap Win Professional wurde für jeden Kern durch Einstellung eines neuen Header im Programm begonnen. Dabei wurde für jeden Probenkern ein eindeutiger Messcode vergeben. Der Code besteht aus einer, aus zwei Großbuchstaben bestehenden Kurzbezeichnung des Ortes der Probennahme, einem zweistelligen Kürzel für die Art (Ac für *Acer* sp.), der während der Probennahme vergebenen Baumnummer und der Kernnummer „1“ bis maximal „4“ des beprobten Baumes für den jeweiligen Probenkern.

Die Messungen wurden im Heidelbergformat als *.fh File gespeichert (Rinn 2003).

Die mittels Messtischapparatur bearbeiteten Kerne wurden in einem weiteren Schritt mit dem Softwarepaket Tsap Win Professional mit dem Ziel der gemeinsamen Baummittelkurve mittels „Crossdating“ analysiert (Rinn 2002). „Crossdating“ beschreibt die vergleichende Analyse mehrerer Messkurven mit dem Ziel, durch das Dickenwachstum des Baumes zeitlich begründete Gemeinsamkeiten zu finden und so ein Alignment zu bilden.

Mithilfe der Funktion Math Graph in Tsap 3.6 kann für Messungen mit Tsap am Messtisch eine erste automatisierte „Alignment“ -Vorhersage getroffen werden. Math Graph macht dabei Vorschläge für Kurvenpassungen der zu vergleichenden Kurven und erleichtert so das „Crossdating“ (ähnlich der weiter oben beschriebenen Auswertung mittels dem R-Skript von Pennings 2010).

2.7 Qualitätskontrolle der Probenvorbereitung und der digitalen Messmethode

Um auszuschließen, dass die Methode durch den Bearbeitenden maßgeblich beeinflusst wird, wurde der Einfluss der einzelnen Arbeitsschritte bewertet und, falls möglich, nochmals getestet. So konnten methodische Probleme gezielt erkannt werden und die digitale Methodik, welche eine modernere Form der Jahrringmessung darstellt, auf ihre Qualität untersucht werden. Es handelte sich hierbei um folgende Arbeitsschritte:

1) Probennahme mittels Zuwachsbohrer und anschließende Trocknung der Proben.
2) das korrekte Zusammenführen und Einspannen der Stücke eines Kernes in Kabelkanäle.
3) die grobe Oberflächenbehandlung mit einem Hobel.
4) die feine Oberflächenbehandlung mit Schleifpapier.
5) das Scannen der Probenoberfläche und die Bildbearbeitung.
6) die Analyse der Bilder und Kerne auf Jahresringe und ihre Markierung.
7) das Messen der Jahrringweiten
8) das Erstellen von Alignments: Vergleich der Bearbeitungsmethoden „digitale Analyse“ und „mikroskopische Analyse“ durch das automatisierte Bilden von Alignments.

Die Schritte (1) bis (3) konnten aus Gründen von Zeit, Materialverbrauch an der Probe und der Notwendigkeit einer neuerlichen Sammelerlaubnis nicht wiederholt werden. Punkt 7 (die eigentliche Messung) wurde nicht als Fehlerquelle angesehen und daher nicht überprüft, diente aber als Abschluss, da durch die Messung Daten gewonnen wurden, die für die Auswertung verglichen werden konnten.

Die Punkte 4-6 und 8 wurden an ausgesuchten Bohrkernen parallel für beide Methoden durchgeführt, wobei Punkt 8 erst nach der Komplettanalyse mittels eigens geschriebenen R-Skripts erfolgte. Dies wird unter Kap. 2.7.1, „Automatisiertes Alignment der Bohrkerne mittels

R“ eigens beschrieben. Jeder der Tests 4-6 erfolgte durch dreimalige Analyse der Proben dreier Bäume. So haben sich für jeden Baum drei Kerne und insgesamt 9 Messungen ergeben. Für die Tests wurden 9 Bäume des Schottenringes verwendet (Tab. 5). Bei jedem Testdurchlauf wurde an der entsprechenden Stelle (Schleifen (4), Scannen (5), Bildanalyse (6)) in die Methode eingestiegen und diese bis zum Ende durchgearbeitet (Tab. 13). Um menschliche Effekte wie Müdigkeit oder Erinnerung auszuschließen, wurde jeweils ein Verdachtsmoment einmal für alle Bäume getestet, sodass es erst nach Abschluss eines kompletten Durchlaufs aller drei Untersuchungspunkte zu einer Wiederholung gekommen ist. Wiederholungen passierten somit im Wochentakt.

In der primären Qualitätskontrolle wurden die Schritte 4 (Schleifen), 5 (Scannen) und 6 (Bildanalyse) untersucht um sicher zu stellen, dass hier keine Unregelmäßigkeiten die Ergebnisse der digitalen Analyse beeinflussten. Als zusätzliche Verfeinerung der Methode wurde die Oberfläche der Proben vor jedem Scan mit einem Tesaroller (Kleiderroller) nochmals gesäubert.

Tab. 5: Die wiederholte Durchführung der Schritte „Schleifen“, „Scannen“ und „Bildanalyse“ der Probenvorbereitung und Analyse von Bäumen am Schottenring (SR). Für jeden Baum wurden die 3 Parallelkerne 1; 2; 3 analysiert. Es wurden bei jeder Wiederholung die nachfolgenden Schritte bis zum Vergleich der Einzelkurven durchgeführt.

Schleifen: SR23/1; 2; 3 SR22/1; 2; 3 SR21/1; 2; 3

Scannen: SR26/1; 2; 3 SR25/1; 2; 3 SR24/1; 2; 3

Bildanalyse: SR30/1; 2; 3 SR29/1; 2; 3 SR28/1; 2; 3

2.7.1 Automatisiertes Alignment der Bohrkerne mittels R

Um beim Vergleich der „Mikroskopie - Methode“ und „digitale Methode“ den Einfluss des Experimentators zu reduzieren, wurde ein die menschliche Analyse nachahmendes Skript (Pennings 2010) für das Programmpaket R (R Development Core Team 2010) angewandt. Dieses Script versucht, die optimale Passung von bis zu drei Kurven durch Verschieben derselben und durch Einsetzen von Ringen mit dem Wert 0,1 (Abb. 12) zu erreichen. Ausgegeben werden Gleichläufigkeitswerte sowie die angepassten Kurven der Kerne, gepaart mit dem jahresspezifischen Gleichläufigkeitswert in Form einer begleitenden Kurve. Um das Skript anwenden zu können, werden die Daten mit einem Parse-skript (Gros 2010) transformiert. R- und Parse-skript finden sich im Anhang.

Das R-Skript führt ähnliche Korrekturschritte wie das etablierte Programm Covecha aus, das dendrochronologische Daten analysiert und dem Benutzer Korrekturschritte vorschlägt um eine bessere Kurvenpassung zu erreichen. Das Programm Covecha sucht durch die Betrachtung von definierbar großen Jahresblöcken nach Ähnlichkeiten in den Kurven. Durch die Konzentration auf Blöcke und ihr Verschieben unter der Prämisse besserer Passung werden mögliche Fehler und Korrekturmöglichkeiten aufgezeigt. Die Passung wird für die Kurven unter Berücksichtigung der Annahme der Korrektur der einzelnen Fehler bzw. ohne diese Korrektur durch die Angabe von Gleichläufigkeitswerten in Listen angegeben (Holmes 1983).

digitale Methode VP75 **Mikroskopie - Methode VP75**

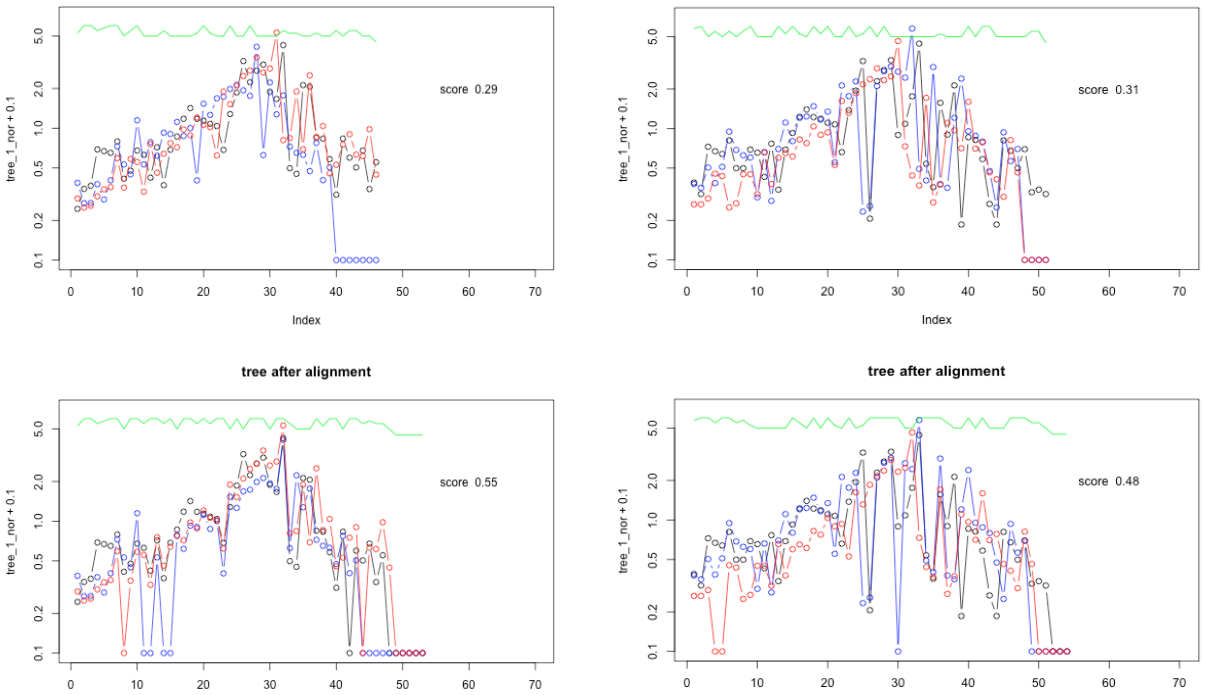


Abb. 12: Zu sehen sind die automatischen Alignments mittels R für die Daten der digitalen- und der Mikroskopie - Methode von VP75. Der Index gibt die Zahl der gefundenen Jahresringe an, der Score den Gleichläufigkeitswert für die 3 Bohrkerne. Die Grüne Linie oberhalb der Jahrringkurven zeigt die Passung der Datenpunkte zueinander. Dabei wird die Gleichläufigkeit der Veränderung der Werte angezeigt. Eine gleichförmige Steigung im Sinne von Zu- oder Abnahme gegenüber dem vorhergegangenen Datenpunkt erhöht die Linie. Die Höhe der Linie berechnet sich aus dem Vergleich der Einzelkurven zueinander. Die höchsten Werte zeigen eine gleichförmige Entwicklung aller drei Jahrringkurven bezogen auf den jeweiligen Vorjahreswert an. Die oberen Graphen zeigen die Rohdaten ohne Alignment, die unteren wurden durch Einfügen von Datenpunkten mit dem Wert 0,1 aneinander angeglichen.

2.8 Färbeexperimente

An den Kernen SR28/1, SR29/1, SR30/1 wurden sechs verschiedene Blockfärbungen zur Kontrasterhöhung getestet. Die Oberfläche der Kerne wurde dabei wie beschrieben vorbereitet (siehe 2.3, Probenvorbreitung). Es wurden die Färbemittel Coca Cola, Kaffee, Safranin, Astrablau und Gentianaviolett auf die Holzproben aufgetragen.

Zusätzlich wurde mit der Kombination von Astrablau und Safranin eine dichromatische Färbung versucht, um eine bessere Differenzierung von Lignin, Zellulose und Hemizellulose zu erreichen, und so Frühholz besser von Spätholz unterscheidbar zu machen. Astrablau färbt Zellulose im ligninfreien Milieu (Schwarze 2007), Safranin markiert Lignin (Marion 2007).

Im Vorexperiment an Probekernen verschieden belasteter Exemplare von *Acer pseudoplatanus* wurde unter Anleitung von Gerhard Draxler (2009) das Färbemittel durch gleichmäßiges Streichen über die bearbeitete glatte Oberfläche des Kernes mit der weichen Seite eines handelsüblichen Putzschwammes aufgebracht. Die dichromatische Färbung Safranin/ Astrablau wurde durch das anfängliche Auftragen von Astrablau und durch das zusätzliche Auftragen von Safranin nach der Trocknung entsprechend der oben beschriebenen Methode erreicht. Neben Coca Cola und schwarzem Kaffee aus einem Bohnenkaffeautomaten wurden die Färbemittel der Arbeitsgruppe Pflanzenanatomie des Departments für Molekulare Systembiologie verwendet (Tab. 6). Der gefärbte Kern wurde anschließend luftgetrocknet. Mittels Lupe wurde die Qualität des erreichten Kontrastes anhand der Sichtbarkeit der Stressringe verglichen.

Zur Erhöhung der Farbintensität wurde die Konzentration der monochromatischen Färbungen durch Wiederholen der Färbung intensiviert. Gentianaviolett wurde bei derartigen Überfärbungen jeweils im Form eines Tropfens aufgebracht, um das Ergebnis zu verbessern. Randbildungen als Trocknungserscheinung des Tropfens sind nicht aufgetreten. An jedem Kern wurden Abschnittsweise alle fünf Färbungen getestet.

Tab. 6: Zusammensetzung der zur Holzblockfärbung verwendeten Färbemittel (nach Draxler, 2009)

Färbemittel	Inhaltsstoffe
Astrablau	0,5g Astrablau; 2,0g Weinsäure; 100ml Aqua dest.; Spur Phenol
Safranin	1g Safranin; 100ml Aqua dest.
Gentianaviolett	0,01% Gentianaviolett in Glycerin zu Aqua dest. 2:1
Cola	Coca Cola bei Zimmertemperatur
Kaffee	Frischer Mocca aus Bohnenkaffe bei Zimmertemperatur

Ziel der Färbungen war es, die Ringe der Probenkerne deutlicher sichtbar zu machen; eine Unterscheidungsmöglichkeit zwischen falschen und echten Jahrringen kann jedoch aufgrund deren anatomischer Ähnlichkeit nicht erreicht werden.
Analysiert wurden die Färbungen im Auflicht eines Binokulars der Firma Reichert bei 0,7 facher Vergrößerung. Zur Dokumentation wurden mit einer Samsung Digimax V50 mit 5,0 Megapixel Bilder der Qualität „super fein“ unter der Einstellung Auto ohne Blitz unter zu Hilfenahme eines Samsung Lens Adaptors SLA 3537 angefertigt.

2.9 Voruntersuchung zur Analyse der Proben im REM mittels EDAX-Sensor

Für die Vorstudie zur Anwendbarkeit der Elementanalyse im Holz mittels EDAX-Sensor Genesis, FEI XL30 (ESEM), am Rasterelektronenmikroskop (REM), REM PHILIPS XL 20, wurden 8 Holzbohrkerne von nicht in der Studie verwendeten Bäumen, jeweils zwei belastete und zwei unbelastete Ahorne und ebenso 2 + 2 Linden (Tab. 7) mit der unter Probenvorbereitung beschriebenen Vorgehensweise vorbereitet. Allerdings wurden während aller Arbeitsschritte, um den Einfluss von Schweiß auf die Analyse zu vermeiden, Laborhandschuhe verwendet. Im Rahmen der optischen Analyse, die hier mittel Messlupe durchgeführt wurde, wurden die gefundenen Jahrringe durch kleine Nadeleinstiche markiert. Die digitale Analyse zur Vermessung der Jahrringe wurde für diesen Versuch nicht durchgeführt.
Um die Kerne im REM betrachten zu können, wurden 0,5 x 1 cm große Blöcke im Kabelkanal mit einer Säge geschnitten. Die erhaltenen Buchstücke wurden auf mit Kohleplättchen beklebten

„Stabs“ (Objektträger für das REM) befestigt und durch den EPA 101, einer (Dioden-Sputter-Anlage) gleichmäßig mit Kohle bedampft. Die fertigen Objekte wurden unter Schutzatmosphäre gelagert und im REM analysiert.

In der Analyse wurden von den „Stabs“ Übersichtsbilder ausgedruckt und dort die Messpunkte bestimmt (Abb. 26). Mit den Übersichtsbildern konnten die Messpunkte in den gescannten Bildern der Bohrkerne verortet werden (Abb. 13). Die Aufnahmeeinstellungen des „Beams“ für die Bilder waren: „Spotsize 5“ und „Workingspace 12“. Die Messeinstellungen waren: „DaethTime ~33%“, in Ausnahmen bis 40%, reguliert mit Feineinstellung der „Spotsize ~5 -bis max 5,4. Von jedem Messpunkt wurde auch ein Bild gespeichert (Abb. 26). Die Elementanalyse mittels EDAX wurde mit obigen Einstellungen für jeweils 100sek durchgeführt. Mit der EDAX-Methode werden durch das Abtasten der Objektoberfläche mit einem Elektronenstrahl bei obigen Einstellungen Elektronen aus den Elektronenschalen der getroffenen Atome herausgeschlagen. Diese Elektronen weisen die Energie der spezifischen Energieniveaus der Elektronenschalen des Ursprungsatoms auf. Die verschiedenen Energieniveaus werden in den aus der Messung erhaltenen EDAX-Kurven mit den in der Atomphysik vergebenen Energieniveaubezeichnungen (Benennung der Schalen in ansteigender Reihenfolge, beginnend mit der K-Schale mit dem niedrigsten Energie-Niveau: K, L, M, N) angegeben (Breuer 1992). Durch Messung dieser Energie kann das Herkunftsatom angegeben werden. Da der Strahl gleichmäßig arbeitet, werden alle vorhandenen Atome gleichermaßen von der Abtastung betroffen. Das Zählen der Elektronen nach ihren Energieniveaus und in weiterer Folge das Zuordnen der Energieniveaus zu Elementen ermöglicht es, verhältnismäßige Häufigkeiten der Atome (Atomprozent) anzugeben. Durch Kombination der Atomprozente mit dem Gewicht der Atome, welches für jedes Element bekannt ist, kann die relative Masse der einzelnen Elemente an der Messstelle berechnet werden (Massenprozent). Die Peaks der Elektronen aus den verschiedenen Energieniveaus des Kohlenstoffes und seiner Isotope müssen dabei außeracht gelassen werden, da durch die Bedampfung (das Besputtern) der Proben mit Kohlenstoff, die für die Verwendung der Proben im REM notwendig ist (Sieghardt 1994), die vorhandene Menge an Kohlenstoff künstlich verändert wurde. Um auch Aussagen über die Kohlenstoffmenge in der Probe machen zu können, was aber nicht Ziel dieser auf Natriumchlorid abzielenden Untersuchung ist, müssten die zu erwartenden Moleküle (etwa Zellulose) auf ihre Atomhäufigkeiten analysiert werden und zum Beispiel mit der Menge an gemessenen Sauerstoffatomen verrechnet werden.

Um die Reproduzierbarkeit der gemessenen Werte zu überprüfen, wurden an einzelnen Messpunkten jeweils 3 Messwiederholungen durchgeführt (Abb. 29, Abb. 30).

Die EDAX-Analyse erlaubt auch das gezielte Analysieren einzelner Elemente an Messstrecken, wodurch Aussagen über die relative Häufigkeit des untersuchten Elementes möglich sind (Abb. 14).

Tab. 7: Belastungsabschätzung der für die Elementanalyse mittels EDAX verwendeten Baumproben. A (Ahorn) L (Linde). Die Belastungsabschätzung erfolgte mittels Baumkronenbild.

A121, A122, A124 stark belastet

A221, A222, A225 gering belastet

L111 , L112 gering belastet

L221, L222 stark belastet

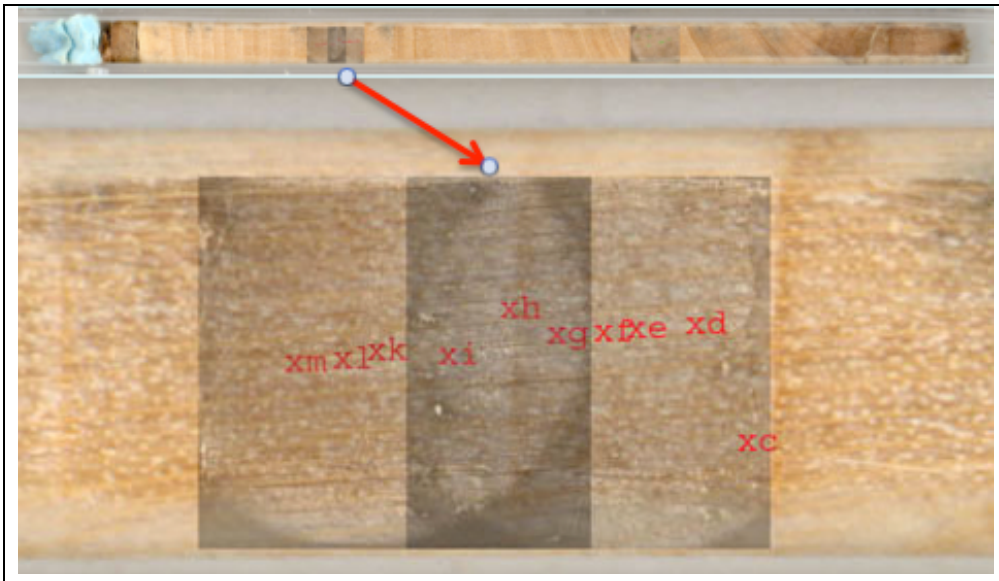


Abb. 13: Scannerbild des Kerns A222., ein wenig belastetete Ahorn aus Wien. Oben ist der gesamte Bohrkern zu sehen. Das untere Bild zeigt die Vergrößerung der mittels Pfeil hervorgehobenen Stelle, überlagert durch zwei Übersichtsbilder (linkes Bild A222b, rechtes A222a) aus der elektronenmikroskopischen Elementanalyse mittels EDAX. (x) kennzeichnet einen Messpunkt dieser Analyse. Die Messpunkte sind mittels Buchstaben (c-m) benannt. Es ist zu erkennen, wie die Messpunkte am Kern verortet werden können.

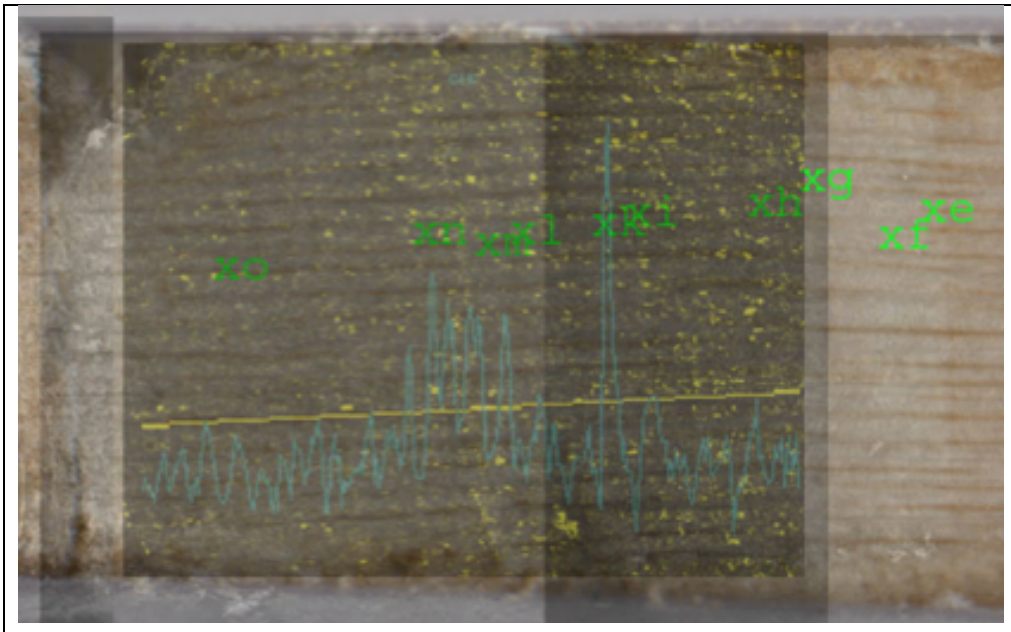


Abb. 14: Chloridmessung an einer definierten Messstrecke an der Linde L222 (gelbe Linie). Durch das Überlagern des Scannerbildes mit den Übersichtsbildern (Einzelmesspunkten, grün (x)) der EDAX-Analyse, des Bildes der Chloridmessstrecke (gelb) und der relativen Chloridhäufigkeit (blaue Kurve) ergibt sich ein verortbares Analysebild für eine etwa 1cm große Stelle des Bohrkerns. Benennungen der Messpunkte e – o. Die gelbe Line zeigt den Ort der Messstrecke an.

3 ERGEBNISSE

3.1 Die untersuchten Bäume 2005 bis 2013

Die dendrochronologisch analysierten Bäume wurden im Sommer 2013 auf ihren Stammumfang, die Verheilung der bei der Probennahme hinterlassenen Bohrlöcher und ihr Überleben überprüft. Von den 24 Bäumen im Jahr 2005 existierten 6 im Jahr 2013 nicht mehr (Tab. 9). Alle betroffenen Bäume stehen an für Bäume extremen Standorten, wo auch von verstärkter Streusalzbelastung ausgegangen werden muss. Im Votivpark als vermutetem Standort ohne Streusalzbelastung wurden alle Bäume von 2005 im Sommer 2013 wiedergefunden (Tab. 3, Tab. 12).

Das Absterben der Bäume kann durch den im Wiener Baumkataster (ViennaGIS 2013) angegebenen Zeitpunkt der Nachpflanzung eines neuen Baumes nachvollzogen werden. Die betroffenen Bäume wurden zwischen 2007 und 2013 ersetzt, 3 davon 2009 (Tab. 10).

Die besondere Belastung der Bäume im Haltestellenbereich konnte auch in dieser abschließenden Begehung dokumentiert werden. Die Bäume weisen stark nekrotische Kronen auf (Tab. 12), und bei zwei Bäumen außerhalb der Studie, aber im Haltestellenbereich SA 2037 L 3037, wurde Notaustrieb beobachtet (Abb. 15).

Die gefundenen Bohrlöcher sind gut verheilt und weisen als Abschlussgewebe Borke auf (Abb. 16 (a)). Vereinzelt sind Hohlräume zurückgeblieben, (Abb. 16 (b)) verheilte Bohrlöcher, die zum Teil von Spinnen bewohnt werden. An einem Baum, OZ 58, der Oberzellergasse wurde unter einem Ast ein Ameisennest entdeckt, dieser Baum (Abb. 16 (c)) könnte im Inneren morsch sein. Oberflächlich konnten keine die Bäume belastenden Schäden durch die Probennahme 2005 festgestellt werden.

Die Zunahme des Umfanges der Bäume vom Zeitraum der ersten Messung August 2005 bis August 2013 variiert zwischen 3,13 und 17,06 cm, mit je einem Ausreißer nach oben für die drei Standorte Oberzellergasse (OZ), Schottenring (SR) und Votivpark (VP): OZ57 mit 23,11 cm, SR26 mit 19,86 cm und im Votivpark die Linde VP72 mit 19,93 cm. Der durchschnittliche Zuwachs für alle Standorte beträgt 12,55 cm (Tab. 8).

Unterschiede zwischen den Standorten waren bei den überlebenden Individuen, inklusive Ausreißer, am Zuwachs nur für die Oberzellergasse auszumachen. Dieser Wert erscheint aber aufgrund der großen Standardabweichung von 8,14 cm nicht eindeutig.

Tab. 8: Zuwachs: Berechnungen des Zuwachses von 2005 - 2013 der Bäume der Standorte Oberzellergasse (OZ), Schottenring (SR) und Votivpark (VP). Die Bäume im Votivpark sollten das ungestörteste Wachstumsverhalten zeigen. Bei den gemessenen Bäumen handelt es sich um Spitzahorn und Bergahorn und im VP auch um 3 Linden. In der Spalte „bereinigt" sind als Ausreißer klassifizierte Ahorne und die Linden des VP ausgeschieden.

Angaben in (cm)	alle Bäume	Standardabw.	Bereinigt	Standardabw.
Mittelwert	**12,55**	**5,51**	**10,69**	**4,62**
Mittelwert_OZ	10,27	8,14	7,06	4,44
Mittelwert_SR	13,66	3,77	12,42	2,49
Mittelwert_VP	13,09	5,05	11,66	5,32

Der um die Ausreißer bereinigte mittlere Zuwachs der jeweiligen Baumkollektive ergibt für die Oberzellergasse mit nur 7,06 cm einen geringeren Wert als für die Standorte Schottenring (12,42 cm) und Votivpark (11,66 cm). Die Streusalzmengen von Natriumchlorid werden für das Jahr 2005 für die Oberzellergasse um das 61,3-fache höher angegeben als für den Schottenring. Wird für alle Standorte zusätzlich das Ausbringen von Kaliumkarbonat, eines den Baum weniger belastenden Enteisungsmittels, berücksichtig, so wurde in der Oberzellergasse um das 1,4-fache mehr Enteisungsmittel verwendet. Der direkte Vergleich mit dem ausgebrachten Kaliumkarbonat ist allerdings problematisch, da Kaliumkarbonat als wesentlich weniger belastend für den Baum gilt (Albert 2000).

Der tatsächlich gemessene Stammumfang und der im Baumkataster verzeichnete Stammumfang weist abweichende Werte von bis zu 5 cm, im Mittel 2,36 cm, auf (Tab. 11). Aus dem gemessenen Zuwachs ergibt sich ein durchschnittlicher Jahrring von 0,44 cm. Für viele der vermessenen Bäume wurde Spannrückigkeit festgestellt. Spannrückigkeit beschreibt die nicht konzentrische, sondern lappige Ausbildung des Stammquerschnittes.



Abb. 15: Notaustrieb (Pfeile) an zwei stark belasteten Bäumen im Haltestellenbereich Wipplingerstraße am Schottenring in Wien. Bild (a) zeigt die Linde 3037, Bild (b) den Spitzahorn 2037. Die Benennung der Bäume erfolgt nach dem Wiener Baumkataster (ViennaGIS 2013). Die Fotos zeigen den Zustand der Kronen am 14.August 2013.

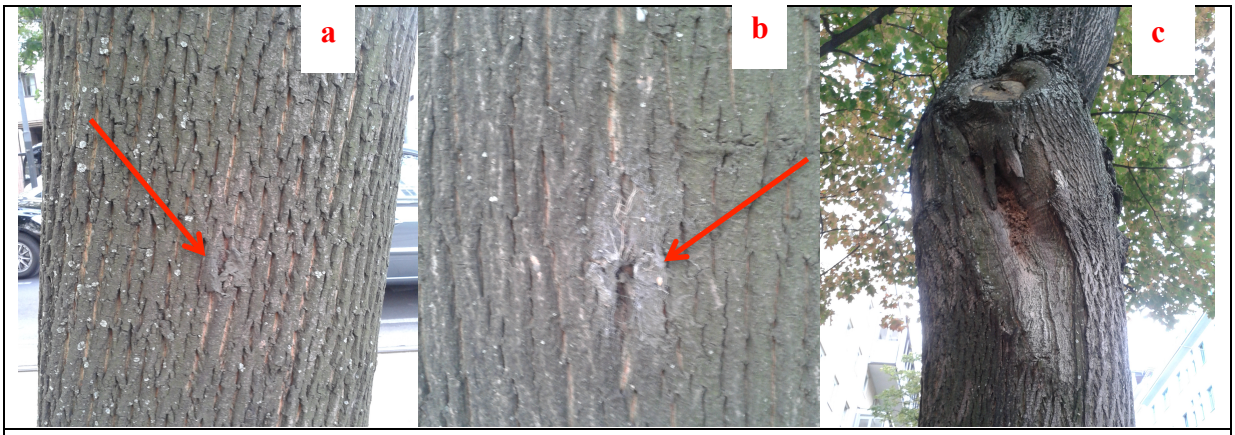


Abb. 16: Verheilte Bohrlöcher (Pfeile) der Holzkernprobennahme von 2005 (a, b); rechts (c) ein Baum der Oberzellergasse mit nistenden Ameisen im Stamm. (a) zeigt den Spitzahorn SR21, (b) den Spitzahorn SR25. In Bild (a) ist ein nur mehr durch das Vorhandensein des aufgebrachten Baumbalsams als Wundverschluss erkennbares Bohrloch fotografiert. In Bild (b) ist eine Vertiefung an der Stelle des Bohrloches zu sehen, die von einer Spinne als Wohnhöhle genutzt wird. Bei beiden Bäumen ist zu sehen, dass Borke als Abschlussgewebe an der Stelle der ehemaligen Bohrlöcher ausgebildet wurde, die Rinde also regenerieren konnte. Bild (c) zeigt den Spitzahorn OZ58 mit einem Ameisennest unterhalb eines im Rahmen der Baumpflege entfernten Hauptastes. Die Verletzung, die zur Nestbildung führte geht vermutlich nicht auf die Probenentnahme von 2005 zurück. Damals war das Nest im Baum noch nicht ersichtlich. Die Fotos sind im August 2013 entstanden.

Tab. 9: Baumzuwachs, Stammdurchmesser sowie Jahr der Pflanzung der in der Studie verwendeten Bäume. Die Bäume 2037 und 3037 wurden 2013 als Beispiele für Notaustrieb in die Arbeit aufgenommen, aber nicht weiter untersucht, ihre Benennung entstammt dem Wiener Baumkataster. VP71 bis VP73 sind Linden, die im Rahmen der Studie aufgrund von Zeitmangel als Untersuchungsobjekte fallengelassen wurden, jedoch für die Zuwachsmessung 2005 bis 2013 verwendet wurden. Die Bäume des VP sind nicht im Wiener Baumkataster aufgeführt. OZ Oberzellergasse; SR Schottenring; VP Votivpark. Alle Angaben in Centimetern (cm) (Albert 2007 erweitert).

Standort	Baum ID	Durch-messer 2005	Umfang 2005 berechnet	Umfang 2013 gemessen	Umfang 2013 Kataster	Gesetzt	Getauscht nach 2005
OZ	55	38,8	121.89		29	2008	ja
OZ	56	40,4	126.92	131	134	1961	n
OZ	57	19,7	61.89	85	82	1985	n
OZ	58	39,1	122.84	131	133	1962	n
OZ	59	37,2	116.87	120	124	1966	n
OZ	60	30,6	96,13	109	110	1972	n
SR	21	29,3	92,05	105	104	1975	n
SR	22	36,3	114,04	127	124	1966	n
SR	23	20,7	65,03	43	33	2007	ja
SR	24	33,1	103,99	114	112	1971	n
SR	25	14,6	45,87	56	56	1996	n
SR	26	23,6	74,14	94	89	1981	n
SR	27	29,6	92,99		36	2009	ja
SR	28	24,2	76,03		19	2013	ja
SR	29	18,8	59,06		24	2011	ja
SR	30	28	87,96		33	2009	ja
SR	31	19,4	60,95	77	75	1988	n
SR	32	22,9	71,94		24	2009	ja
SR	2037						ja
SR	3037				36	2009	ja
VP	71	34,4	108,07	121			n
VP	72	34,4	108,07	128			n
VP	73	34,4	108,07	123			n
VP	74	29,3	92,05	100			n
VP	75	22,9	71,94	79			n
VP	76	32,8	103,04	109			n
VP	77	38,5	120,95	138			n
VP	78	33,1	103,99	118			n
VP	79	36,3	114,04	132			n

Tab. 10: Getauschte Bäume nach 2005 OZ Oberzellergasse; SR Schottenring. Das Jahr des Neubesatzes ist dem Wiener Baumkataster entnommen.

Standort	Baum ID	Baum-kataster	Nekrosen (2005)	Standort	Niveau	Position	Jahr des Neubesatzes
SR	23	3031	4,5	Rasen	h	1	2007
SR	27	3037	29,6	Gitter	t	HS	2009
SR	28	3043	24,2	Gitter	t	HS	2013
SR	29	3048	18,8	Gitter	t	HS	2011
SR	30	3036	28,0	Rasen	h	1	2009
OZ	55	1003	56,1		h	3-oAusf	2008

Tab. 11: Dickenveränderung der untersuchten Bäume zwischen 2005 (Albert 2007) und 2013 und die Messabweichung der Umfangmessungen 2013 (gemessene Werte minus Kataster) von den Angaben aus dem Baumkataster. OZ Oberzellergasse; SR Schottenring. Alle Angaben in (cm). „d“ – Delta, „r“ Radius, „BaumID“, Benennung der Bäume in der Studie.

Standort	Baum ID	Baum-kataster - ID	Umfang (2013) gemessen	Umfang (2013) Kataster	Radius (2013) gemessen	Radius (2013) Kataster	d - Radius	Mess-abwei-chung
OZ	55	1003		29	-	5,64		
OZ	56	1004	131	134	25,48	26,06		-3
OZ	57	1006	85	82	16,53	15,95	0,58	3
OZ	58	1007	131	133	25,48	25,87		-2
OZ	59	1008	120	124	23,34	24,12		-4
OZ	60	1013	109	110	21,20	21,39		-1
SR	21	3034	105	104	20,42	20,23	0,19	1
SR	22	3032	127	124	24,70	24,12	0,58	3
SR	23	3031	43	33				
SR	24	3014	114	112	22,17	21,78	0,39	2
SR	25	3009	56	56	10,89	10,89	-	
SR	26	3001	94	89	18,28	17,31	0,97	5
SR	27	3037		36	-	7,00		
SR	28	3043		19	-	3,70		
SR	29	3048		24	-	4,67		
SR	30	3036		33	-	6,42		
SR	31	3068	77	75	14,98	14,59	0,39	2
SR	32	3079		24	-	4,67		

Tab. 12: Abschätzung der Belastung der Bäume aufgrund von Blattnekrosen (% abgestorbene Blattteile) und der d13C – Werte im Bohrkern als Zeiger für Wasserverfügbarkeit (Leavitt, 1993; Lambers et al. 1998). Werte aus der Probenaufarbeitung Albert (2005). Zuwachs 2005 – 2013 gibt auffällig geringe Werte mittels „!“, positive Werte durch „+“ an.
„!!“ < 6cm Zuwachs; „!“ 6 - 10 cm „+“ >19 cm Zuwachs. OZ Oberzellergasse; SR Schottenring; VP Votivpark.; BA Bergahorn; SA Spitzahorn.

Standort	Baum ID	Wiener Baumkataster	Zuwachs (cm) 2005 - 2013	Zuwachs 2005 - 2013	d13C 2005	Nekrosen 2005 (%)
OZ	55	1003			(28,67)	56,1
OZ	56	1004	4,08	!!	(27,81)	73,0
OZ	57	1006	23,11	+	(27,79)	70,3
OZ	58	1007	8,16	!	(27,68)	0,9
OZ	59	1008	3,13	!!	(28,21)	16,1
OZ	60	1013	12,87		(28,12)	3,9
SR	21	3034	12,95		(29,25)	59,3
SR	22	3032	12,96		(28,27)	19,0
SR	23	3031			(27,34)	4,5
SR	24	3014	10,01		(27,61)	4,4
SR	25	3009	10,13		(26,86)	16,6
SR	26	3001	19,86	+	(27,33)	35,6
SR	27	3037			(27,73)	79,8
SR	28	3043			(27,99)	38,8
SR	29	3048			(26,78)	41,4
SR	30	3036			(27,11)	42,2
SR	31	3068	16,05		(27,67)	16,0
SR	32	3079			(27,49)	52,0
VP	71		12,93		(27,72)	
VP	72		19,93	+	(27,23)	
VP	73		14,93		(29,45)	
VP	74		7,95	!	(27,63)	0,7
VP	75		7,06	!	(26,55)	0,5
VP	76		5.,96	!!	(28,19)	0,4
VP	77		17,05		(29,19)	0,5
VP	78		14,01		(26,95)	0,5
VP	79		17,96		(27,58)	0,4

3.2 Vergleich der Messmethoden und Qualitätskontrolle

3.2.1 Digitale Methode

Die Messungen der Bohrkerne von Bäumen aus der Oberzellergasse und dem Votivpark ergeben, dass ein Zusammenführen der Einzelproben zu Baummittelkurven nur in Ausnahmefällen möglich ist. Selbst wenn die drei Bohrkerne ein- und desselben Baumes betrachtet werden, liefert die Deckung der Messkurven der Einzelkerne für die untersuchten Wiener Ahorne kein vertrauenswürdiges Ergebnis (Abb. 17).

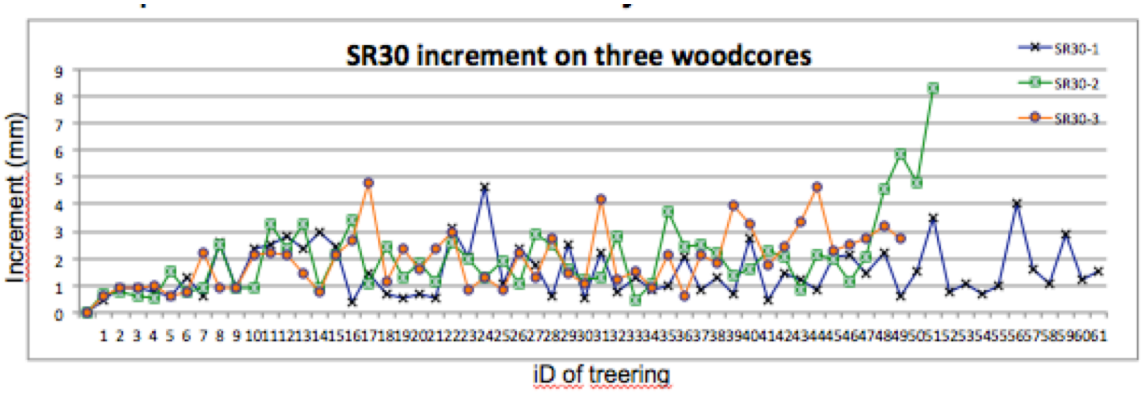


Abb. 17: Die Kurven der drei Kerne des Spitzahornes SR30, gewonnen mittels digitaler Messmethode. Der Versuch der Alignmenterstellung erfolgte unter Verwendung von Excel.

Darstellung der relativen Zuwachsänderungen der 3 Kerne von SP64

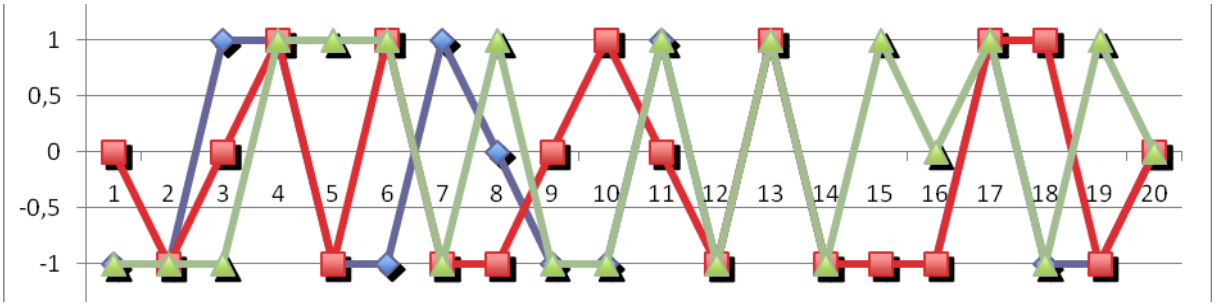


Abb. 18: Relativer Zuwachs des Baumes SP64 während der letzten 20 Jahre, dokumentiert an den drei Einzelkernen; 1 = letzter erkennbarer, an das Phloem angrenzender Jahresring; 20 = erster gemessener Jahresring; ausgehend von Jahrring 20 wurde jeweils nur der veränderte Zuwachs gegenüber dem Vorjahr aufgetragen: +1 = Zuwachs >0,05 mm, 0 = gleichbleibender Zuwachs von ±0,05 mm, -1 = Zuwachs <-0,05 mm; Man erkennt am nicht kongruenten Verlauf der drei Jahreskurven, dass entweder das Dickenwachstum des Stammes in den drei erfassten Raumrichtungen sehr ungleichmäßig verlaufen ist, oder dass die Zuordnung der Jahresringe zu konkreten Jahren aufgrund der in der Methode beschriebenen Schwierigkeiten nicht möglich war.

3.2.2 Vergleich der Arbeitsschritte 4-6: Qualitätskontrolle der Probenaufbereitung

Die Analyse im Rahmen der Qualitätskontrolle hat für alle Bäume nach wiederholter Aufarbeitung der Einzelkerne nicht reproduzierbare Ergebnisse produziert (Abb. 21). Die Zahl der gefundenen Jahrringe unterscheidet sich teilweise erheblich (Abb. 13). An vielen Stellen gibt es Abweichungen in der Interpretation möglicher Jahrringgrenzen (Abb. 20). Es kann allerdings keiner der methodischen Einzelschritte für diese Abweichungen verantwortlich gemacht und daher auch keine eindeutige Schwachstelle in der Serie dieser vielen Einzelschritte benannt werden. Die Ergebnisse variieren in ähnlicher Weise sowohl bei wiederholter Oberflächenaufbereitung als auch bei abermaligem Scan oder einer Wiederholung der Bildanalyse (Tab. 13).

BAUM	Baum	Kern	A1	A2	A3	Anm
SR28	28	1	28	23	24	Bild
	28	2	33	32	34	Bild
	28	3	24	26	31	Bild
SR29	29	1	25	27	26	Bild
	29	2	29	26	26	Bild
	29	3	30	27	26	Bild
SR30	30	1	61	49	48	Bild
	30	2	51	39	37	Bild
	30	3	49	49	51	Bild
SR24	24	1	50	47	34	Scan
	24	2	45	46	46	Scan
	24	3	34	36	52	Scan
SR25	25	1	29	38	32	Scan
	25	2	24	25	26	Scan
	25	3	34	39	35	Scan
SR26	26	1	26	24	20	Scan
	26	2	28	27	29	Scan
	26	3	29	27	30	Scan
SR21	21	1	29	29	29	Schliff
	21	2	38	35	36	Schliff
	21	3	32	33	32	Schliff
SR22	22	1	26	24	27	Schliff
	22	2	30	30	26	Schliff
	22	3	28	31	28	Schliff
SR23	23	1	40	38	43	Schliff
	23	2	38	47	43	Schliff
	23	3	41	41	41	Schliff

Tab. 13: Mehrfachmessungen (1, 2, 3) an ausgewählten Baumproben nach wiederholter Bearbeitung gemäß der beschriebenen digitalen Methode. Angeführt sind die gefundenen Jahrringe pro Kern (A1; A2; A3). „Anm“ zeigt die Position, ab welcher alle weiteren Schritte der Methode wiederholt wurden. (Bild: neuerliche Bildanalyse; Scan: neuerlicher Scan; Schliff: Oberflächenvorbereitung mit Schleifpapier).

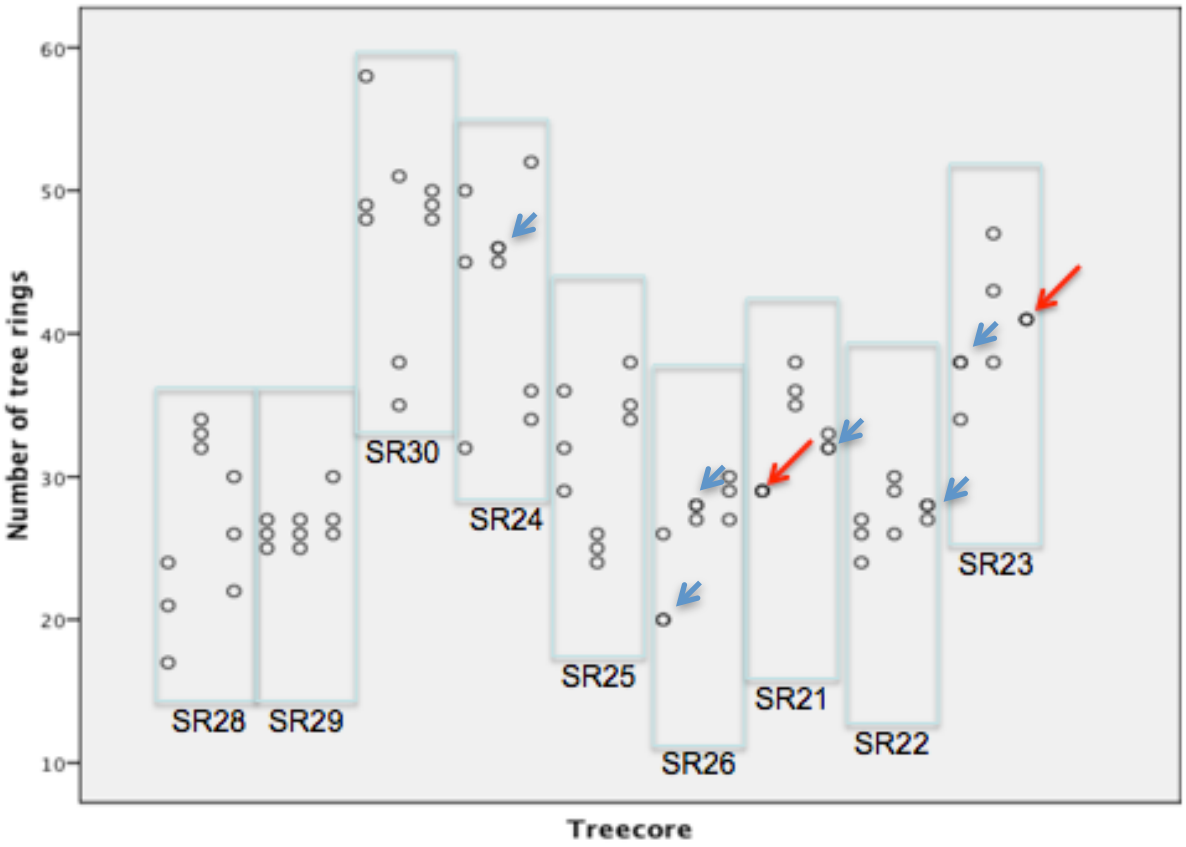


Abb. 19: Vergleichende Ergebnisse der Mehrfachmessungen im Rahmen des Qualitätsmanagements. Die drei Bohrkerne (jeder Kern in einer eigenen Spalte aufgetragen) pro Baum mit jeweils drei Messwiederholungen (Kreise) sind nebeneinander aufgetragen. In Umrandung sind die Messergebnisse der Kerne 1 – 3 eines Baumes dargestellt. Dickere Kreise markieren das Auffinden derselben Ringanzahl bei zwei (kurze Pfeile: SR24, SR26, SR22, SR23) bzw. allen drei (lange Pfeile: SR21, SR23) Messungen der Probe.

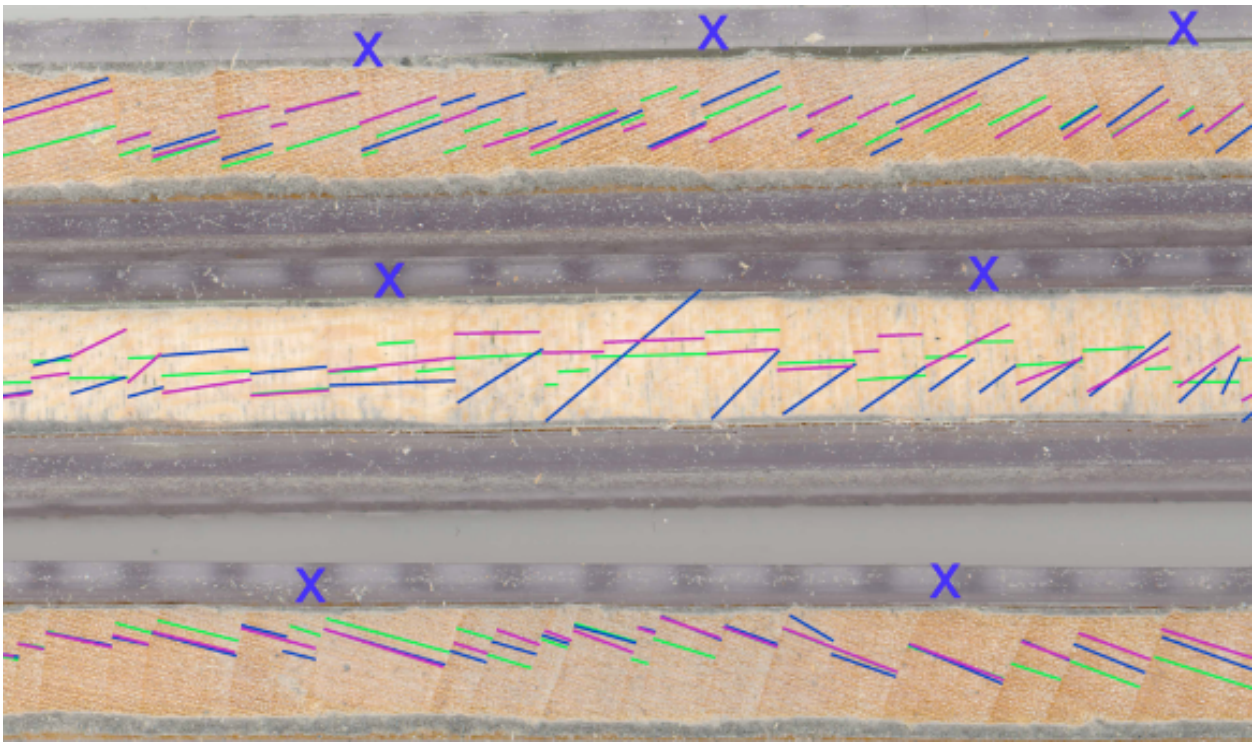


Abb. 20: Ausschnitt aus der wiederholten Messung der drei Bohrkerne des Spitzahornes SR30. Die 3 Messereignisse (A1 grün, A2 blau, A3 magenta) wurden zur Demonstration übereinander gelegt. (x) markiert jeden 10. gefundenen Jahrring der Analyse A1. Auffällig ist die unterschiedliche Interpretation der Jahrringgrenzen und mitunter auch der an den Holzstrahlen orientierten Messrichtung; die Abweichungen sind besonders deutlich im mittleren Kern bei A3 zu erkennen.

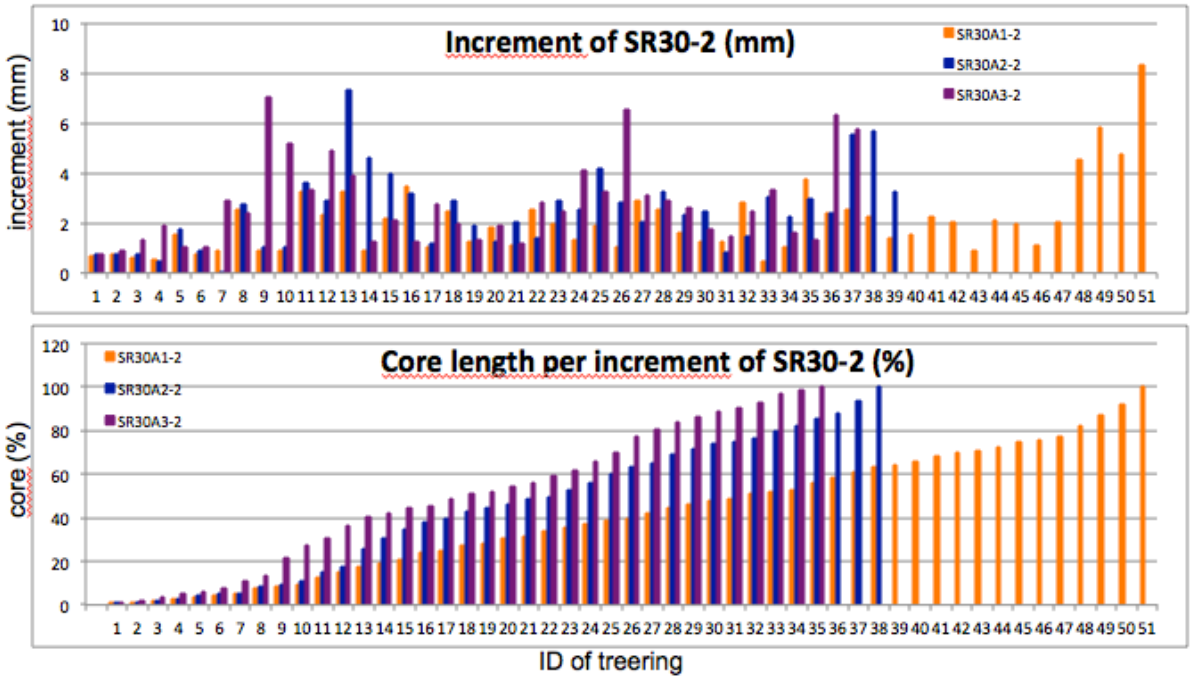


Abb. 21: Vergleich der Jahreszuwächse des Bohrkerns SR30-2 nach dreimaliger Durchführung (A1, A2, A3) der Analyseschritte (schleifen, scannen, vermessen).
Oben: absoluter Zuwachs pro Jahr; unten: additive Darstellungsweise.
Messpunkt 1 schließt an die Borke an. Die Messungen an den ersten 8 Messpunkten, dem jüngsten Teil des Bohrkernes, sind sehr ähnlich, danach bleibt das %Muster des Dickenwachstums zwar ähnlich, verteilt sich aber auf mehr Messpunkte (untere Grafik). Oben zeigt sich ein sehr unterschiedliches Bild des jeweils gemessenen Zuwachses (mm) zwischen zwei Stressringen (siehe Kap. 1.10). Es war nicht mit Sicherheit möglich, zwischen Artefakten, Stressringen und echten Jahresringen zu unterscheiden.

3.2.3 Mikroskopie - Methode (Messtisch), 1. Analyseversuch Tsap 3.6

Die Ergebnisse der Messungen an Bohrkernen von Bäumen in der Oberzellergasse und am Schottenring mit Messtisch und Messlupe ergaben ein deutlich schlechteres Bild für die Vergleichskerne der Einzelbäume als von Proben desselben Individuums zu erwarten war. Das Ergebnis war subjektiv geringfügig besser als das der digitalen Methode.

Die digitale Methode gab die Möglichkeit, Baummittelkurven für die Bäume der Oberzellergasse zu versuchen. Für die Oberzellergasse ist dies für alle Bäume mit Ausnahme von OZ59 gelungen. Für OZ55 wurde auf Kern 2 für die Baummittelkurve verzichtet. An Ringeinfügungen wurden 4 bei OZ55, 1 bei OZ56, 5 bei OZ57, 1 bei OZ58, 2 bei OZ60 vorgenommen. Beim verworfenen OZ59 waren 9 Veränderungen notwendig, um Kern 3 an Kern 1 anzunähern, während eine auch nur grobe Annäherung von Kern 2 trotz dieser großen Veränderungen nicht möglich war. Mit

diesen Anpassungen konnten Gleichläufigkeiten in den Baummittelkurven zwischen 74% und 91% erreicht werden. OZ56, OZ57, OZ58 und OZ60 erreichen hoch signifikante Gleichläufigkeiten nach Eckstein (1969). Allerdings ist die optische Passung von OZ57 zu den anderen Kurven schlecht, der Baum OZ55 ist optisch bereits im Alignment für die Baummittelkurve problematisch, wird aber weitergeführt. Der Versuch einer Kollektivmittelkurve auf dieser Basis erreicht für die Oberzellergasse Gleichläufigkeiten von 67% bis 87% (Tab. 14). Diese Gleichläufigkeitswerte sichern die Kollektivmittelkurve für die Oberzellergasse unter Berücksichtigung von Eckstein (1969) allerdings nicht ab.

Tab. 14: Ergebnis für die Bildung einer Kollektivmittelkurve für die Bäume der Oberzellergasse bearbeitet mit der Mikroskopie - Methode und deren Aufarbeitung mit Tsap 3.6.

Baum	Alignment (Jahre)	Holzkante	Glk. (%)	Glk. Signifikant (%)
OZAc55	49	65	73	> 71,8
OZAc56	44	65	87 ***	< 74,4
OZAc57	65	64	67	> 68,5
OZAc58	62	65	74 ***	< 69,9
OZAc60	53	65	68	> 68,5

Die Gleichläufigkeit (Glk.) der Einzelkurven bezieht sich auf die Passung aller 5 Baummittelkurven zueinander. Die Holzkante gibt den Datenpunkt an, der den jüngsten Wert der Baummittelkurven beschreibt. Für den Baum OZ57 ist dieser Wert möglicherweise aufgrund des Fehlens des ersten Ringes verschoben. Der Wert des Alignments gibt die Zahl der gemeinsamen Messpunkte der 5 Bäume, an die für die Gleichläufigkeitsberechnung durch Tsap 3.6 herangezogen werden. Die Bäume sind benannt nach dem Standort Oberzellergasse (OZ), ihrer Artzugehörigkeit (Ac für *Acer* sp.) und der internen die Baumnummer der Studie. Die Glk. Signifikanz ist der Skala nach Eckstein (1969) für die gegebene Alignmentlänge entnommen.

3.2.4 Gleichläufigkeitsberechnungen mittels R (Pennings 2010)

Die aus den Rohdaten errechneten Gleichläufigkeiten werden durch das R-Skript mittels Einfügen von Jahren mit dem Zuwachswert „0,1“ verbessert. Die Ergänzungen erfolgen im Rahmen des Anpassungsalgorithmus, der versucht, mit möglichst wenigen Änderungen optimierte Gleichläufigkeitswerte, also Kurvenähnlichkeiten zu erzielen (Abb. 12). Es kann in den Ergebnissen nicht bestätigt werden, dass eine der zwei Analysemethoden vertrauenswürdigere Werte liefert. Dazu wären bei den Alignmentlängen Gleichläufigkeiten von über 70% notwendig (Tab. 15).

Tab. 15: Die Bäume des Votivparks, vermessen mittels Mikroskopie - Methode. Score-Roh gibt die Gleichläufigkeit der Einzelkurven unbearbeitet an, Score-aligned gibt die Werte für die Gleichläufigkeit nach der automatisierten Zusammenfassung der Einzelkurven zur Baummittelkurve an. Die Überlappung gibt die Alignmentlänge der Baummittelkurve an. Eckstein 1969 verlangt für 0,1% Fehlerwahrscheinlichkeit höhere Gleichläufigkeitswerte als hier erreicht wurden (Berechnung R-Skript Pennings 2010).

Baum	Glk. Roh (%)	Glk. Alignment (%)	Alignment (Jahre), Schätzung
VP 74	29	34	70
VP 75	31	48	> 50
VP 76	18	58	40
VP 77	24	56	50
VP 78	18	52	> 50
VP 79	23	29	> 70

3.2.5 Vergleich digitale und mikroskopische Analyse - Qualitätskontrolle, Arbeitsschritt 8: Gleichläufigkeitsberechnungen mittels R (Pennings 2010)

Sowohl die digitale Methode des Einscannens als auch die messtischgestützte mikroskopische Analyse bringen ähnliche Ergebnisse (Tab.16). Im Vergleich der Mittelwerte der Gleichläufigkeiten liegt die berechnete Gleichläufigkeit zwischen 48,25% für die mikroskopische Analyse bei den Bäumen des Schottenrings und 59,33% für die digitale Methode bei den Bäumen der Oberzellergasse. Das Mittel der in Deckung gebrachten Jahre ist nach der Berechnung für die Standorte SR und VP nahezu ident, nur beim Standort OZ kommt die Scanneranalyse auf 46,67 Jahre, die Messtischanalyse dagegen auf 57.33 Jahre (Tab. 17), was einer deutlich unterschiedlichen durchschnittlichen Probenkurvenlänge entspricht.

3.2.6 Dendrochronologische Analyse der beprobten Bäume

Der Vergleich der aus den verschiedenen Analysenmethoden (digitale Methode und mikroskopische Methode, aufgearbeitet mit R bzw. mit Tsap Win) gewonnenen mittleren Gleichläufigkeiten ergibt Werte von 66,53% für die Mikroskopie - Methode unterstützt von Tsap Win (Tab. 18). Die mittleren Werte der durch Vermessung erhaltenen Daten geben mit dem R-Skript 49,47% für die Mikroskopie - Methode und 56,03% Gleichläufigkeit für die digitale Methode (Tab. 18).

Nachdem die Mikroskopie - Methode als die vertrauenswürdigere festgestellt wurde, wurde noch einmal versucht, die Proben dendrochronologisch zu analysieren. Aufgrund der schlechten Passung der Einzelkurven der drei Kerne bestimmter Individuen musste auf deren weitere Bearbeitung verzichtet werden. Trotz der schwierigen Ausgangslage hinsichtlich der gewonnenen Messergebnisse wurde versucht, auf Basis der erhaltenen Einzelkurven Baummittelkurven für Bäume und Kollektivmittelkurven für Baumgruppen zu erstellen.

Eine Vorauswahl von analysewürdigen Bäumen hinsichtlich der Oberflächenstruktur der Holzkerne führte zum Verwerfen von 8 Bäumen des Schottenringes (SR22, SR23, SR24, SR25, SR26, SR28, SR29, SR30) und aller Bäume des Votivparkes (Tab. 4). Die Oberzellergasse wurde als Ganzes in die Analyse aufgenommen; vom Schottenring wurden SR21, SR27, SR31 und SR32 in der Analyse weitergeführt.

Die Bäume des Schottenrings mussten als Grundlage zur Bildung von Kollektivmittelkurven ausgeschieden werden. Für die Bäume SR27 und SR31 konnten nur die Kerne 2 und 3 für Mittelkurven herangezogen werden. In einer weiteren Analyse mit Tsap Win wurde noch einmal an die Bäume des Schottenringes herangegangen, Ergebnisse dazu finden sich in Tabelle 16 und Tabelle 20.

Eine entsprechende Nachbearbeitung der Kurven (im Rahmen der Analyse der Messkurven) hinsichtlich möglicher Angleichungen durch das Einfügen oder Löschen von Messpunkten, beschrieben unter Kap. 2.5.3 (Das Aneinanderfügen der Einzelkurven zu Baummittelkurven) ermöglichte es, einige Baummittelkurven mit Gleichläufigkeiten von 70 bis 80% zu bilden (Tab. 22).

Bei zwei im Aufnahmejahr aufgrund fehlender Blattnekrosen als ungeschädigt eingestuften Bäumen, OZ58 und OZ60, konnte mit einer Gleichläufigkeit von 61% bei einer Überlappung der Mittelkurven von 52 Jahren ein Alignment gefunden werden. (Für ein Alignment von 50 Jahren wäre eine Gleichläufigkeit von 71% für die Fehlerwahrscheinlichkeit 0,1% erforderlich, siehe dazu Abb. 11).

Auch ein allgemeines Alignment aus den Baummittelkurven der Oberzellergasse mit Gleichläufigkeiten zwischen 68% und 87% war möglich und für die Bäume OZ 56 und OZ 58 hoch signifikant (Tab. 14). Der Baum OZ59 wurde nach der Analyse für die Erstellung der Mittelkurve verworfen, da seine Teilproben kein Alignment ermöglichten.

3.2.7 Mikroskopische Analyse

Bei der Analyse der Messreihen mit Tsap Win unterstützten die Funktionen von Math Graph die Analyse entscheidend (2.6.2). In dieser Aufarbeitung wurden für die Daten der mikroskopischen Analyse abschnittsweise vertrauenswürdige Alignments unter den drei Messreihen der Proben eines Baumes erreicht. Dies ergibt sich aus der subjektiv-optischen Einschätzung der Kurven. Die Gleichläufigkeiten sind - durch die Einschätzung der Fehlerwahrscheinlichkeit nach Eckstein (1969) – zusammen mit ihrer Vertrauenswürdigkeit angegeben. Die Vertrauenswürdigkeit wird in drei Niveaus mit Sicherheiten von 99,9% (***) 99% (**) und 95% (*) angegeben.

Bei VP 75, VP77, VP78, VP79 war es nicht möglich eine sinnvolle Mittelkurve zu bilden (Tab. 20, Tab. 21). Eine erweiterte Bearbeitung von VP78 brachte eine deutlich verbesserte Übereinstimmung, erkennbar an höheren und annähernd vergleichbaren Gleichläufigkeitswerten. Trotzdem konnte keine sinnvolle Mittelkurve etabliert werden.

Sample	unbearbeitet	bearbeitet
VP78 – 1-2	46	69 **
VP78 – 2-3	46	66 *
VP78 – 1-3	66 *	73 ***

Wie in Tabelle 22 zu sehen, sind die erzielten Gleichläufigkeitswerte für ein Individuum - wie im Detail in den Tabellen 20 (Spitzahorn) und 21 (Bergahorn) erkennbar - und ihre Passungen zur Mittelkurve des Einzelbaumes ungenügend um damit weiterzuarbeiten. Tabelle 22 listet zudem 4 Bäume auf, die aufgrund von zuwenig analysierbaren Bohrkerne keine Baummittelkurven auf Basis von 3 Einzelkurven ermöglichen.

3.2.8 Vergleich der Bearbeitung der Datensätze aus der mikroskopischen Analyse mit Tsap 3.6 und Tsap Win

Für den Vergleich wurde mit Tsap 3.6. eine Kollektivmittelkurve für die Oberzellergasse aus den Baummittelkurven der Bäume OZ55, OZ57, OZ58, OZ60 gewonnen (Abb. 22). Obwohl die optische Kontrolle keine eindeutige Sicherheit über das erreichte Alignment zulässt, wurde versucht, Zeigerjahre anzusprechen:

„negativer“ Zuwachs: 1950, (1954), 1961, (1965), (1976), (1980), 1983, (1987), 1996, 2001/02;

stark „positiver“ Zuwachs: 1952, 1962, 1972, 1978, (1988 – 1994), 1995, 2003.

Zur Erläuterung der „negativen“ und „positiven“ Zuwächse vgl. Tab. 19 und Tab. 23: Negativer

Zuwachs definiert einen verglichen zum Vorjahr rückläufiger Zuwachs, positiver Zuwachs beschreibt einen stärkeren Zuwachs im Vergleich zum Vorjahr (Abb. 18).

Auch mit Tsap Win wurde eine Kollektivmittelkurve für die Oberzellergasse erstellt. Die Basis dieser Kurve besteht aus den Baummittelkurven (Chronokurven) der Bäume OZ56, OZ57, OZ58, OZ59, OZ60 nach der neuerlichen Bearbeitung der Daten mit Tsap Win (Abb. 23).

Auch dieses Mal lässt die optische Kontrolle keine eindeutige Sicherheit über das erreichte Alignment zu. Die „Zeigerjahre“ mit auffälligen Zuwachsänderungen weichen etwas von denen ab, die mit der Tsap 3.6 Analyse gefunden wurden (Abb. 22):

„negativer“ Zuwachs: 1957, 1980 1993, 1998, 2002;

„ positiver“ Zuwachs: (1962, 1964), (1973, 1975) 1970 – 78, 1986 – 95, 1988, (2000).

Es zeigen sich optisch in Abb. 23 Unterschiede zu der in Abb. 22 dargestellten Analyse. Deutlich fällt das übersichtlichere Bild beim Vergleich der Baummittelkurven (gelb) auf.

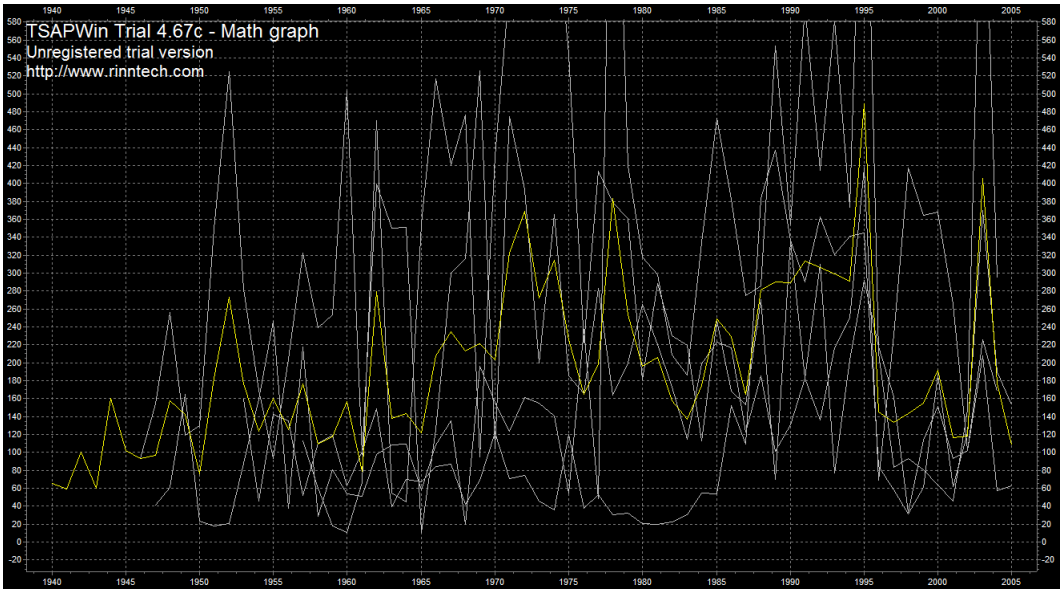


Abb. 22.: Versuch einer Standortschronologie für die Bäume der Oberzellergasse auf Basis der Daten der Messtischanalyse, angepasst mit Tsap 3.6. Die Grafik wurde mit Tsap Win erstellt. Die x-Achse beschreibt die Zeitlinie nach Jahren, die y-Achse den Zuwachs in einer 0,01mm Skala (Die y-Achse ist in Mikrometer gehalten. „10“ = 0,01 mm). Rechts befindet sich die Holzkante mit den jüngsten vermessenen Jahresringen.
Baummittelkurven der Bäume OZ55, OZ57, OZ58, OZ60 grau; Kollektivmittelkurve gelb.

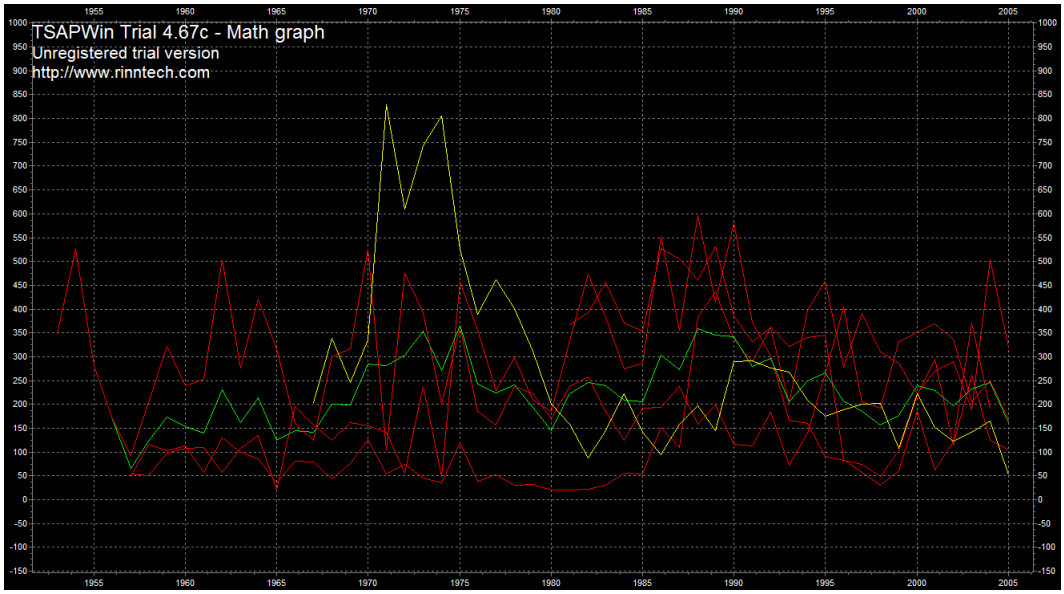


Abb. 23: Standortschronologie für die Bäume der Oberzellergasse auf Basis der Daten der Messtischanalyse. Ausgehend von den Rohdaten wurden die hier endgültig verwendeten Daten ein weiteres Mal mit Tsap Win – Math graph bereinigt. Die x-Achse beschreibt die Zeitlinie nach Jahren, die y-Achse den Zuwachs in einer 0,01mm Skala (Die y-Achse ist in Mikrometer gehalten „10“ = 0,01 mm). Rechts befindet sich die Holzkante mit den jüngsten vermessenen Jahresringen.
Kollektivmittelkurve = grün, Baummittelkurven von OZ56 = gelb, OZ57, OZ58, OZ59, OZ60 = rot.

Tab. 16: Gleichläufigkeitswerte und wahrscheinliches Alter der Bäume auf Basis der digitalen und der Mikroskopie - Methode unter Verwendung des R-Skriptes. Angeführt sind Werte der Rohdaten (Glk. Rohdaten) und der automatisiert aneinander angepassten Daten (Glk. berechnet) der Einzelkurven eines Baumes mittels Einfügung von 0-Zuwachsjahren. Die Gleichläufigkeiten (Glk.) für die ursprünglichen und angepassten Alignments werden angeben.

Probe	Glk. Rohdaten	Anzahl Jahre	Glk. berechnet	Anzahl Jahre	Baumart
SR24-scan	42	51	59	53	Bergahorn
SR24-mess	34	52	44	58	
SR25-scan	24	34	56	36	Bergahorn
SR25-mess	27	35	50	36	
SR21-scan	38	39	52	41	Spitzahorn
SR21-mess	28	39	53	41	
SR27-scan	21	36	37	40	Spitzahorn
SR27-mess	26	35	46	36	
OZ55-scan	69	41	67	42	Spitzahorn
OZ55-mess	27	49	49	53	
OZ58-scan	32	49	61	49	Spitzahorn

OZ58-mess	46	62	52	67	
OZ59-scan	43	47	50	49	Spitzahorn
OZ59-mess	35	51	45	52	
VP75-scan	29	46	55	49	Bergahorn
VP75-mess	31	51	48	52	
VP76-scan	53	35	66	36	Bergahorn
VP76-mess	19	39	53	41	
VP77-scan	21	55	57	60	Spitzahorn
VP77-mess	22	49	58	53	
VP78-scan	17	53	53	54	Spitzahorn
VP78-mess	30	52	47	53	

Tab. 17: Gleichläufigkeitswerte und Baumalter der Bäume aus Tab. 16 nach der digitalen- und Mikroskopie - Analyse. Die Rohdaten, Berechnung und alle Anpassungen wurden mittels R-Skript ermittelt. Jahresangaben sind kaufmännisch gerundet.

Mittelwerte	Glk. Rohdaten (%)	Anzahl Jahre	Glk. Berechnet (%)	Anzahl Jahre
SR-scan	31,25	40	51,00	43
SR-mess	28,75	40	48,25	43
OZ-scan	48,00	46	59,33	47
OZ-mess	36,00	54	48,67	57
VP-scan	30,00	47	57,75	50
VP-mess	25,50	48	51,50	50

Tab. 18: Vergleich der Mittelwerte der Gleichläufigkeitsberechnung für Spitzahorne auf Basis der digitalen Methode und der Mikroskopie – Methode. Der Vergleich erfolgt automatisiert mit R-Skript (R) und manuell unter Verwendung von Tsap Win (Tsap). Die Mittelwertberechnung gesamt für Tsap Win gibt hierfür einen Mittelwert für die Spitz- und Bergahornbäume an. In der Berechnung sind die Bäume von Oberzellergasse, Schottenring und Votivpark beinhaltet.

Bildanalyse	Mittelwert
digital (R) Spitzahorn	56,03
Mikroskop (R) Spitzahorn	49,47
Mikroskop (Tsap) Spitzahorn	64,29
Mikroskop (Tsap) Bergahorn	68,77
Mikroskop (Tsap) gesamt	66,53

Der Vergleich der erhaltenen Mittelkurven (Tab. 19, Tab. 22) ermöglicht eine exakte zeitliche Zuordnung von Jahresringen mit besonderem Zuwachsverhalten. Unter vergleichender Zuhilfenahme einer Ernstbrunner Rotbuche, einer Eiche aus dem Lainzer Tiergarten und einer Perchtoldsdorfer Kiefer als Referenzbäume (Grabner 2009) konnten die Jahre 2001, 1986, 1981 und 1977 für alle im Rahmen der vorliegender Arbeit an den Wiener Standorten analysierten Bäume gefunden werden. Diese Jahre wurden aufgrund ihrer guten Auffindbarkeit als Zeigerjahre für Wien definiert. Es zeigte sich also, dass die Referenzbäume trotz der gänzlich anderen Standortsbedingungen weit abseits des Wiener Zentrums bzw. trotz ihrer anderen Artzugehörigkeit und der damit verbundenen Zuwachscharakteristika zumindest innerhalb dieser Zeitspanne grundsätzlich kein von den Ahornen abweichendes Wuchsverhalten aufweisen.

Tab. 19: Zeigerjahre der Wiener Bäume, erkennbar durch einheitliches auffälliges Wuchsverhalten mehrerer Wiener Ahornbäume in spezifischen Jahren auf Basis der Bearbeitung mit Tsap Win und der Bearbeitung mit R (OZ: Oberzellergasse, VP: Votivpark, SR: Schottenring) im Vergleich zu Wetterwerten für Wien (Wetterstation Hohe Warte) und den Wetterdaten von Čejková und Kolář (2009) für tschechischen Nadelwald und Neuwirth (2005) mit seiner Analyse mehrerer Datensätze für Mitteleuropa (5° bis 15° E / 42.5° bis 52,5° N). Die Spalte „Gefunden in“ gibt an, welche Bearbeitung, Tsap Win, R (Tsap 3.6) zur Auffindung des entsprechenden Jahresringes geführt hat, bzw. ob die dendrochronologischen Daten der Vergleichsbäume (Grabner 2009) für den Großraum Wien ebenfalls diese Zeigerjahre aufweisen. Mit Ausnahme der Jahre 1986 und 1984 finden sich alle Jahre sowohl bei Grabner als auch in der hier vorliegenden Studie.

Zeigerwert	Straße	Wien - Wetter	Mitteleuropa	Gefunden in
2001	OZ; VP; SR	x		Tsap; Grabner
1995	OZ; VP;	x		R; Grabner
1992	SR		x(Čejková und Kolář 2009)	Tsap: R; Grabner
1986	OZ; VP; SR			R
1984				Grabner
1981	OZ; VP; SR	x		Tsap; Grabner
1977	OZ; VP; SR			Tsap: R; Grabner
1972	OZ; VP			Tsap; Grabner
1961				Grabner
1954-56	VP; SR		x (Neuwirth 2005)	Grabner

Tab. 20: Gleichläufigkeitswerte für die untersuchten Spitzahorne auf Grundlage der mikroskopischen Analyse. Die Anpassung der Kurven erfolgte manuell in Tsap Win. Bei SR29, SR30 und SR31 konnten nur zwei Kerne für das Alignment herangezogen werden. Die schlechte Passung der Einzelkerne eines Individuums zueinander lässt auch die meist signifikanten Baummittelkurven unsicher erscheinen. (chrono) beschreibt eine Baummittelkurve, (mean) eine Mittelkurve aus den 2 angegebenen Kernen eines Baumes. 99,9% (***), 99% (**) und 95% (*) Vertrauenswürdigkeit nach Eckstein (1969).

OZ56-1-2		58	1 zu chrono (core)	66	*
OZ56-1-3		60	2 zu chrono (core)	87	***
OZ56-2-3		55	3 zu chrono (core)	63	
OZ59-1-2	*	71	1 zu chrono (core)	92	***
OZ59-1-3	*	68	2 zu chrono (core)	71	*
OZ59-2-3		50	3 zu chrono (core)	79	**
OZ57-1-2	*	63	1 zu chrono (core)	85	***
OZ57-1-3	*	63	2 zu chrono (core)	79	***
OZ57-2-3	*	63	3 zu chrono (core)	77	***
OZ58-1-2	***	72	1 zu chrono (core)	79	***
OZ58-1-3	*	65	2 zu chrono (core)	77	***
OZ58-2-3		58	3 zu chrono (core)	81	***
OZ60-1-2	**	68	1 zu chrono (core)	81	***
OZ60-1-3	**	68	2 zu chrono (core)	78	***
OZ60-2-3		58	3 zu chrono (core)	83	***
SR21-1-2	**	75	1 zu mean (1-2)	92	***
SR21-1-3		63	2 zu mean (1-2)	89	***
SR21-2-3	**	71	3 zu mean (1-2)	66	*
SR27-1-2	*	70	1 zu chrono (core)	70	*
SR27-1-3		65	2 zu chrono (core)	83	***
SR27-2-3		59	3 zu chrono (core)	78	**
SR29 -1-2	**	79	1 zu chrono (core)	96	***
			2 zu chrono (core)	83	***
SR30-1-3	**	71	1 zu chrono (core)	87	***
			2 zu chrono (core)	84	***
SR31-2-3	*	72	2 zu chrono (core)	87	***
			3 zu chrono (core)	85	***
SR32-1-2		49	1 zu chrono (core)	74	***
SR32-1-3		51	2 zu chrono (core)	74	***
SR32-2-3	*	66	3 zu chrono (core)	77	***
VP78-1-2	*	71	1 zu chrono (core)	-	
VP78-1-3	*	68	2 zu chrono (core)	-	
VP78-2-3		50	3 zu chrono (core)	-	
VP79-1-2		55	1 zu chrono (core)	-	
VP79-1-3	**	64	2 zu chrono (core)	-	
VP79-2-3		-	3 zu chrono (core)	-	

VP77-1-2		60	1 zu chrono (core)	-
VP77-1-3	*	64	2 zu chrono (core)	-
VP77-2-3	***	87	3 zu chrono (core)	-
Mittelwert		64		

Tab. 21: Gleichläufigkeitswerte der mikroskopischen Analyse für einige ausgewählte Bergahorne. Die Anpassung der Kurven erfolgte manuell mittels Tsap Win. (chrono) beschreibt eine Baummittelkurve, mean eine Mittelkurve aus den 2 angegebenen Kernen eines Baumes. 99,9% (***), 99% (**) und 95% (*) Vertrauenswürdigkeit nach Eckstein (1969).

SR24-1-2	**	71	1 zu chrono (core)	85	***
SR24-1-3	**	73	2 zu chrono (core)	85	***
SR24-2-3		55	3 zu chrono (core)	70	*
SR25-1-2	*	70	1 zu chrono (core)	87	***
SR25-1-3	***	80	2 zu chrono (core)	83	***
SR25-2-3	***	81	3 zu chrono (core)	85	***
SR23-1-2		58	1 zu mean (1-3)	88	***
SR23-1-3	**	72	2 zu mean (1-2)	54	
SR23-2-3		49	3 zu mean (1-2)	84	***
VP75-1-2	*	71			
VP75-1-3	**	68			
VP75-2-3	**	71			
VP76 -1-2	**	75	2 zu mean	86	***
Mittelwert		69			

Tab. 22: Mittlere Passung der Baumproben als Gleichläufigkeitswert zueinander und zur individuellen Baumchronologie. „Einzelproben eines Baumes“ gibt die durchschnittliche Passung der drei Holzkerne eines Baumes zueinander an. „Passung Baummittelkurve“: Mittelwert der Gleichläufigkeit der Einzelkurven aus den drei Proben eines Baumes und zur Baummittelkurve. Alle Alignments wurden aus der Bearbeitung mit Tsap Win gewonnen.

Spitzahorn	**Einzelproben eines Baumes**	**Passung Baummittelkuve**
OZ56	58	72
OZ57	63	80
OZ58	65	79
OZ59	63	81
OZ60	65	81
SR21	70	82
SR27	65	77
SR29 zuwenig Proben	NA	90
SR30 zuwenig Proben	NA	86
SR31 zuwenig Proben	NA	86
SR32	55	75

VP78 kaum Übereinstimmung	60	NA
VP79	60	NA
VP77	70	NA
Bergahorn	**Einzelproben eines Baumes**	**Passung Baummittelkuve**
SR 24	66	80
SR 25	77	85
SR 23	60	NA
VP 75 kaum Übereinstimmung	70	NA
VP 76 zuwenig Proben	69	NA

Tab. 23: Vergleich gefundener Minimalwerte an Jahreszuwachs bei den Baummittelkurven aus den Bearbeitungen der Daten der Mikroskopie - Methode mit Tsap Win, R (Tsap 3.6) und der Minimalwerte aus 3 Bäumen der Region, einer Kiefer aus Perchtoldsdorf, einer Rotbuche aus Ernstbrunn und Eiche aus dem Lainzer Tiergarten (Grabner 2009). Die Wetterdaten betreffen die Wetterstation an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte, Wien (ZAMG). Mittels Kästen zusammengefasst sind mögliche gemeinsame Ereignisse in angrenzenden Jahren.

Minimatabelle

Tsap Win	**OZ**	**VP**	**SR**	**R**	**OZ**	**VP**	**SR**	**Vergleichsbäume, Temperatur, Feuchte**		
2005				1		1		2005		
2004				2				2004		
2003				3				2003		
2002	1	1		4				2002		
2001			1	5			1	2001	lang kalt	trocken
2000				6				2000		
1999				7				1999		
1998	1			8				1998		
1997				9	1			1997		
1996				10		1		1996	sehr kalt	feucht
1995				11				1995	lang kalt	trocken
1994				12				1994		
1993				13				1993		
1992				14				1992		
1991			1	15	1		1	1991		
1990				16				1990		
1989	1			17				1989		
1988				18				1988		
1987				19	1			1987		
1986				20		1	1	1986		
1985		1		21				1985		
1984				22				1984		
1983				23				1983		
1982			1	24				1982	kalt	
1981	1	1		25				1981	kalt	trocken
1980				26				1980	kalt	

Tsap Win	OZ	VP	SR	R	OZ	VP	SR	Vergleichsbäume, Temperatur, Feuchte
1979				27				1979
1978				28	1			1978
1977	1		1	29				1977
1976				30		1	1	*1976*
1975				31				1975
1974				32				1974
1973				33				1973
1972		1		34				1972
1971	1			35				1971
1970				36				1970
1969			1	37				1969
1968				38				1968
1967				39				1967
1966	1			40				1966
1965				41				1965
1964				42				1964
1963				43				1963
1962				44				1962
1961				45				1961
1960				46				1960
1959				47				1959
1958				48				1958
1957				49				1957
1956				50				1956
1955			1	51				1955
1954		1		52				1954
1953				54				1953
1952				55				1952
1951				56				1951
1950				57				1950
1949				58				1949
1948				59	1			1948
1947				60	1			1947
1946				61				1946
1945				62				1945
1944				63				1944
1943				64				1943
								1942

3.3 Färbungen

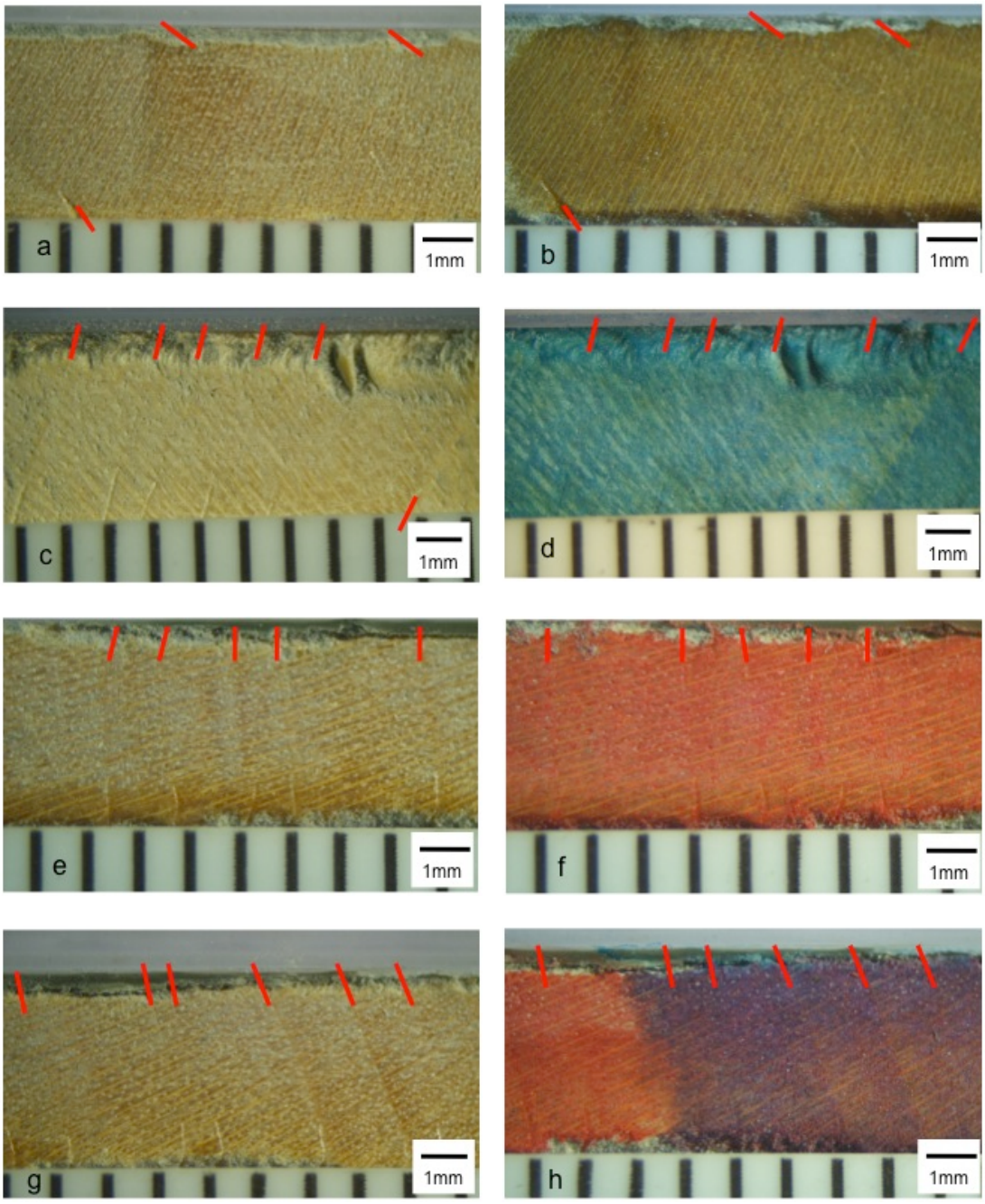
Die Vorexperimente zu den Färbungen mit Coca Cola, Kaffee, Safranin, Gentianaviolett, Astrablau und Safranin-Astrablau an Bäumen des Wiener Schottenringes (Tab. 24) ergaben keine sichtbaren Verbesserungen (Abb. 24) der Auswertbarkeit. Die Färbungen hatten eher den Charakter von Beize.

Im Falle von Gentianaviolott, Safranin und Safranin-Astrablau war sogar eine Verschlechterung des Kontrastes vor allem bei Anwendung sehr hoher Konzentrationen der Farbstoffe zu verzeichnen.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde auf eine weitere Fortführung der Versuche verzichtet.

Tab. 24: Die für der Färbeexperimente ausgewählten Bäume; verwendet wurde jeweils der Holzkern 1. SA = Spitzahorn, BA = Bergahorn; der durch Scannen ermittelte prozentuelle Anteil der Blätter an nekrotischem Gewebe (meist Randnekrosen) ist angegeben, ebenso der Salzgehalt der Blätter (mval/kg im lebenden Blatt), sowie das Cl^-:Na^+-Verhältnis (Albert 2007); die Qualität der geschliffenen Oberfläche der Holzkerne bezüglich der Jahrringerkennbarkeit ist angegeben, und auf die entsprechenden bildlichen Darstellungen in Abb. 24 ist hingewiesen.

Baum	Art	Nekr.	Cl^-+Na^+	Cl^-/Na^+	Oberfläche	Bild in Abb. 24
SR28	SA	38,8%	43,09	0,30	schlecht	l, m
SR29	BA	41,4%	32,15	0,10	besser	c, d, n, o
SR30	SA	42,2%	9,88	0,46	gut	a, b, e, f, g, h, i, k


a
1mm
b
1mm
c
1mm
d
1mm
e
1mm
f
1mm
g
1mm
h
1mm

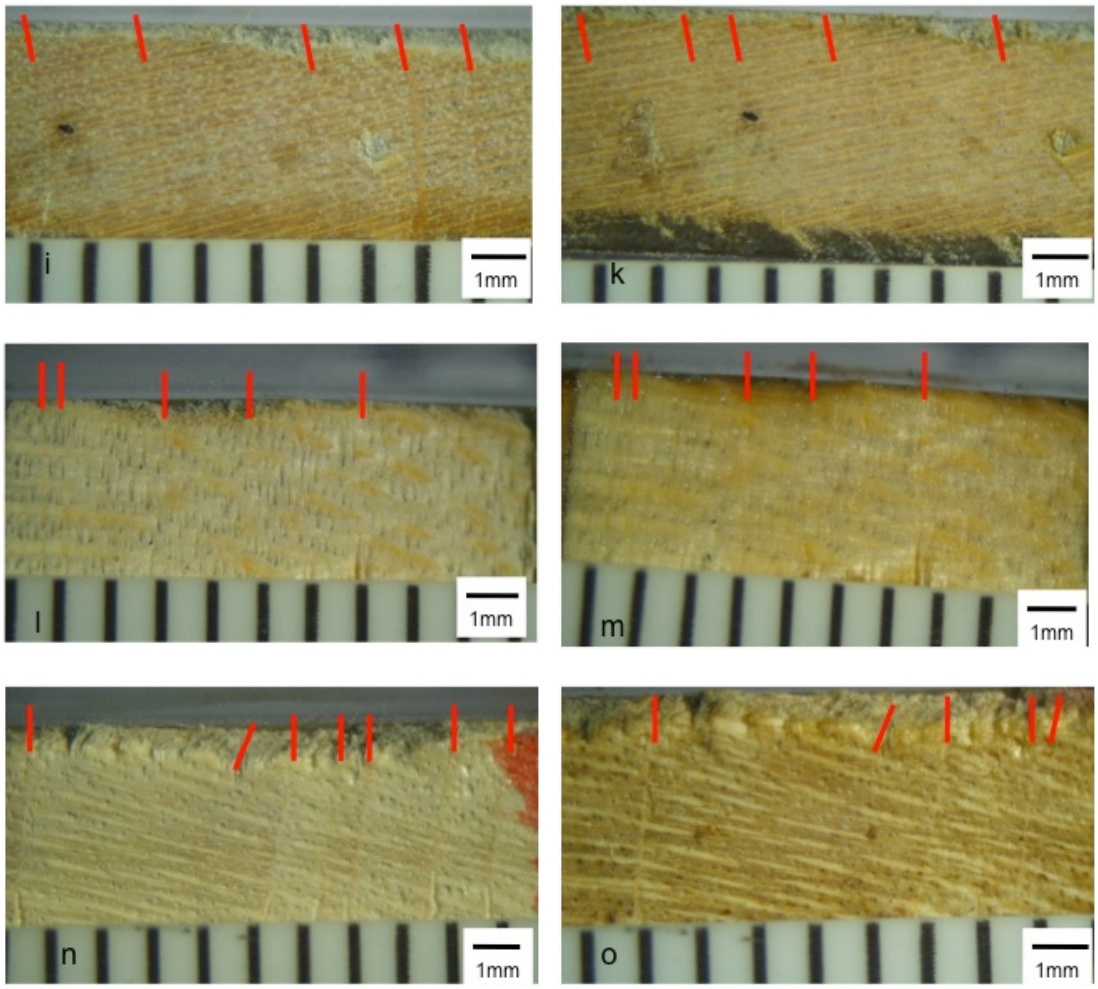


Abb. 24: Ausschnitte von Bohrkernen von Wiener Stadtbäumen der Gattung *Acer* am Schottenring im ungefärbten und gefärbten Zustand. Die Färbungen wurden als Blockfärbungen durchgeführt. Rote Marker weisen auf Stressringgrenzen hin.
Ungefärbte Bohrkerne (links; a, c, e, g, i, l, n) sind verschiedenen Färbungen (rechts) gegenübergestellt: b Gentianaviolett, d Astrablau, f Safranin, h Safranin und Safranin-Astrablau, k Kaffee, m Coca Cola nach dreimaligem Färben, o Kaffee nach zweimaligem Färben. Die Bilder wurden mit einer Digitalkamera durch eine Reichert Präparierlupe aufgenommen. a, b, e, f, i, k, l, m zeigen Holz von *Acer platanoides*, c, d, g, h, n, o von *Acer pseudoplatanus*.
Auffällig ist, dass durch die Blockfärbungen keine Verbesserung der Strukturerkennung erzielt werden konnte.

3.4 Ergebnisse einer Voruntersuchung von Proben mittels REM und EDAX-Sensor

Im Rahmen einer kleinen Versuchsreihe mit einigen ausgewählten Bohrkernen von zwei Ahornen und zwei Linden, die während der allgemeinen Aufsammlung gewonnen wurden und deren Jahrringabfolge nach der beschriebenen Standard-Methode erfasst wurde, wurden relative Elementverteilungen im Bereich einiger Jahrringe gemessen (Abb. 25). Die erhaltenen Übersichtsbilder lassen die Oberflächenstruktur und auch Jahrringgrenzen erkennen (Abb. 26). Die Peaks der einzelnen Messpunkte zeigen die Elementverteilung nach Häufigkeiten an. Werden diese Kurven übereinandergelegt, so fallen variierende Peakhöhen auf, die eine unterschiedliche Häufigkeitsverteilung der Elemente im Holz wiederspiegeln. Die übereinandergelegten Spektren mehrerer Messpunkte des belasteten Baumes L221 lässt besonders für den Chloridpeak eine deutliche Varianz erkennen. (Abb. 27). Beim wenig belasteten Kern A222 ist die Varianz der Chloridpeaks deutlich geringer ausgefallen (Abb. 25).

Die Chloridwerte schwankten zwischen den einzelnen Messpunkten. Zwischen den Messpunkten „hh“ und „ii“ des Ahorns A222 kann aufgrund der optischen Analyse ein Jahrring vermutet werden. Ob auch die Messpunkte „d“ und „e“ desselben Baumes eine Jahrringgrenze markieren, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden (Abb. 28).

Messwiederholungen ergaben veränderte Werte (Abb. 29) und deuten damit auf eine geringe Reproduzierbarkeit der Methode in Bezug auf einzelne Messpunkte hin. Abbildung 30 zeigt allerdings, dass die wiederholte Messung eine deutlichere Chloriddetektion ermöglicht.

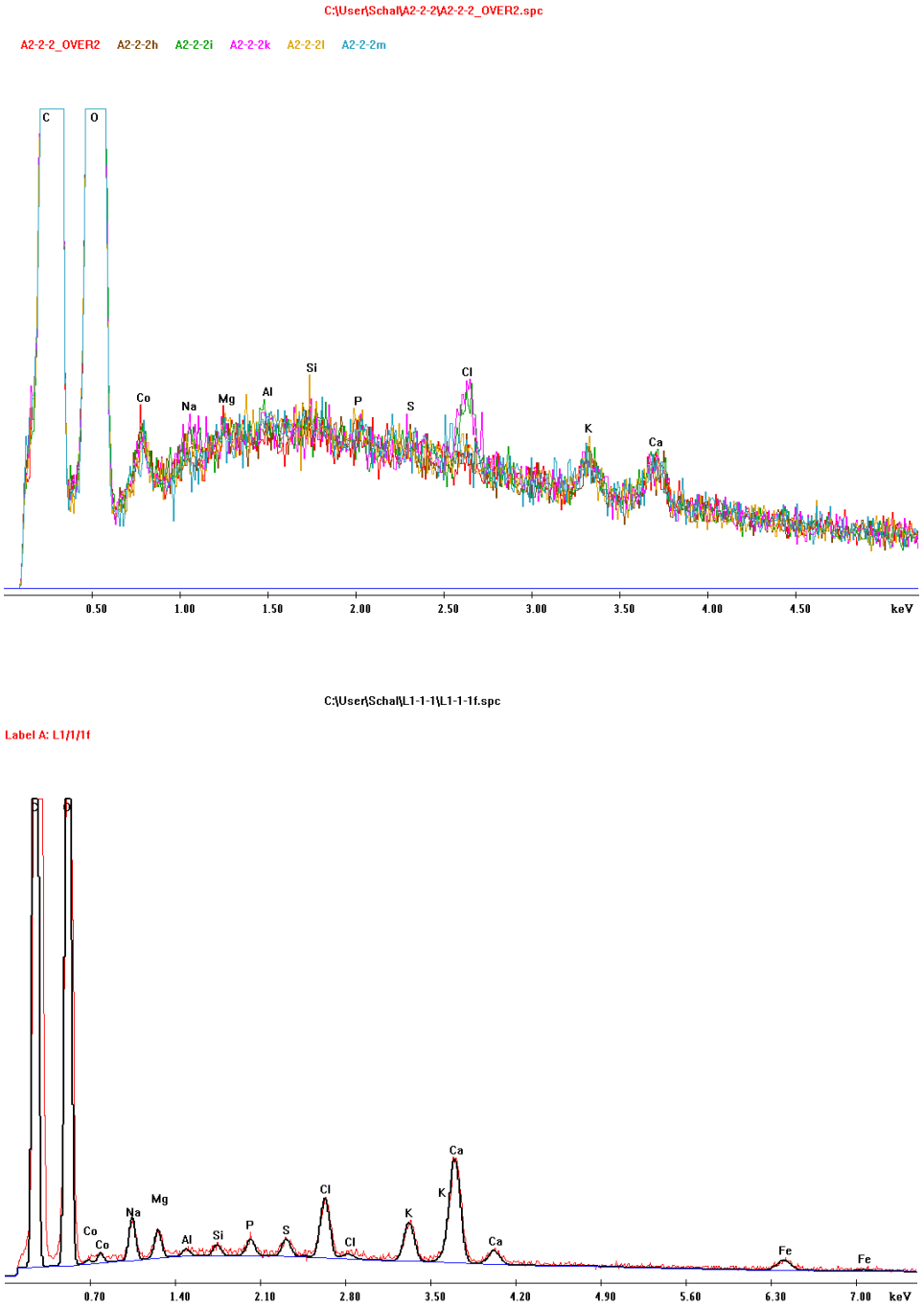


Abb. 25: Oben: Die Messübersicht für den wenig belasteten Ahorn A222. Die Punkte A222 h, i, k, l, m sind als übereinandergelegte Spektren dargestellt. Herausstechend sind die unterschiedlichen Werten für Chlorid (Cl) mit hohen Werten an den Punkten i (grün) und k (Magenta). Unten: EDAX-Kurve für den Messpunkt L111f (Linde). Die rote Kurve zeigt die gemessenen Werte. In Schwarz sind die den Elementen zugeordneten Peaks eingetragen. Die blaue Kurve stellt den Nullwert für die Berechnung der Peakflächen, also das verhältnismäßige Vorkommen der Elemente in der Probe dar.

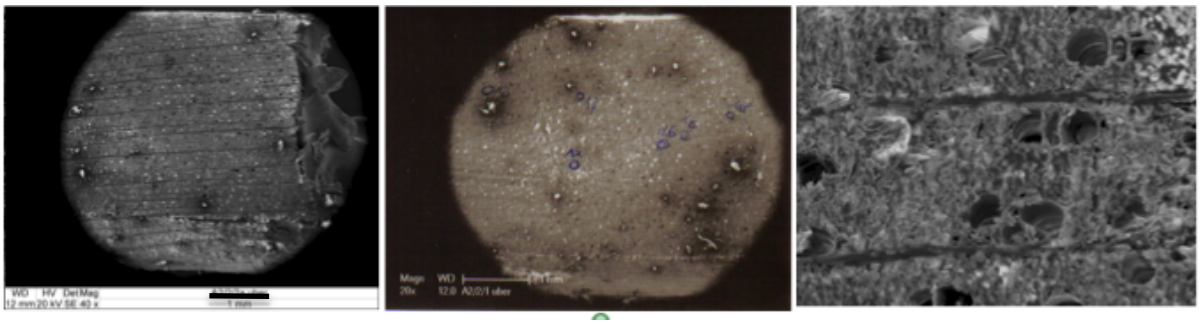


Abb. 26: Übersichtsbilder zu A222 (links) und A221(mitte); der Messbalken zeigt jeweils 1 mm. In A221 sind Messpunkte eingetragen. Rechts: Detailbild eines Messpunktes (von A222), zu sehen sind zwei horizontal durch das Bild verlaufende Holzstrahlen und angeschnittene Tracheen.

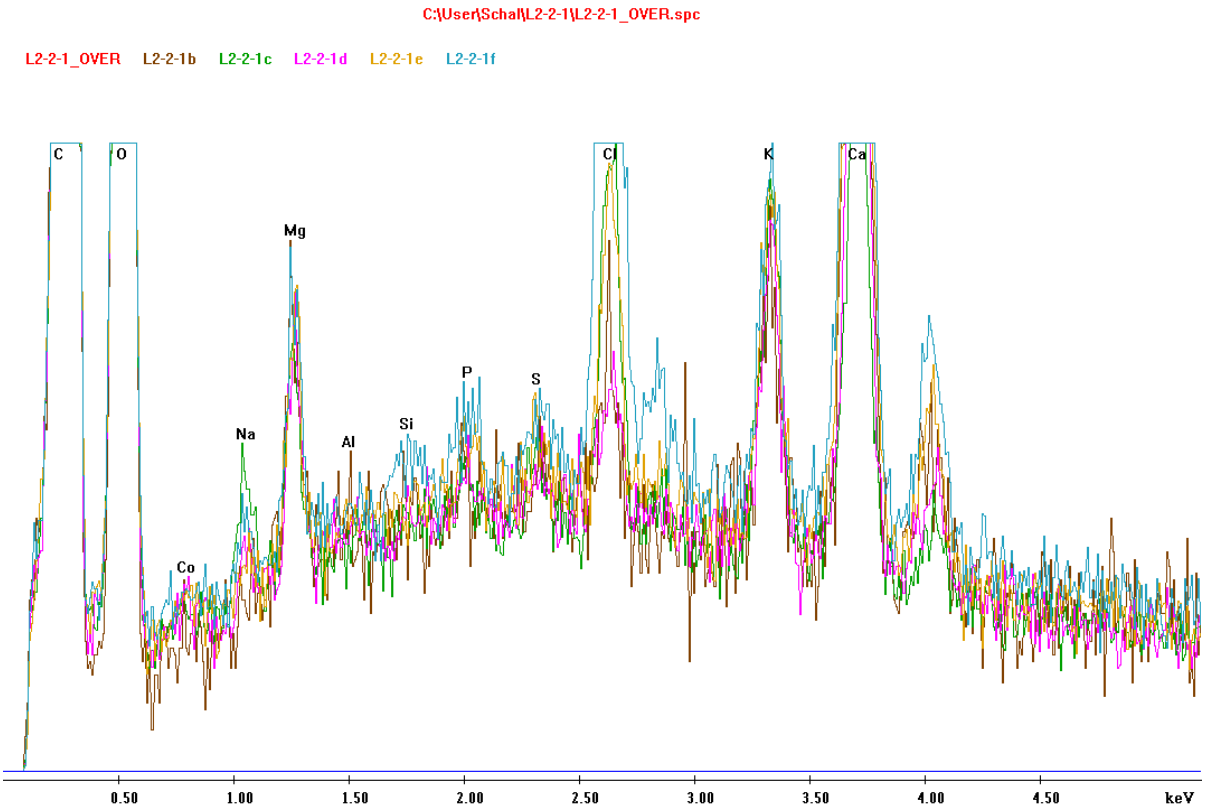
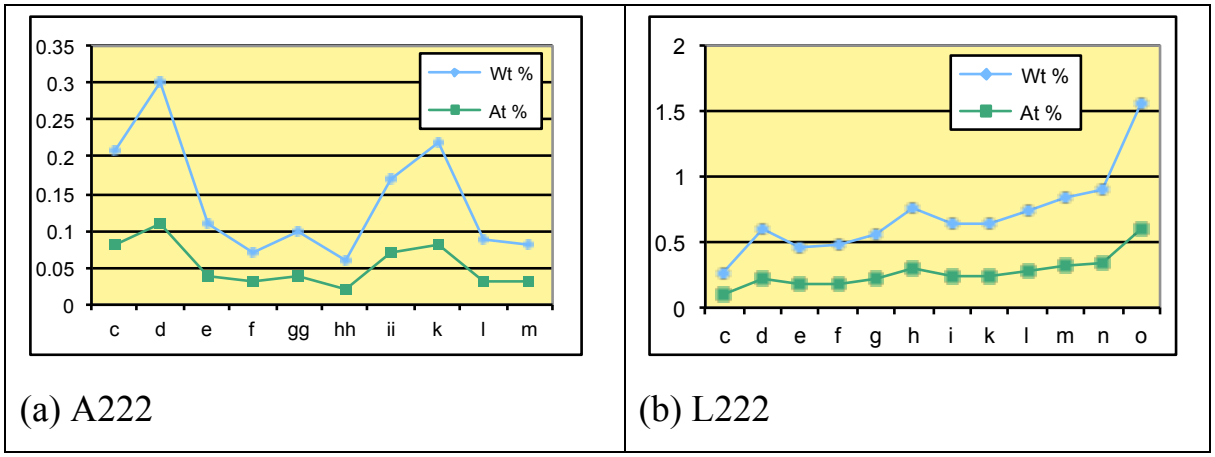
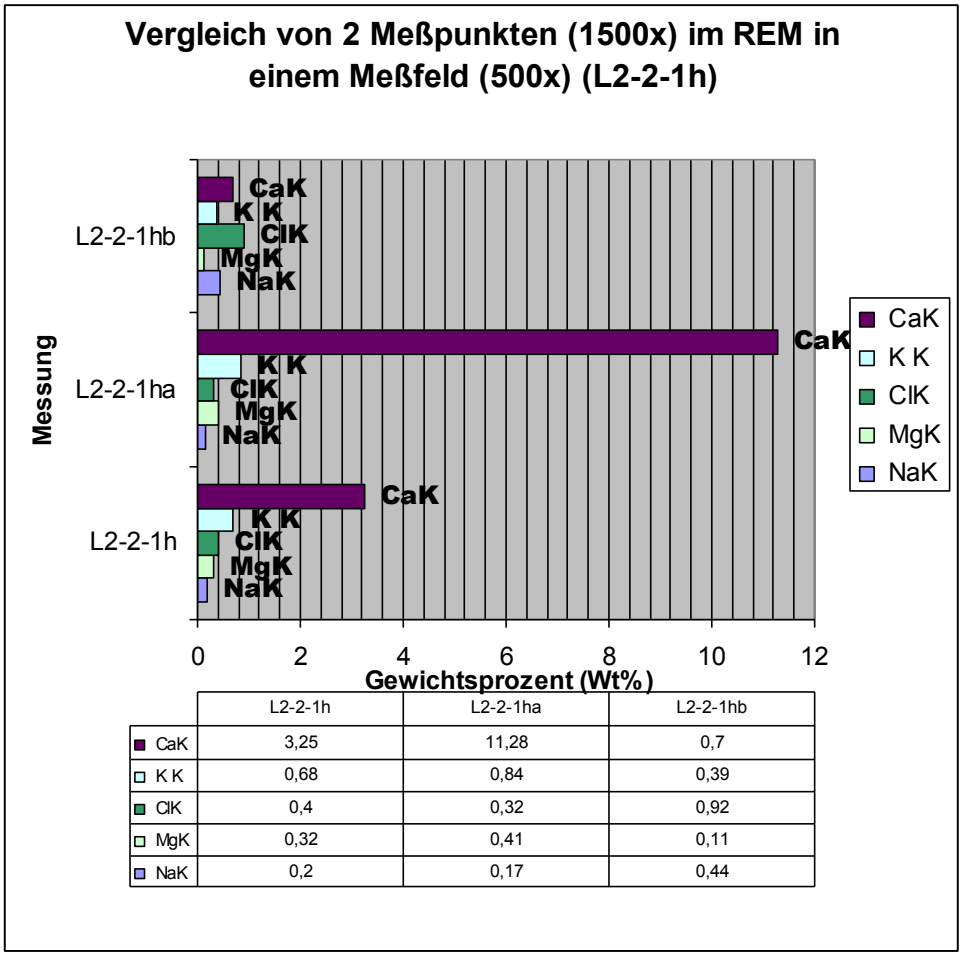


Abb. 27: Spektren der Messpunkte b, c, d, e, f der stark belasteten Linde L221. Auffällig sind große Unterschiede der Peakhöhen für die einzelnen Messpunkte bei Natrium (Na) und Chlorid (Cl). Für Natrium zeigt Messpunkt c die größte Konzentration, für Chlorid wurde der höchste Peak bei Punkt f abgebildet.



(a) A222 (b) L222

Abb. 28: Chloridwerte an mehreren aufeinanderfolgenden Messpunkten innerhalb eines Ahornkernes A222 (a) und eines Lindenkernes L222 (b); Werte in Gewichtsprozent der Trockenmasse (Wt%) bzw. in Atomprozent (At%) der mit Kohlenstoff bedampften Proben. Die Unterschiede könnten auf Konzentrationsschwankungen im Jahrringverlauf mehrerer Jahre beruhen.



	L2-2-1h	L2-2-1ha	L2-2-1hb
CaK	3,25	11,28	0,7
K K	0,68	0,84	0,39
ClK	0,4	0,32	0,92
MgK	0,32	0,41	0,11
NaK	0,2	0,17	0,44

Abb. 29: Drei Parallelmessungen (h, a, b) am Messpunkt h des Bohrkerns L221. 1. Messung „h“, 2. Messung „ha“, 3. Messung „hb“. Durch das ungleiche Ausdampfen der Elemente bei der Messung ändern sich die Analysen - Verhältnisse. Es handelt sich um eine stark belastete Linde.

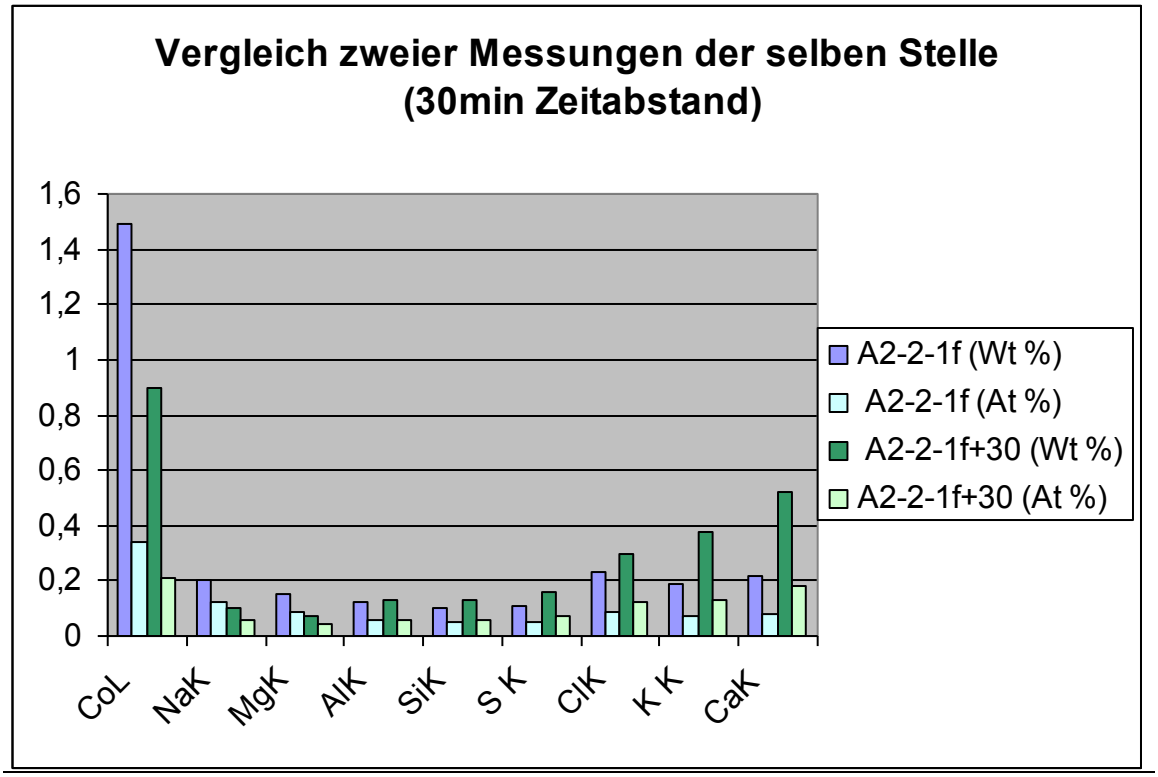


Abb. 30: Vergleich zweier Elementanalysen am selben Messpunkt mittels EDAX im Abstand von 30 Minuten. Es zeigt sich ein verändertes Messergebnis; die beiden Ionen des Kochsalzes Na^+ und Cl^- sind in beiden Messungen gut nachweisbar und sind einerseits in Prozent Trockenmasse (Wt%), andererseits als Atomprozent (At%) angegeben.

4 DISKUSSION

4.1 Die untersuchten Bäume 2005 bis 2013

Erst durch die Eliminierung der Ausreißer aus der Betrachtung der gemessenen Stammdurchmesser ergibt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Bäumen der Oberzellergasse im Vergleich zu Schottenring und Votivpark. Die Oberzellergasse weist 2005 einen reduzierten Zuwachs im Vergleich zu Schottenring und Votivpark auf (Tab. 9). Dies kann unteranderem durch die hohe Natriumchloridausbringung von 2154 g/m^2 erklärt werden. Es muss aber bedacht werden, dass am Schottenring 4 Bäume (3 davon im Haltestellenbereich) getauscht wurden und somit aus der Berechnung herausfallen, während der Baumersatz in der Oberzellergasse nur einen Baum im direkten Einflussbereich einer Tiefgaragenausfahrt betrifft (Tab. 10). Der Effekt der starken Salzstreuung in der Oberzellergasse wird durch die „Lage" der Straße abgeschwächt, die zur Landstraße hin deutlich abfällt, wodurch ein guter Abtransport des Salzes durch Wasser gegeben ist. Auch kann aufgrund der geringen Stichprobe nicht sicher davon ausgegangen werden, dass die als Ausreißer klassifizierten Bäume tatsächlich als solche zu behandeln sind. Die ausgetauschten Bäume in beiden Straßen (Oberzellergasse, Schottenring) stehen an Standorten, die als sehr stark belastet angenommen werden müssen, was sich in hohen Bodensalzgehalten und ausgeprägten Blattnekrosen zeigt (Albert 2007).

Der um 0,76 cm höhere Zuwachswert im Stammumfang der Bäume am Schottenring im Vergleich zu Votivpark erscheint vernachlässigbar. Der Wert wurde von den Bäumen über einen Zeitraum von 8 Jahren erreicht. Der Unterschied kann möglicherweise durch bessere Pflege der Bäume am Ring bewirkt worden sein. Auch werden die Bäume an der Wiener Ringstraße mit einem dauerhaft installierten Unterflursystem bewässert, wodurch sich möglicherweise bessere Standortsbedingungen für die Bäume ergeben. Für den Votivpark liegen keine Angaben zu einem möglichen Einsatz von Auftausalz vor. Der „Wiesenstandort" dieser Bäume und die Parksituation lassen aber von geringen Salzeinwirkungen ausgehen.

Den nicht bereinigten durchschnittlichen Zuwachs der Bäume mit den für die Standorte angegebenen Streusalzmengen für 2005 in Zusammenhang zu bringen, erscheint nicht sinnvoll, da die mittleren Zuwächse zwischen den Standorten keine deutlichen Unterschiede zeigen. Ein klareres Bild geben die Standorte der Einzelbäume wieder, wenn die ausgetauschten Bäume berücksichtigt werden. Hier zeigt sich deutlich die Auswirkung belasteter Standorte auf die

Fitness bzw. auf die Lebenserwartung der Bäume. Der reduzierte Zuwachs resultiert offenbar aus weiteren zusätzlichen Effekten, die im Zuge dieser Arbeit nicht herausgearbeitet werden konnten, sodass eine weitere Interpretation der unterschiedlichen Zuwächse entfallen muss (Tab. 12).

Die abweichenden Ergebnisse zwischen dem Wiener Baumkataster (ViennaGIS 2013) und der Messung im Rahmen der abschließenden Bestandsaufnahme weist auf Messunsicherheiten hin. Die unterschiedlichen Werte könnten zum Teil auf eine nicht auf 1,5 m Stammhöhe fixierte Messung zurückzuführen sein. Wir haben in der Höhe der Bohrlöcher gemessen, die in Brusthöhe, also bei ca. 1,5m Stammhöhe lagen. Bei positiver Abweichung des Messergebnisses muss zusätzlich beachtet werden, dass unsere Messung im August erfolgt ist. Eine Bestimmung der Stammstärke wird aber für Jänner bis März empfohlen da sich der Stamm während der Vegetationsperiode etwas dehnt, wobei die Dehnung über den Winter wieder zurückgeht. Knight (1927) beschreibt für Apfelbäume, dass die Dehnung des Stammes einige Wochen nach dem Knospenaufbruch startet. Für Pappeln bestimmt Deslauriers (2009) den Start der Xylemdifferenzierung in der Baumspitzenregion des Stammes für Anfang April. Von da an schreitet der Beginn der Zelldifferenzierung im Stamm um 0,5m/Tag zur Wurzel hin fort. Durch unsere Messungen im August 2005 und 2013 ist somit der „Sommerstamm“ und zusätzlich fast der gesamte Zuwachs des aktuellen Jahres mitgemessen worden. Der konstante Messtermin für unsere Messungen von 2005 und 2013 lässt eine durchschnittliche Jahresringstärke von 0,44 cm für 2013 annehmen.

4.2 Qualitätskontrolle

Um die digitale Methode auf methodische Schwächen prüfen zu können, wurden die Probenvorbereitung sowie die scannergestützte Analyse bis hin zur Jahringmessung in 8 Einzelschritte der Aufarbeitung der Bohrkerne unterteilt (siehe Kap. 2.7, Qualitätskontrolle der Probenvorbereitung und der digitalen Messmethode).

Im Verdacht als Hauptquellen für mögliche Fehlbeobachtungen in der digitalen Methode, bedingt durch technische oder menschliche Einflüsse, standen v.a. folgende Arbeitsschritte:

(4) eine fehleranfällige Oberflächenbehandlung und dadurch Generierung schlechter, schwer auswertbarer Bilder.

(5) Scannereffekte durch das Gerät, schwankende Lichtverhältnisse sowie Auswirkungen der nachfolgenden Datenverarbeitung durch den Computer.

(6) eine unstete Detektion der Signale (Jahrringgrenzen) durch den Beobachter.

Die Wiederholung der Arbeitsschritte 4 – 6 zeigt keine Verbesserungen. Somit kann auf keinen verbesserungsfähigen Arbeitsschritt in der Methode hingewiesen werden. Die hier benannten möglichen Schwächen wurden bei der Durchführung der Wiederholungen besonders beachtet. Auch beim Beobachter wurde auf eine exakte Standardisierung der Arbeitsbedingungen und Durchführung (z.B. standardisierte Nutzung des Flachbildschirms) geachtet. Methodik und Durchführung können daher als konstant und gut reproduzierbar betrachtet werden. Innerhalb desselben Datensatzes sollte Beobachter, Scanner und Bildschirm nicht getauscht werden.

Es kann angenommen werden, dass das Hauptproblem in der Verwendung der hier untersuchen Arten der Gattung *Acer* mit seinem kontrastarmen Holz liegt. Darauf weist die unstete Detektion durch den Beobachter in Punkt 6 hin.

4.3 Messtischanalyse

Die halbautomatische Auswertung der Messtisch-Daten mittels Tsap Win ergab für die Messkurven der Proben eines Baumes teilweise vertrauenswürdige Gleichläufigkeiten unter Berücksichtigung der Fehlereinschätzung nach Eckstein (1969, Abb. 11), ausgegeben durch die Tsap Win Funktion Math Graph (Tab. 20).

Für die ausgewählten Standorte können aus der Literatur, aus der Historie des jeweiligen Ortes sowie aus den Wetterdaten der vergangenen Jahre „Zeigerjahre“ mit besonders positivem (deutlich verstärktem) oder negativem (stark rückläufigem) Dickenwachstum vorhergesagt und in

Einzelfällen auch gefunden werden (Tab. 19, Tab. 23).

Da die auffälligen Jahresringe, die diesen Zeigerjahren entsprechen, nicht bei allen Bäumen gefunden werden können, ist ihre tatsächliche Detektion bei den untersuchten Bäumen und die sich daraus ergebende mögliche Abstimmung der Kurven fragwürdig. Die Stadtsituation mit ihrer Kleinräumigkeit der Standorte erschwert die Interpretation, sie bewirkt, dass auch die nach Vorhersage gefundenen Zeigerjahre als unsicher anzunehmen sind. Diese könnten bei vollständiger Kenntnis der Standortsbedingungen möglicherweise auch anders erklärt werden. Es ist möglich, dass dann die zeitliche Übereinstimmung des Zuwachsverhaltens der Bäume als auf voneinander unabhängigen Ereignissen beruhend erkannt wird. Beispielsweise kann die Blumentopfsituation (Kap. 1.10, Die Auswirkung von Umwelteinflüssen auf die Bildung von Jahrringen) vieler Stadtbäume, oder auch standortsspezifische Pflegemaßnahmen (z.B. bedingt durch die Verkehrssituation am Schottenring) starke Baumreaktionen, unter anderem in den erwarteten Zeigerjahren, hervorrufen. So können einer Detektion auch andere Ursachen zur Grundlage liegen, als die das Zeigerjahr definierenden Umweltbedingungen. In diesen Fall wäre trotz Passung eine Fehldetektion erfolgt. Je genauer die Historie der Einzelbaumstandorte rekonstruiert wird, desto besser lassen sich Zeigerwerte für die gemessenen Jahrringabfolgen, standortsspezifisch und auch darüber hinaus (z.B. regional), vorhersagen und zuordnen. Auf dieser Basis können besser abgesicherte Chronologien erstellt werden.

Die optische Betrachtung der hier diskutierten Kurven lässt aber keine Sicherheit über die Korrektheit der gefundenen Chronologien (Abb. 12, Abb. 23, Tab. 19, Tab. 23) zu.

Die subjektive optische Einschätzung ist für die Methode der Alignmentbildung in der Dendrochronologie neben der unterstützenden Statistik von besonderer Wichtigkeit (Sandler 1997). Zitate aus der Tsap Win zur Seite gestellten Publikation (Rinn 2003) unterstreichen das: „We strongly recommend you to manually cross-check your measured series in Math Graph first, before starting the statistical cross-date procedure.“; „Measurement errors may reduce the feasibility for statistical cross-dating of a series. The statistical cross-dating analysis gives one or several suggestions. Never rely on these suggestions alone.“ (Rinn 2003).

Wie zu Beginn dieses Subkapitels angemerkt, konnten nur teilweise vertrauenswürdige Gleichläufigkeitswerte für die gebildeten Alignments erhalten werden. Um sichere Standortschronologien weiterentwickeln zu können wären sehr hohe Gleichläufigkeiten für die Baummittelkurven (99,00%) und ein glaubwürdiges Kurvenbild notwendig. Dies ist deshalb wichtig, da als Basis der Standortschronologien erst korrekte Baummittelkurven gebildet werden

sollten. Eine Weiterverwendung dieser Kurven vergrößert mit jedem Bearbeitungsschritt den Fehler. Trotzdem ist es möglich, wie in Abbildung 14 und Tabelle 24 gezeigt wurde, bei einzelnen Jahren Übereinstimmungen mit Ereignissen aus anderen Datenquellen darzustellen. Diese finden sich aber nicht in allen Bäumen und auch nicht an allen Standorten. Unter diesen Bedingungen erscheint es nicht möglich, mit der vorliegenden Untersuchung stressbezogene oder individuelle Reaktionen der Bäume auf Streusalz nachzuweisen. Das wäre bei dieser Datenlage nur möglich, wenn für den individuellen Baum gute historische Daten, z.B. Pflegemaßnahmen oder konkrete Schäden, vorhanden wären, die die abweichenden Kurven erklärbar machen können und eine Eichung auf Ereignisjahre, also Jahre mit im Dickenwachstum sichtbaren Effekt, möglich machen. Diese individuelle Eichung ließe wiederum die Kombination der Kurven zu Kollektivmittelkurven zu.

Die Bearbeitung der drei Probenkerne von VP75 und VP78 zeigt, dass ein Vergleich von zwei Kernen eines Baumes zueinander oder zu einer gemeinsamen Mittelkurve dieser zwei Kerne signifikante Gleichläufigkeitswerte erbringt, selbst wenn eine gemeinsame Mittelkurve der drei Kerne eines Baumes nicht erreicht werden kann, sodass auch die Gleichläufigkeiten von SR29, SR30 und SR31 (Tab. 20, Tab. 21 und Tab. 22) sehr kritisch gesehen werden müssen.

4.4 Unterschiede der Messverfahren (Bildschirm, Lupe, Scanner)

Der größte Unterschied zwischen den zwei angewandten Verfahren besteht in der zweigeteilten Messung im Scannerverfahren, mit den separaten Schritten (1) Markieren der Jahrringweiten im Adobe Photoshop und (2) Auswertung der Markierungen mit ImageJ, um die Messung zu erhalten, gegenüber einer direkten Messung am Messtisch, wo diese Schritte gemeinsam erfolgen.

Im Scannerverfahren bleibt der jährliche Zuwachs durch das Markieren der Jahrringbreite während der Bearbeitung des Scans als Bild gespeichert (Abb. 20). Dadurch ist die Messung optimal nachvollziehbar. Indem die Markierungen als zuschaltbare Ebene über den Scan (das Bild, des Bohrkerns) gelegt werden und Änderungen in der Messung als weitere Ebenen zusätzlich verfügbar sind, können veränderte Zuwachsanalysen durch ihre unabhängige Markierung zurückverfolgt werden.

Am Messtisch wird die Messung der Jahrringbreiten direkt an der Probe mittels Messlupe vorgenommen. Um Unsicherheiten in der Zuordnung der Jahresringe zu konkreten Jahren

möglichst am Testobjekt zu überprüfen, muss die Messung für eine Reproduktion des Messvorganges erneut mit der Messlupe nachvollzogen werden. Eine Speicherung des Bildes ist bei dieser Methode nicht vorgesehen und müsste durch ein zusätzliches Gerät an der Kamera der Messlupe bewirkt werden. Bei der Mikroskopie - Methode wird sofort während der Messung einer problematischen Stelle die Unsicherheit nachvollzogen und möglichst geklärt. Beim gescannten Bild der digitalen Methode muss direkt an der Probe mithilfe des Scanbildes und einer erst im Schritt des Nachvollziehens durchgeführten direkten Jahrringzählung (-findung) die genaue Stelle eruiert werden. Das unterschiedliche Ergebnis der wiederholten Analysen (Abb. 19) der Scannerbilder macht deutlich, wie schwer das sein kann, da die Jahrringzählung im Scanner keinen verlässlichen Standortshinweis geben kann, und auch das Scanbild oft keine schnell auffindbaren markanten Strukturen zeigt.

Beim Scannerverfahren wird sehr auf die perfekt vorbereitete Probe und die Darstellungsmöglichkeiten sowie die Qualität des Scanners und in weiterer Folge des Bildschirmes vertraut. Wird das Bild durch einen Flachbildschirmes dargestellt, ist es stark von der Lichtqualität (Wetter, Tag/ Nacht, Kunstlicht) und dem Blickwinkel des Beobachters auf den Bildschirm abhängig, was gesehen wird. Diese Umstände erschweren Interpretationen und Abgrenzungen von Stressringen, Jahrringen oder Artefakten. Generell werden viele Probleme erst sichtbar, wenn die Daten aller vorhandenen Jahrringe als Kurve vorliegen. Der zeitliche Abstand zwischen der Messung und der Fehlersuche erschwert das korrekte Auffinden der Problemzonen in den Proben, also im Scannerbild oder im Holz (Abb. 18, Abb. 20 und Abb. 21). Die schlechtere direkte Verfügbarkeit von Informationen und die Schwierigkeit der Einarbeitung neuer Erkenntnisse erhöhen zudem den Aufwand der Messung.

- das Scannerbild lässt sich nicht kippen, die Probe am Messtisch schon,
- am Scannerbild sind Nacharbeiten an der Probe nicht möglich, dazu muss zurück zur Holzprobe gegangen werden, wodurch die komplette Aufarbeitung der Probe wiederholt werden muss; am Messtisch sind kleine Nacharbeiten hingegen sofort möglich,
- an der Probe selbst ist die exakte, konkrete am Bild gesehene Stelle nur schwer und zeitintensiv auszumachen und mit dem Bild zu vergleichen,
- das nachträgliche Einarbeiten von Informationen in die Messergebnisse, also die direkte Veränderungen der Messung, erfordern eine neuerliche graphische Bearbeitung des Bildes und die Wiederholung der Vermessung des Bildes.

Eine Vergrößerung der Bilder ist unter Verwendung der digitalen Methode bis zur Pixelgröße möglich und oft hilfreich. Das Bearbeiten derartig großer Bilder erfordert entsprechende Computersysteme, um den Zeitaufwand für die Bildberechnung gering zu halten und die Stabilität des Computersystems sicherzustellen.
Bei der Methode „Messtisch und Messlupe“ erfolgt die Messung direkt am Bohrkern, wodurch bei Unsicherheiten sofort auf das Untersuchungsobjekt zugegriffen werden kann. Dabei gibt es zwei Darstellungsmöglichkeiten: das direkte Lupenbild im Messokular und/oder das Videobild auf einem Bildschirm. Im Fall dieser Studie wurde ein Röhrenbildschirm verwendet, da dadurch der Einfluss des Blickwinkels auf das Bild keine Rolle spielt. Bei Flachbildschirmen kann dagegen ein veränderter Blickwinkel das wahrgenommene Bild verändern. Da während des gesamten Messvorganges auf den Bohrkern zugegriffen werden kann, kann dieser bei Bedarf gekippt und die Beleuchtung in Stärke und Winkel geändert werden. Die Probe kann auch mit einer anderen (z.B. stärkeren) Lupe betrachtet werden. Eckstein (1981) berichtet, dass diese Flexibilität sehr hilfreich sein kann, was in vorliegender vorwiegend methodisch orientierter Studie durchaus bestätigt werden kann. Die Möglichkeit des Nachpolierens zur Verbesserung des Anschliffs bzw. zur Prüfung, ob durch Nachbehandlungen verdächtige Strukturen als Artefakte entfernbar sind, verbessert die Zuverlässigkeit dieser Methode erheblich.
Die direkte Vergleichbarkeit der Kerne ist bei der Messtischmethode teilweise erschwert, da nicht wie beim Scannen zur Analyse die drei Kerne stabil nebeneinander in einem Bild präsentiert werden. Die gleichzeitige Betrachtung der Kerne unter der Messlupe durch Nebeneinanderlegen und Ausrichten derselben macht die Vorteile des direkten Eingreifens, wie Kippens zunichte. Das eigeschränkte Arbeitsfeld der Messlupe hat negative Effekte bei der Betrachtung des vergrößerten Objektes von 3 nebeneinanderliegenden Kernen. Das wiederholte Ausrichten der Kerne zwecks optimaler Passung für diverse Einzelstellen, das aufgrund unterschiedlicher Mächtigkeit des Dickenwachstums eines Jahres bei unterschiedlichen Proben immer wieder notwendig ist, erleichtert die vergleichende Analyse. Eine Vergleichbarkeit wird durch das Messprogramm Tsap erreicht, indem bereits während der Analyse die Daten vorangegangener Messungen unter der neuen, gerade im Aufbau befindlichen Messkurve anzeigt werden.

Das Ergebnis des „Crossdating“ mithilfe von Lupe und Messtisch wird somit an der direkteren Messung mit ihren Kontroll- und Eingriffsmöglichkeiten, aber auch an der Erfahrung des

Experimentators mit dieser Methode zum Zeitpunkt der Messung liegen. Ein qualitativer Nachweis unter Zuhilfenahme von Gleichläufigkeitszahlen zeigt dabei keine besseren Ergebnisse für die Messtischmethode (Tab. 17). Die direkteren Bearbeitungs- und Vergleichsmöglichkeiten führen zu einem aus Sicht des Beobachters sichereren Ergebnis.

Die anschließende Analyse der Daten mit Tsap 3.6 ermöglicht mit der Verschiebefunktion einen einfachen Kurvenvergleich. Änderungen können schnell optisch durch die Editierfunktionen überprüft werden, wobei diese Möglichkeiten zu einem schnelleren und sichereren Ergebnis führen als eine Excel-gestützte Kurvenanalyse.

Schließlich konnten die Kurven an einigen Stellen mit externen Daten (Wetter, vorhandene Chronologien) verglichen werden. Die dort vorhergesagten und in den Kurven wiedergefundenen Zeigerjahre legen die Richtigkeit der dabei verwendeten Kurven zumindest im Groben nahe. (Abb. 23, Tab. 23).

Eine wiederholte Analyse der Daten mit Win-Tsap als Abschluss der Arbeit führte optisch zu den vertrauenswürdigsten Ergebnissen. Hier hat sich neben der Erfahrung die verbesserte Handhabung der Analysefunktion Math Graph von Tsap bezahlt gemacht.

Schließlich konnten mit der mikroskopischen Analyse sowohl nach Methode „R“ als auch mit Math Graph von Win-Tsap Zeigerjahre herausgearbeitet werden, die sich teilweise in europäischen Chronologien (Tab. 19), in Wetterdaten und in historischen Standortsdaten über Eingriffe in den Lebensraum der Bäume wiederfinden lassen (Tab. 23). Allerdings sind alle Ergebnisse aufgrund mangelnder Passung der Probebäume bzw. zu geringer Anzahl an passenden Bäumen zu unsicher, um hier von einer eindeutigen und sicheren Detektion zu sprechen.

4.5 Der Ahorn als schwieriges Untersuchungsobjekt der Dendrochronologie

4.5.1 Anatomie und Wuchsverhalten

Für zerstreutporige Hölzer wie Ahorn sind fehlende und auskeilende Jahrringe bekannt (Klein 1988, Lorimer 1999). Dies kann dazu führen, dass parallele Bohrkerne ein und desselben Stammes zwar (scheinbar) korrekt vermessen werden können, aber dennoch unterschiedlich viele Jahresringe aufweisen. Insbesondere die Detektion von fehlenden oder in Überzahl vorhandenen Stressringen erweist sich als sehr kompliziert (Kap. 1.10, Die Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf die Bildung von Jahrringen). Die Tatsache, dass Bäume auch auf andere als streusalz-bedingte Wachstumsunterbrechungen mit Stressringen reagieren können, sodass neben auskeilenden Jahrringen eine weitere Möglichkeit für zusätzliche „falsche“ Jahrringe im Bohrkern besteht, ergibt weitere Probleme bei der Jahrring-Analyse. Für Bäume, die unter starkem Konkurrenzdruck leiden, ist das Phänomen der fehlenden Jahrringe als Problem bekannt (Gundermann 2008). Da Konkurrenz als Stressfaktor zu werten ist, kann erwartet werden, dass Bäume unter der multiplen Stresseinwirkung, wie sie in Städten oft auftritt, diese Reaktion gehäuft zeigen. Die Wirkung lokaler, mittel- bis kurzfristiger Stressfaktoren, wie etwa Baustellen, wird in vorliegender Arbeit am Beispiel von Bohrkernen von Ahornbäumen in der Oberzellergasse gezeigt. Dagegen sind kurzfristigere Ereignisse (wie unfallbedingte Beeinflussungen wie zum Beispiel mechanische Schädigungen durch Parken) hier nicht berücksichtigt worden, da eine exakte historische Analyse in der Regel nicht möglich ist. Zusätzliches Einfügen von Jahrringen und das Entfernen von Stressringen - eine Maßnahme, die aufgrund des Vergleichs mit Referenzbäumen bzw. Jahresmittelkurven durchaus erlaubt ist, war in der vorliegenden Arbeit ein häufiges Mittel zur Erhöhung der Gleichläufigkeit der Jahrringkurven.

Unregelmäßigkeiten im Wuchsverhalten führen auch oberflächlich zu Effekten. So konnte bei vielen Bäumen Spannrückigkeit beobachtet werden (Abb. 31). Diese Abweichung des Stammquerschnittes vom kreisrunden Wuchsverhalten ist auf eine unregelmäßige Kambialaktivität zurückzuführen. Die Unregelmäßigkeiten können viele Ursachen haben, z.B. Verletzungen, oder genetische Veränderungen. Da Wagenführ (2007) in seiner Baumcharakterisierung Spannrückigkeit für Ahorn nicht erwähnt, erscheint eine rein genetische Erklärung als zu einseitig. Ein Grund für die Spannrückigkeit der untersuchten Bäume mag in

ihrer Ernährungssituation, insbesondere in unzureichender Versorgung des Kambiums liegen (Stinglwagner 2009). Das Vorhandensein von Stärke im Holz als Hinweis auf die Ernährungssituation der hier behandelten Bäume wurde von Albert (2007) beschrieben.
Diese oft nicht oder nur schwer begründbaren Unregelmäßigkeiten im Wuchsverhalten, besonders das Fehlen von Jahrringen, erschweren die Analyse der Bäume. Das uneinheitliche und mitunter unterbrochene Dickenwachstumsbild ist einer der Gründe, warum dendrologische Daten von Ahornen oft zu keiner Chronologie führen (Apple 1986).

4.5.2 Morphologie

Im Rahmen der Literaturrecherche zu dieser Arbeit hat sich gezeigt, dass im Fall von *Acer pseudoplatanus* (vgl. Abb. 6 und Schwarze 2008) und *Acer campestre* (vgl. Abb. 4 und Hoppe 2001) das eindeutigste Charakteristikum von Stressringen, nämlich das Fehlen von Gefäßen, nicht gilt. Es kann angenommen werden, dass dieses auch für *Acer platanoides* gilt.
Unregelmäßig wechselnde Dichteverhältnisse des Holzkörpers, wie sie Schwarze (2008) aufgezeigt hat, lassen eine Dichteanalyse zur einfachen Bestimmung von Jahrringgrenzen als nicht zielführend erscheinen. Daher wurden Bestimmungen der Holzdichte in vorliegender Arbeit nicht vorgenommen. Obwohl auch bei Ahorn das langsam erliegende Dickenwachstum am Ende der Vegetationsperiode zu dichterem Holz führen sollte, sind die von Schwarze (2008) gezeigten innerannuellen Dichteschwankungen eine zu erwartende Fehlerquelle bei der Interpretation solcher Messungen. Die Färbeexperimente, die auf eine Anfärbung des Lignins und/oder der Zellulose abzielen, hätten auf dichtere Stellen wie sie an Jahrringgrenzen zu erwarten sind, hinweisen können. Die relativ konstante Bildung von Lignin und/oder der Zellulose führt durch die Erlahmung des Zellwachstums gegen Ende der Vegetationsperiode, was sich durch geringere Vakuolen und damit kleineren Zellen mit relativ höherem Zellwandanteil äußert, zu höheren Gehalten an diesen Stoffen. Dies ist ein zu erwartender chemischer Unterschied, der sich während der Wachstumsphase des Baumes in der jährlichen Vegetationsperiode herausbildet. Dieser Unterschied sollte eine intensivere Anfärbung bedingen. Wie Abbildung 24 für die getesteten Färbungen zeigt, konnten, zumindest mit den Methoden, die in vorliegender Arbeit angewandt wurden, dennoch keine Erfolge erzielt werden.

Der geringe Kontrast im hellen (Wagenführ 2007), teilweise spiegelnden (Bossard 1982) Holz erschwert das Auffinden von Jahrringgrenzen und erhöht zusätzlich die Unsicherheit einer

Interpretation der gefundenen Strukturen, da auch andere Einflüsse, wie Bearbeitungsfehler (z.B. Schattenwurf im Fall von Unebenheiten) zu Farbunterschieden führen können. Die manuelle Bearbeitung mag sich hierbei besonders anfällig für Dichteschwankungen im Holz erweisen und zu solchen Fehlern führen. Manuelle Bearbeitung mit Hobel und Schleifpapier garantiert keinen konstanten Arbeitsdruck auf das Werkstück „Holzkern“, sodass beim Schleifen und besonders beim Polieren leichte Unebenheiten entstehen können. Dichtere Holzteile könnten mit ihrer größeren Härte der Bearbeitung mehr Widerstand entgegen setzen. Dadurch bleiben sie erhaben. Diese Unebenheiten können im Zuge der Bearbeitung das Entstehen weiterer Wellen in der Holzoberfläche auslösen. Die Welligkeit könnte sich so bei wiederholte Bearbeitung verstärken und zu weiteren Unterschieden in der Analyse führen. Ein einfacher Versuch könnte diese Unebenheiten offenlegen. Dazu müssten die bearbeiteten Bohrkerne als Stempel verwendet werden, das Stempelbild sollte dann die Höhenunterschiede wiedergeben. Leider konnte dieser Test im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Die morphologisch und anatomisch begründeten (angeführten) Analyseprobleme sowie genannte Bearbeitungsfehler erklären vermutlich einen Teil der in der Qualitätskontrolle gefundenen Unterschiede im Rahmen der Analysewiederholungen (Abb. 19 und Abb. 20).

Deflorio (2005) berichtet über eine neue Methode zur Erkennung von Jahresringen in zerstreutporigem Holz und im speziellen auch in Bergahorn durch die Inkubation der Proben mit den Braunfäulepilzen *Fomitopsis pinicola* und *Laetiporus sulphureus*. Mit dieser Methode wären möglicherweise klarere Jahrringsignale zu erkennen gewesen.

4.6 Ökologie

Die kleinräumig variierenden Standortsbedingungen in der Stadt setzen die Vergleichbarkeit der einzelnen beprobten Bäume und damit die Möglichkeiten der Fehlersuche herab (Eckstein 1981). Dieses Phänomen kann als einen weiteren Grund für die schlechte Auswertbarkeit unserer Proben vermutet werden. Die Vielfalt an Stressoren lässt die gemeinsamen Klimasignale verschwimmen und erschwert die Vergleichbarkeit mit Klimadaten bzw. die Erklärungsmöglichkeiten, die auf Auftausalze hinweisen können (siehe Kap. 1.3, Stressoren für Stadtbäume).

Auch wenn Eckstein (1981) das Großklima als übergeordneten Einfluss angibt, auf Grund dessen auch für Stadtbäume deutliche Ergebnisse auf Basis bestehender Chronologien und der Kenntnis extremer Witterungsbedingungen möglich sind, erschwert der Einfluss des Stadtklimas, beispielsweise mit milderen Wintern und erhöhter Trockenheit, eine präzise Verortung der Ringe auf ihr Entstehungsjahr durch den Vergleich mit nicht direkt die Stadt betreffenden Chronologien. Auch das Auffinden fehlender Jahrringe mittels Vergleichswerten aus anderen Chronologien ist aus oben genannten Gründen sehr schwierig. Der Vergleich mit anderen Arten aus dem Großraum Wien (Grabner 2009) und mit weiteren mitteleuropäischen Chronologien (Neuwirt 2005, Čejková und Kolář 2009) bestätigt die, wenn auch eingeschränkte, Auffindbarkeit großklimatischer Einflüsse im Wuchsbild von Stadtbäumen.

4.7 Probennahme und Vorbereitung

Ein zusätzliches Hindernis für eine problemlose Bearbeitung der ausgewählten Stadtbäume war die mangelnde Erfahrung, mit der an das Projekt herangegangen wurde. So wurde vermutlich bereits bei der Entnahme der Bohrkerne mittels Zuwachsbohrer das Problem der in sich verdrehten Holzkerne sowie des Zerfalls des Bohrkerns in Bruchstücke geschaffen. Dies führte später zum Teil zur Nichtanalysierbarkeit der betroffenen Kerne (Asherin 2001). Beim Extrahieren der Kerne wurde auf eine Markierung der Bruchstücke bewusst verzichtet, da chemische Analysen geplant waren. Im Laufe der Trocknung hat sich in vielen Fällen die Borke abgelöst, sodass auch eine mögliche falsche Orientierung allenfalls vorhandener Bruchstücke zu einer möglichen Fehlerquelle wurde.

Das Einspannen der Kerne in Kabelkanäle (Cichocki 2005) zur Vermeidung einer Verunreinigung durch Klebstoffe hat sich dagegen bewährt. Eine Optimierung wäre allenfalls

durch verbesserte Holzblocker an beiden Enden des Bohrkerns möglich. Verrutschende Blocker führten immer wieder zum Zerreißen des Holzkerns. Nach unseren Erfahrungen wäre es eventuell noch besser, die Kerne mittels Holzleim auf vorbereitete Holzschienen mit niedrigem U-Profil zu montieren, da auf diese Weise drei Seiten der Kerne statt einer einzigen Seite betrachtet werden können. Sollen jedoch in weiterer Folge chemische Analysen geplant sein, würde eine derartige Fixierung diese Ergebnisse beeinflussen.

4.7.1 Vermessung der Bohrkerne (Arbeitsplatz, Durchführung)

Insbesondere bei der Scannermethode erscheint es wichtig, für einheitliche Lichtbedingungen zu sorgen, da - wie wir feststellen konnten - Qualität, Farbe und Einfallrichtung des umgebenden Lichtes die Scanqualität maßgeblich beeinflussen. Diese Störungen sind leicht durch zusätzliche Abdeckungen zu vermeiden. Auch bei der Arbeit am Bildschirm ist eine einheitliche und optimierte Beleuchtung notwendig.

Ein Nachlassen der Konzentration des Bearbeiters, kombiniert mit Müdigkeitserscheinungen der Augen stellt bei der Scannermethode eine nicht unerhebliche Fehlerquelle dar. Teilweise hat die wiederholte Analyse gezeigt, dass es oft schwierig war, Strukturen eindeutig als Stressjahresringe anzusprechen. Möglicherweise ist der Flachbildschirm insofern ein Vorteil, als unterschiedliche Blickwinkel die Darstellung des Bildes zum Teil erheblich verändern und so neue Eindrücke gewonnen werden können. Es war nicht feststellbar, bei wie vielen der mit der Scannermethode aufgenommen Strukturen es sich tatsächlich um Jahrringe oder um Artefakte gehandelt hat. Als sehr hilfreich hat sich das Hinzuziehen der Meinung eines Zweitbeobachters bei Unsicherheiten im Analyseprozess gezeigt. Eine weitere große Hilfe war es, die Ränder des Kernes - soweit sie am Scannerbild noch sichtbar waren - zu beachten. Die vergleichende Analyse des Scannerbildes direkt mit dem Original des Kernes mithilfe einer Handlupe ist schwierig und zeitintensiv. Die Messtisch-Methode bringt diesbezüglich entscheidende Vorteile. Verstärkt wird dieser Vorteil durch die Möglichkeit, den Lichteinfall auf die Probe auf dem Messtisch dank Teleskoplampe zu verändern (Eckstein 1981), die Probe zur Absicherung der gefundenen Jahrringe zu kippen und an unklaren Stellen des Bohrkernes direkt, schnell und leicht nachbearbeiten (polieren) zu können. Neben dem optische Vergleich der markierten Jahrringe der drei Probenkerne erweist sich der Vergleich der von Tsap Win bereits während der Messung dargestellten Zuwachskurven als besonderer Vorteil.

Das Messen mittels ImageJ ist sehr komfortabel. Werden während der Messung Unsicherheiten

bemerkt, machen diese allerdings ein neuerliches Bearbeiten mit Photoshop notwendig.
Die Analyse der Daten und das Erstellen von Alignments mittels Excel ist möglich, war aber in problematischen Fällen im Vergleich zur Analyse mit dem Programm Tsap Win deutlich erschwert.
Alle Analysen mit Tsap, gespeichert im Heidelberger Dateiformat, mussten zur vergleichenden Analyse mit R erst mit einem zusätzlichen Parse-Skript angepasst werden.

4.7.2 Scanner, Messtisch, Dünnschnitt

Da die Probleme bei der Analyse der Kerne nicht direkt auf methodische Unschärfen zurück zu führen waren, bietet sich folgende auf die Publikation von Fonti 2009 stützende Erklärung an: Fonti (2009) vergleicht Scanner (2000 dpi) Stereolupe und Dünnschnittmikroskopie anhand von Eichenpräparaten. Er findet mit der Scanner-Methode weniger kleine Zellen als mit den beiden anderen Methoden. Dieses Ergebnis erscheint für Ahorn besonders bedeutend, da hier kleine Zellen dominieren, welche die Größe von durchschnittlichen Eichengefäßen nie erreichen (Tab. 2).
Die Unterschiede der Analysemethoden nivellierem sich erst ab der Zellgrößenklasse von 5000 – 10000 μm^2 , Werte, die von Ahornzellen nie erreicht werden (berechnet nach Wagenführ 2007). Auch bei Bossard (1982) bleiben die für die Analyse entscheidenden Tracheiden, (75,9% mittlerer Faseranteil, 10 bis 20 µm Durchmesser) im Ahornholz mit etwa 80 bis 310 μm^2 weit unter der für eine scannergestützte optimale Jahrringanalyse notwendigen Zellgröße. Allerdings gibt Bossard als Maximalwert für Ahorngefäßzellen mit Größen von 110 µm Durchmesser und einer Fläche von 9500 μm^2 bereits Dimensionen an, wie sie Fonti (2009) an Bildern von Eichentracheen erfolgreich bearbeitet hat. Dabei konnte er unter Verwendung von Scannerbildern (2000 dpi) und Bilderkennungssoftware die Eichentracheen meist detektieren. Somit scheint sich das Problem der Detektion eindeutiger Jahrringgrenzen bei Ahorn mit Hilfe der in vorliegender Arbeit angewandten Methoden auf die Sichtbarkeit der Zellen einzugrenzen. In den mikroskopischen Aufnahmen von Schwarze (2008) und Schöne (1999) lassen sich bei entsprechender Bildqualität Stressringgrenzen relativ sicher erkennen. Damit reduzieren sich die Probleme auf die durch vergleichende Analysen zu erzielende Unterscheidbarkeit von inneranuellen Stressringen und Jahrringen, wie sie in Kap. 4.5.1, Anatomie und Wuchsverhalten, weiter oben bereits besprochen wurden.

Die von Fonti (2009) angefertigten Bilder unterscheiden sich in ihrer Qualität in zwei wesentlichen Merkmalen von den in vorliegender Studie als Grundlage der Jahrringanalyse verwendeten Bildern. Bei Fonti (2009) wurden für die Analyse die Holzkerne schwarz gefärbt und mit Kreidestaub die Zellumina weiß angefüllt. Durch diese Kontrasterhöhung wurden die großen Eichentracheen oft erkannt. Dünnschnitte von 10 µm Stärke ergaben unter mikroskopischer Betrachtung auch für kleinere Zellen (> 1000 $\mu m^{2)}$ bessere Ergebnisse. Die von uns angeschliffenen Holzkerne wurden mit 2400 dpi eingescannt und ohne diese Technik der Kontrasterhöhung bearbeitet. Zusätzlich lassen die Größenangaben zu Ahornzellen (Tab. 2) davon ausgehen, dass Zellen > 1000 μm^2 zu selten vorkommen, um darauf eine Jahrringanalyse aufzubauen. Obwohl unser Scanner mit einer besseren Auflösung gearbeitet hat als der von Fonti verwendete, muss davon ausgegangen werden, dass der bessere Kontrast und die Zellgröße den Ausschlag gegeben haben. Mit Dünnschnitten und mikroskopischer Vergrößerung können deutlich schärfere Bilder erzielt werden, sodass auch kleinere Zellen von Fonti (2009) erkannt werden konnten.

Apple berichtet 1986, dass eine Blockanalyse mittels Messtisch an Kernen von städtischem *Acer pseudoplatanus* zu keinem brauchbaren Ergebnis führte. Diese Aussage wird durch vorliegende Studie an Wiener Stadtbäumen eindeutig bestätigt.
Es ist zu erwarten, dass die Ahornproben mithilfe von Dünnschnitttechniken und Stereolupe oder sogar Mikroskop, wenn auch unter entsprechendem Zeitaufwand, mit einem besseren Ergebnis zu analysieren sind. Der damit verbundene Zeitaufwand ließ eine derartige Analyse in vorliegender Arbeit nicht zu.

4.8 Röntgenenergiedispersive Elementanalyse an Holzproben

Eine kleine Vorstudie zur Detektion von Jahrringen, insbesondere in Hinblick auf durch Streusalz belastete Jahre, entsprechend dem ursprünglichen Ziel dieser Studie, mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) und einem EDAX-Sensor führte zu interessanten Ergebnissen, die jedoch nur als Hinweise auf gewisse Zusammenhänge gelten können. Gefunden wurden unterschiedliche Verteilungsmuster von Chlorid im Holz, sowohl in belastetem als auch unbelastetem Material, die jedoch nicht mit Sicherheit auf Jahrringe oder sogar Zuwachsbereiche innerhalb eines Jahrringes bezogen werden können. Verbesserte Markierungen der mit Hilfe der hier beschriebenen optischen Analyse aufgefundenen Jahrringe auf den Probenstücken und eine deutlich höhere Probenzahl könnten hier gute Ergebnisse bringen. Dabei könnten gefundene Jahrringe bestätigt und möglicherweise auch einige die Entstehung beeinflussende Variable, wie Wetter oder chemische Bodenbelastungen, identifiziert werden. Eine Variabilität von Elementen und ihre Analysierbarkeit im Holz, aber auch deren Verlagerung, ist für *Acer platanoides* bereits bestätigt worden (Sieghardt 1994).

Wiederholte Messungen derselben Stelle (Abb. 30) bringen allerdings keine reproduzierbaren Ergebnisse. Dies liegt möglicherweise daran, dass die Verdampfungsstelle sehr klein ist, sodass die Gefahr besteht, dass bei den Wiederholungsmessungen nicht der völlig identische Abschnitt des Bohrkerns erfasst wird. Wahrscheinlich ist auch, dass die einzelnen Elemente aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften verschieden ausdampfen. Es scheint ratsam für wiederholte Messungen die Probepunkte in direkter Nachbarschaft zu wählen. Dabei sollte soweit möglich beachtet werden, dass es sich um Stellen derselben Bildungszeit handelt, also Stellen, die einen ähnlichen Abstand zur Jahrringgrenze aufweisen. Der Grenzabstand muss sich dabei am Verlauf der Holzstrahlen, als Richtung des Dickenwachstums orientieren.

5 Empfehlungen

5.0.1 Zur Dendrochronologie in der Stadt:

Es empfiehlt sich bei der Probennahme, nicht nur den Baum und seinen Standort zu protokollieren, sondern auch die Himmelsrichtung und Neigung der Straße. Für jeden gezogenen Bohrkern sollte ebenfalls die Himmelrichtung vermerkt werden (Draxler 2009), außerdem sollte im Fall der Spannrückigkeit (Abb. 31) nur auf Spannholz, also den stärkeren Stammteilen gebohrt werden, da dort eine vollständige Ausbildung der Jahrringe erwartet werden kann (Grabner 2011).

Für die Interpretation der gewonnen Jahrringkurven ist entsprechendes Wissen um die historische Entwicklung der jeweiligen Straßen (Baustellen, Bodensanierungsmaßnahmen, Baumpflege) sowie für das Klima innerhalb des Untersuchungszeitraumes unerlässlich, insbesondere bei der Abschätzung möglicher fehlender Jahrringe. Dieses Wissen hilft auch die Zuverlässigkeit der Jahrringmessungen zu beurteilen und Artefakte als solche zu erkennen.

Erfahrung im Probenziehen von Holzkernen, auch an der entsprechenden Baumart (Hartholz verhält sich anders an Weichholz), bringt deutlich bessere Kerne hervor. Insbesondere ist ein geringeres Brechen bzw. Zerreißen der Kerne und ein Minimum an verdrehten Holzpartien zu erwarten. Es hat sich sehr bewährt, für die Probennahme einen neuen Zuwachsbohrer zu verwenden. Bei Problembäumen empfiehlt es sich generell Baumscheiben als Proben zu verwenden, was natürlich den Tod des betroffenen Baumes bedeutet oder frisch abgestorbene Bäume notwendig macht.

5.0.2 Zu Ahorn: welche methodischen Erweiterungen wären noch möglich - doch Färbungen?

Für Ahorn erscheint eine möglichst perfekte Probennahme und Vorbereitung als notwendig. Das korrekte Zusammensetzen von zerbrochenen Kernen vor der Analyse ist wichtig, da die spätere Messung der Jahrringe durch die Probleme der korrekten Detektion keine sichere Reihung der Bruchstücke zulässt. Zum Zusammensetzen ist neben der Bruchkante auch das Beachten der Faserrichtung, die in Richtung der Betrachtungsebene zeigen muss, ein wichtiger Anhaltspunkt. Eine Methode zum Färben der lebenden Faserzellen im Holz könnte entscheidende Erleichterungen bringen.

Für eine möglichst zuverlässige Jahrringanalyse sind für beide Methoden bildgebende Verfahren mit entsprechender Auflösung (Scanner mit passenden dpi - Werten bzw. mikroskopische Vergrößerung) und Objektträger für das parallele Betrachten aller Keren eines Baumes notwendig. Eine einfache Vergleichsmöglichkeit während der Analyse, direkt am Holz, durch entsprechende Markierungen sollte für beide Methoden sichergestellt sein. Unbedingte Voraussetzung für das Arbeiten am Flachbildschirm sind gleichbleibende Lichtverhältnisse, da unserer Erfahrung nach ein deutlicher Einfluss des Umgebungslichtes, des Einstrahlwinkels und der Lichtqualität auf die Bildwahrnehmung zu beobachten ist. Als sehr hilfreich hat sich schließlich erwiesen, wenn der Kern direkt analysiert und vermessen wird, wie das bei der „Mikroskopie - Methode“ am Messtisch gegenüber der „digitalen Methode“ der Fall ist, da Unsicherheiten sofort überprüft werden können.



Abb. 31: Bild eines Holzstumpfes mit ausgeprägter Spannrückigkeit. Die unter dem Straßenniveau liegende mit einem Gitter abgeschlossene Baumscheibe ist typisch für den Wiener Haltestellenbereich. Ort: Wiener Burgring, Station Volkstheater. (Aufnahme 18.5.2011)

6 ABSTRACT

Dendrochronological analysis problems in urban trees of the species *Acer pseudoplatanus* and *Acer platanoides*

This study presents the basis for further approaches to the dendrochronological analysis of *Acer* trees. Based on the dendrochronological analysis of selected Viennese *Acer pseudoplatanus* and *A. platanoides* individuals we illustrate analytical problems and discuss different approaches to possible analysis and interpretation.

We focus on the comparison of a digital pc-scanner-based image analysis versus the analysis by microscope and measuring table for obtaining a dendrochronological time series. We prove that any dendrochronological analysis (annual ring interpretation) is generally difficult for the investigated species, due to the brightly coloured wood with its low contrast. The recurring lack of annual rings, a characteristic of diffuse-porous wood, especially of the species discussed, reinforced through the location of the city with numerous special micro-climatic factors such as icing salt, road works or traffic load, leads to a further deterioration of the analysis options. The measuring table method proved more appropriate, as the alternative scanner method coupled with further analysis on a flat screen has lead to remaining uncertainties due to the low quality screen-display – thus a replicable evaluation is no longer possible. Even the measuring table method, though more approved by others, showed some serious problems in terms of interpretation. The comparison of the data was obtained by "Gleichläufikeitsrechnungen" based on the analysis of the same samples, using both methods.

The methods were optical screeed by kurve-fitting and in addition by "Gleichläufigkeitswerte".

A script in the statistics program R was used to eliminate variability by human influence. The microscopic analysis was extended by manual, comparative curve analysis using the program Tsap.

To improve dealing with *Acer* in the dendrochronological analyses different stainings were used.

In respect to the primary but discarded aim of showing the influence of sodiumchloride as a deicing-salt elemental analysis using EDAX was proven.

This thesis was part of a project funded by the city council of Vienna.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Dendrochronologische Analyseprobleme an Stadtbäumen der Arten *Acer pseudoplatanus* und *Acer platanoides*

Anhand ausgewählter Wiener *Acer pseudoplatanus* und *A. platanoides* Individuen wurde die Problematik dieser Baumarten in Hinblick auf eine dendrochronologische Analyse aufgezeigt, und unterschiedliche Ansätze an Analysemethoden wurden kritisch bearbeitet.

Kernbereich der Arbeit ist der Vergleich einer digitalen PC-Scanner-basierten Bildanalyse mit der etablierten Methode mittels Messmikroskop und Messtisch zur Gewinnung dendrochnologischer Reihen. Es zeigt sich, dass, bedingt durch das helle und kontrastarme Ahornholz, die dendrochronologische Analyse (Jahrring-Analyse) generell problematisch ist. Häufiges Fehlen von Jahrringen, eine Eigenheit zerstreutporiger Hölzer, besonders der behandelten Arten, die durch den Standort Stadt verstärkt wird, der sich durch zahlreiche mikroklimatische Sonderfaktoren so wie durdch Streusalzeinwirkung, Baustellen- oder Verkehrsbelastung auszeichnet, erschwert weiters die Analyse. Der Einsatz eines Scanners, gekoppelt mit der Analyse auf einem Flachbildschirm, führte aufgrund mangelhafter Bildschirmdarstellung zu Unsicherheiten in der Definition der Jahrringe. Daher erwies sich die mikroskopische Analyse als die relativ sicherere Analysemethode. Auch hier war die geschilderte Problematik präsent. Doch war es möglich zumindest subjektiv, für die verwendete Methode ein relevanter Vorteil, zu sichereren Messbildern zu kommen.

Der Vergleich der mit beiden Analysemethoden bearbeiteten Baumkerne wurde neben dem optischen Eindruck mit Gleichläufigkeitsrechnungen durchgeführt. Um subjektive Einflüsse zu vermeiden, wurden die Berechnungen zusätzlich mit Hilfe eines automatisierten Skriptes im Statistikprogramm „R“ durchgeführt.

Versuche, mit dem kontrastarmen Ahornholz bessere Ergebnisse zu erzielen, führten zum Austesten unterschiedlicher Färbungen. Das ursprüngliche Ziel der Arbeit, das Auftausalz Natriumchlorid als Problem für Stadtbäume rückwirkend für vergangene Saisonen mittels dendrochronologischer Methoden darzustellen, legte ferner eine Elementanalyse mittels EDAX am Rasterelektronenmikroskop nahe.

Die Arbeit ist Teil eines von der Stadt Wien geförderten Projektes.

8 ANHANG

8.0.1 Parse rubi

Programmcode Parse zur Transformation der in den Programmen von Tsap gewonnen Daten in Tabellen (Gros 2010). Diese Tabellen können mit dem R-Skript (Pennings 2010) zur automatisiertetn Erstellung von Alignments verwendet werden.

```
#iFName =      "/home/andi/documents/uni/trees/vp.fh"

        iFName = gets.chomp!
        infile = File.new(iFName , "r")

        keycodes = []
 maxnumdata = -1
        counter = -1
        numdata = 0
        foundcode = 0
 while (line = infile.gets)
    if line =~ /KeyCode=(\w+-\d+)/
                                keycodes[counter] = [$1]
                                puts $1
                                foundcode = 1
    end
    if line =~ /DATA:Tree/
                                numdata = 1
                        end
                        if line =~ /HEADER/
                                foundcode = 0
                                numdata = 0
                                counter = counter + 1
                        end
```

```
                    if (foundcode == 1) and (numdata >= 1) and not (line =~ /DATA/)
                        dat = line.split(" ")
                        for i in dat
                            keycodes[counter][numdata] = i
                            numdata = numdata + 1
                        end
                        if numdata > maxnumdata
                            maxnumdata = numdata
                        end
                    end
end
infile.close

    outfile = File.new("data.dat", "w")

    for j in 0..counter
        outfile.print(keycodes[j][0] + "\t")
    end
    outfile.print("\n")

    for i in (maxnumdata-1).downto(1)
        for j in 0..counter
            if keycodes[j][i].to_i > 0
                outfile.print(keycodes[j][i] + "\t")
            else
                outfile.print("0\t")
            end
        end
        outfile.print("\n")
    end

    outfile.close
```

8.0.2 R

Programmcode des R-Skripts zur Analyse der Messdaten automatisierten bilden von Alignments und berechnen deren Gleichläufigkeiten (Pennings 2010) Zur Erhöhung der Passgenauigkeit kann das Programm Nulljahre (mit einem Wert von 0,1mm) einfügen. Der Code wird in R (R Development Core Team 2010) ausgeführt.

```
read.table("data_rev.dat",header=TRUE)->alldata
treenumber=79
#in which columns is the 5th and 6th character of the column name equal to the treenumber?
columns_needed<-which(substr(names(alldata),5,6)==treenumber)
alldata[,columns_needed[1]]->tree_1
alldata[,columns_needed[2]]->tree_2
alldata[,columns_needed[3]]->tree_3
#remove the zeros at the end of the kern
tree_1<-tree_1[which(tree_1!=0)]
tree_2<-tree_2[which(tree_2!=0)]
tree_3<-tree_3[which(tree_3!=0)]
#make sure that all three kerne are of the same length (which means adding zeros at the end of
the shorter kerne)
maxlength<-max(length(tree_1),length(tree_2),length(tree_3))
while (maxlength>length(tree_1)){
        tree_1<-append(tree_1,0)}
while (maxlength>length(tree_2)){
        tree_2<-append(tree_2,0)}
while (maxlength>length(tree_3)){
        tree_3<-append(tree_3,0)}

#normalize, so that they vary around there own mean, this is not an important step, but it makes
the plots nicer.
tree_1_nor<-tree_1/(mean(tree_1[1:30]))
tree_2_nor<-tree_2/(mean(tree_2[1:30]))
tree_3_nor<-tree_3/(mean(tree_3[1:30]))
```

```
#this is the function to calculate the gleichläufigkeits score for the three kerne
deltax<-c(0,0,0)
get_gl_score_3trees<-function(arr1,arr2,arr3){
	tree_gl<-array(0,length(arr1))
for (i in 1:(length(arr1)-1)){
	deltax<-c(arr1[i+1]-arr1[i], arr2[i+1]-arr2[i], arr3[i+1]-arr3[i])
	gl=0
	for(j in 1:2){
		for (k in 2:3){
			if (k>j){
				gl=0
				if (deltax[j]<0 & abs(deltax[k])<0.05){gl=0.5}
				if (abs(deltax[j])<0.05 & deltax[k]<0){gl=0.5}
				if (deltax[j]>0 & abs(deltax[k])<0.05){gl=0.5}
				if (abs(deltax[j])<0.05 & deltax[k]>0){gl=0.5}
				if (deltax[j]>0 & deltax[k]>0){gl=1}
				if (deltax[j]<0 & deltax[k]<0){gl=1}
				if (abs(deltax[j] - deltax[k])<0.05){gl=1}
				if (deltax[j]==0 & deltax[k] ==0){gl=0}
				tree_gl[i]=tree_gl[i]+gl
			}
		}
	}
}
return(0.5*(tree_gl-1))
}

#plot original alignment
filename_before=paste("tree",treenumber,".png",sep="")
png(filename_before,width=600,height=800)
par(mfrow=c(2,1))
plot(tree_1_nor+0.1,xlim=c(1,70),type="b",main="tree as it was",log="y",ylim=c(0.1,7))
```

```
points(tree_3_nor+0.1,type="b",col="blue")
points(tree_2_nor+0.1,type="b",col="red")
points(get_gl_score_3trees(tree_1_nor,tree_2_nor,tree_3_nor)+5,type="l",col="green")
text(60,2,paste("score ",round(mean(get_gl_score_3trees(tree_1_nor,tree_2_nor,tree_3_nor)),2)))


#optimize with score based on gleichläufigkeit
#it does a new round of optimization as long as it can find a better alignment by inserting a gap of length 1, 2, or 3. it is a hillclimbing algorithm, it could get stuck in local maxima.
scores<-array(0,c(maxlength+200,3,3))
score=0
score_new=0.2
while (score_new>score){
	for (row in 1:length(tree_1_nor)){
		for (gaplength in 1:3){
			kern1<-append(tree_1_nor,array(0,gaplength),after=(row-1))
			kern2<-append(tree_2_nor,array(0,gaplength))
			kern3<-append(tree_3_nor,array(0,gaplength))
			scores[row,gaplength,1]=mean(get_gl_score_3trees(kern1,kern2,kern3))
		}
	}
	for (row in 1:length(tree_1_nor)){
		for (gaplength in 1:3){
			kern1<-append(tree_2_nor,array(0,gaplength),after=row-1)
			kern2<-append(tree_1_nor,array(0,gaplength))
			kern3<-append(tree_3_nor,array(0,gaplength))
			scores[row,gaplength,2]=mean(get_gl_score_3trees(kern1,kern2,kern3))
		}
	}
	for (row in 1:length(tree_1_nor)){
		for (gaplength in 1:3){
			kern1<-append(tree_3_nor,array(0,gaplength),after=row-1)
```

```
                kern2<-append(tree_1_nor,array(0,gaplength))
                kern3<-append(tree_2_nor,array(0,gaplength))
                scores[row,gaplength,3]=mean(get_gl_score_3trees(kern1,kern2,kern3))
            }
        }
        if (max(scores)>score_new){#should be larger than
            r=which(scores==max(scores),arr.ind=T)[1,1]
            g=which(scores==max(scores),arr.ind=T)[1,2]
            if (which(scores==max(scores),arr.ind=T)[1,3]==1){
                tree_1_nor<-append(tree_1_nor,array(0,g),after=(r-1))
                tree_2_nor<-append(tree_2_nor,array(0,g))
                tree_3_nor<-append(tree_3_nor,array(0,g))}
            if (which(scores==max(scores),arr.ind=T)[1,3]==2){
                tree_2_nor<-append(tree_2_nor,array(0,g),after=(r-1))
                tree_1_nor<-append(tree_1_nor,array(0,g))
                tree_3_nor<-append(tree_3_nor,array(0,g))}
            if (which(scores==max(scores),arr.ind=T)[1,3]==3){
                tree_3_nor<-append(tree_3_nor,array(0,g),after=(r-1))
                tree_2_nor<-append(tree_2_nor,array(0,g))
                tree_1_nor<-append(tree_1_nor,array(0,g))}
            score<-score_new
            score_new=mean(get_gl_score_3trees(tree_1_nor,tree_2_nor,tree_3_nor))
            print(paste("score ",score_new))
        }
        else{
            print("it doesnt get better")
            score_new=0}
}

#plot the improved alignment
plot(tree_1_nor+0.1,xlim=c(1,70),type="b",main="tree after alignment",log="y",ylim=c(0.1,7))
points(tree_3_nor+0.1,type="b",col="blue")
```

```
points(tree_2_nor+0.1,type="b",col="red")
points(get_gl_score_3trees(tree_1_nor,tree_2_nor,tree_3_nor)+5,type="l",col="green")
text(60,2,paste("score ",round(mean(get_gl_score_3trees(tree_1_nor,tree_2_nor,tree_3_nor)),2)))
dev.off()
```

8.0.3 Wiener Baumkataster



Abb. 32: Standorte der untersuchten Bäume im Wiener Baumkataster/ Stadtplan Wien am Beispiel der Oberzellergasse. Die Größe und Farbe der Baumkreise zeigt den Kronenumfang an. Die Karte wurde um die Beschriftungen erweitert (ViennaGIS 2013).

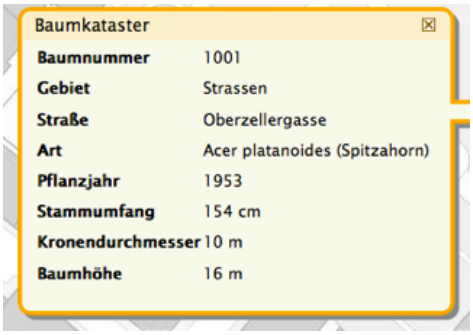


Abb. 33: Informationskarte des Wiener Baumkataster (ViennaGIS 2013).

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

„Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.“

Abb. 1: Durch Urin geschädigter Stamm eines *Acer platanoides* der Heinestraße (Albert 2007). Ähnliche Schadmuster sind besonders am Gürtel aufgefallen (Aufnahme 11.8.2005).

Abb. 2: Gesellschaftsanschluss von Bergahorn, Spitzahorn und Feldahorn unter natürlichen Bedingungen (Lang 2010).

Abb. 3: Typische Gefäßanordnung ringporiger Hölzern (Eiche) verglichen mit zerstreutporigen (Pappel); aus Bossard (1982). Die Wuchsrichtung auf dem Bild geht von unten nach oben.

Abb. 4: Jahrringschema von *Acer campestre*; an den horizontalen Ringgrenzen und um die Gefäße (weiße Blasen) sind lebende Libriformfasern eingezeichnet (weiß gepunktet). Die geraden weißen vertikalen Bahnen symbolisieren Holzstrahlen. Die Pfeile markieren von Gefäßen durchbrochene Jahrringgrenzen (verändert nach Hoppe 2001).

Abb. 5: Anordnung der Wasserleitsysteme bei unterschiedlicher Holzanatomie. Die Wasserleitung erfolgt im Nadelholz durch Tracheiden, im Laubholz durch Gefäße. Die horizontalen schwarzen Linien markieren Jahrringgrenzen (Bossard 1982). Der dunkle Teil der Jahrringe kennzeichnet das dichtere, optisch oft dunklere Spätholz.

Abb. 6: Mikroskopische Bilder von *Acer pseudoplatanus* mit der für diesen Holztyp charakteristischen, relativ gleichmäßigen Zellverteilung. Zu bemerken sind Regionen hoher bzw. geringer Dichte. (a) zeigt in einem vertikalen Dünnschnitt drei Holzstrahlen (Xr) und normal dazu eine Jahrringgrenze (orange Pfeile von unten). Dabei ist zu erkennen, dass bei dieser Art die Jahringgrenze in dieser Region nicht nur aus dem durch die Holzstrahlen durchbrochenen Stützgewebe besteht, sondern auch Gefäße aufweist (orange Pfeile von oben); (b) mit dem Schimmelpilz *Xylaria longipes* für 18 Wochen inkubiertes Holz. Das Interzellularen beinhaltende Holz (schwarze Pfeile) abseits der Gefäße weist Degradierungen auf (nach Schwarze 2008).

Abb. 7: Mikroskopische Bilder von Holzquerschnitten der Art *Acer pseudoplatanus*. (a) zeigt einen ungestressten Baum, (b-d) zeigt Holzbildungen unter gestressten Bedingungen mit leicht verzogenen Holzstrahlen. Im Fall von (b) sind Dichteschwankungen zu erkennen wie sie in der Blockanalyse als falsche Jahrringe auffallen können, (c) schmaler Jahrring, bei (d) markiert der schwarze Pfeil einen auskeilenden Jahrring (Schöne 1999).

Abb. 8: (a) Oberzellergasse Blick Richtung Landstraße. Deutlich ist der belastete Baum unter der Garagenausfahrt OZ55 an der schütteren Krone zu erkennen. (b) Situation am Schottenring abseits der Haltestelle, am Beispiel von SR31. Die Bäume wachsen in baulich abgegrenzten Grünstreifen. (c) Gesunder Baum im Votivpark. VP74 zeigt Baumpflegemaßnahmen und nicht nekrotische Blätter. (Aufnahmen 14.August 2013)

Abb. 9: Errichtung des Wohnparkes Rennweg auf dem Grund der Rennwegkaserne in Wien Landstraße. Bauzeit: 08 1991 – 11 1994. Für diese Zeit kann mit Störungen durch Bautätigkeit im unmittelbaren Bereich der Bäume in der Oberzellergasse gerechnet werden, da diese das Areal der neu errichteten Gebäude sowie einer Tiefgarage unmittelbar begrenzt hatten (ARWAG 2012).

Abb. 10: Das Alignment zweier Holzkerne, gebildet durch den Vergleich der in den Kernen gefundenen Jahrringe. Die Zahlen markieren das Bildungsjahr des Jahrrings. Sicherheit über die zeitliche Zuordnung wird durch ähnliche Zuwachsfolgen in beiden Kernen erhalten. Im Optimalfall werden, gestützt durch andere Beobachtungen, v.a. durch Klimadaten, für bestimmte Jahressequenzen ähnliche Zuwachsmuster identifiziert. Gibt es besonders auffällige Jahre, werden diese als Zeigerjahre bezeichnet, im Bild das Jahr 2000. Abbildung von Margarete Watzka.

Abb. 11: Die 0,1% Fehlerwahrscheinlichkeit bei Alignments als Funktion der Überlappungslänge in Jahren und des Gleichläufigkeitswertes (Dendrochronologie - Labor der Universität für Bodenkultur Wien (Grabner nach Eckstein 1969)).

Abb. 12: Zu sehen sind die automatischen Alignments mittels R für die Daten der digitalen- und der Mikroskopie - Methode von VP75. Der Index gibt die Zahl der gefundenen Jahresringe an, der Score den Gleichläufigkeitswert für die 3 Bohrkerne. Die Grüne Linie oberhalb der Jahrringkurven zeigt die Passung der Datenpunkte zueinander. Dabei wird die Gleichläufigkeit der Veränderung der Werte angezeigt. Eine gleichförmige Steigung im Sinne von Zu- oder Abnahme gegenüber dem vorhergegangenen Datenpunkt erhöht die Linie. Die Höhe der Linie berechnet sich aus dem Vergleich der Einzelkurven zueinander. Die höchsten Werte zeigen eine gleichförmige Entwicklung aller drei Jahrringkurven bezogen auf den jeweiligen Vorjahreswert an. Die oberen Graphen zeigen die Rohdaten ohne Alignment, die unteren wurden durch Einfügen von Datenpunkten mit dem Wert 0,1 aneinander angeglichen.

Abb. 13: Scannerbild des Kerns A222., ein wenig belasteter Ahorn aus Wien. Oben ist der gesamte Bohrkern zu sehen. Das untere Bild zeigt die Vergrößerung der mittels Pfeil hervorgehobenen Stelle, überlagert durch zwei Übersichtsbilder (linkes Bild A222b, rechtes A222a) aus der elektronenmikroskopischen Elementanalyse mittels EDAX. (x) kennzeichnet einen Messpunkt dieser Analyse. Die Messpunkte sind mittels Buchstaben (c-m) benannt. Es ist zu erkennen, wie die Messpunkte am Kern verortet werden können.

Abb. 14: Chloridmessung an einer definierten Messstrecke an der Linde L222 (gelbe Linie). Durch das Überlagern des Scannerbildes mit den Übersichtsbildern (Einzelmesspunkten, grün (x)) der EDAX-Analyse, des Bildes der Chloridmessstrecke (gelb) und der relativen Chloridhäufigkeit (blaue Kurve) ergibt sich ein verortbares Analysebild für eine etwa 1cm große Stelle des Bohrkerns. Benennungen der Messpunkte e – o. Die gelbe Line zeigt den Ort der Messstrecke an.

Abb. 15: Notaustrieb (Pfeile) an zwei stark belasteten Bäumen im Haltestellenbereich Wipplingerstraße am Schottenring in Wien. Bild (a) zeigt die Linde 3037, Bild (b) den Spitzahorn 2037. Die Benennung der Bäume erfolgt nach dem Wiener Baumkataster (ViennaGIS 2013). Die Fotos zeigen den Zustand der Kronen am 14.August 2013.

Abb. 16: Verheilte Bohrlöcher (Pfeile) der Holzkernprobennahme von 2005 (a, b); rechts (c) ein Baum der Oberzellergasse mit nistenden Ameisen im Stamm. (a) zeigt den Spitzahorn SR21, (b) den Spitzahorn SR25. In Bild (a) ist ein nur mehr durch das Vorhandensein des aufgebrachten Baumbalsams als Wundverschluss erkennbares Bohrloch fotografiert. In Bild (b) ist eine Vertiefung an der Stelle des Bohrloches zu sehen, die von einer Spinne als Wohnhöhle genutzt wird. Bei beiden Bäumen ist zu sehen, dass Borke als Abschlussgewebe an der Stelle der ehemaligen Bohrlöcher ausgebildet wurde, die Rinde also regenerieren konnte. Bild (c) zeigt den Spitzahorn OZ58 mit einem Ameisennest unterhalb eines im Rahmen der Baumpflege entfernten Hauptastes. Die Verletzung, die zur Nestbildung führte geht vermutlich nicht auf die Probenentnahme von 2005 zurück. Damals war das Nest im Baum noch nicht ersichtlich. Die Fotos sind im August 2013 entstanden.

Abb. 17: Die Kurven der drei Kerne des Spitzahornes SR30, gewonnen mittels digitaler Messmethode. Der Versuch der Alignmenterstellung erfolgte unter Verwendung von Excel.

Abb. 18: Relativer Zuwachs des Baumes SP64 während der letzten 20 Jahre, dokumentiert an den drei Einzelkernen; 1 = letzter erkennbarer, an das Phloem angrenzender Jahresring; 20 = erster gemessener Jahresring; ausgehend von Jahrring 20 wurde jeweils nur der veränderte Zuwachs gegenüber dem Vorjahr aufgetragen: +1 = Zuwachs >0,05 mm, 0 = gleichbleibender Zuwachs von ±0,05 mm, -1 = Zuwachs <-0,05 mm; Man erkennt am nicht kongruenten Verlauf der drei Jahreskurven, dass entweder das Dickenwachstum des Stammes in den drei erfassten Raumrichtungen sehr ungleichmäßig verlaufen ist, oder dass die Zuordnung der Jahresringe zu konkreten Jahren aufgrund der in der Methode beschriebenen Schwierigkeiten nicht möglich war.

Abb. 19: Vergleichende Ergebnisse der Mehrfachmessungen im Rahmen des Qualitätsmanagements. Die drei Bohrkerne (jeder Kern in einer eigenen Spalte aufgetragen) pro Baum mit jeweils drei Messwiederholungen (Kreise) sind nebeneinander aufgetragen. In Umrandung sind die Messergebnisse der Kerne 1 – 3 eines Baumes dargestellt. Dickere Kreise markieren das Auffinden derselben Ringanzahl bei zwei (kurze Pfeile: SR24, SR26, SR22, SR23) bzw. allen drei (lange Pfeile: SR21, SR23) Messungen der Probe.

Abb. 20: Ausschnitt aus der wiederholten Messung der drei Bohrkerne des Spitzahornes SR30. Die 3 Messereignisse (A1 grün, A2 blau, A3 magenta) wurden zur Demonstration übereinander gelegt. (x) markiert jeden 10. gefundenen Jahrring der Analyse A1. Auffällig ist die unterschiedliche Interpretation der Jahrringgrenzen und mitunter auch der an den Holzstrahlen orientierten Messrichtung; die Abweichungen sind besonders deutlich im mittleren Kern bei A3 zu erkennen.

Abb. 21: Vergleich der Jahreszuwächse des Bohrkerns SR30-2 nach dreimaliger Durchführung (A1, A2, A3) der Analyseschritte (schleifen, scannen, vermessen).
Oben: absoluter Zuwachs pro Jahr; unten: additive Darstellungsweise.
Messpunkt 1 schließt an die Borke an. Die Messungen an den ersten 8 Messpunkten, dem jüngsten Teil des Bohrkernes, sind sehr ähnlich, danach bleibt das %Muster des Dickenwachstums zwar ähnlich, verteilt sich aber auf mehr Messpunkte (untere Grafik). Oben zeigt sich ein sehr unterschiedliches Bild des jeweils gemessenen Zuwachses (mm) zwischen zwei Stressringen (siehe Kap. 1.10). Es war nicht mit Sicherheit möglich, zwischen Artefakten, Stressringen und echten Jahresringen zu unterscheiden.

Abb. 22.: Versuch einer Standortschronologie für die Bäume der Oberzellergasse auf Basis der Daten der Messtischanalyse, angepasst mit Tsap 3.6. Die Grafik wurde mit Tsap Win erstellt. Die x-Achse beschreibt die Zeitlinie nach Jahren, die y-Achse den Zuwachs in einer 0,01mm Skala (Die y-Achse ist in Mikrometer gehalten. „10“ = 0,01 mm). Rechts befindet sich die Holzkante mit den jüngsten vermessenen Jahresringen.
Baummittelkurven der Bäume OZ55, OZ57, OZ58, OZ60 grau; Kollektivmittelkurve gelb.

Abb. 23: Standortschronologie für die Bäume der Oberzellergasse auf Basis der Daten der Messtischanalyse. Ausgehend von den Rohdaten wurden die hier endgültig verwendeten Daten ein weiteres Mal mit Tsap Win – Math graph bereinigt. Die x-Achse beschreibt die Zeitlinie nach Jahren, die y-Achse den Zuwachs in einer 0,01mm Skala (Die y-Achse ist in Mikrometer gehalten „10“ = 0,01 mm). Rechts befindet sich die Holzkante mit den jüngsten vermessenen Jahresringen.
Kollektivmittelkurve = grün, Baummittelkurven von OZ56 = gelb, OZ57, OZ58, OZ59, OZ60 = rot.

Abb. 24: Ausschnitte von Bohrkernen von Wiener Stadtbäumen der Gattung *Acer* am Schottenring im ungefärbten und gefärbten Zustand. Die Färbungen wurden als Blockfärbungen durchgeführt. Rote Marker weisen auf Stressringgrenzen hin.
Ungefärbte Bohrkerne (links; a, c, e, g, i, l, n) sind verschiedenen Färbungen (rechts) gegenübergestellt: b Gentianaviolett, d Astrablau, f Safranin, h Safranin und Safranin-Astrablau, k Kaffee, m Coca Cola nach dreimaligem Färben, o Kaffee nach zweimaligem Färben. Die Bilder wurden mit einer Digitalkamera durch eine Reichert Präparierlupe aufgenommen. a, b, e, f, i, k, l, m zeigen Holz von *Acer platanoides*, c, d, g, h, n, o von *Acer pseudoplatanus*.
Auffällig ist, dass durch die Blockfärbungen keine Verbesserung der Strukturerkennung erzielt werden konnte.

Abb. 25: Oben: Die Messübersicht für den wenig belasteten Ahorn A222. Die Punkte A222 h, i, k, l, m sind als übereinandergelegte Spektren dargestellt. Herausstechend sind die unterschiedlichen Werten für Chlorid (Cl) mit hohen Werten an den Punkten i (grün) und k (Magenta). Unten: EDAX-Kurve für den Messpunkt L111f (Linde). Die rote Kurve zeigt die gemessenen Werte. In Schwarz sind die den Elementen zugeordneten Peaks eingetragen. Die blaue Kurve stellt den Nullwert für die Berechnung der Peakflächen, also das verhältnismäßige Vorkommen der Elemente in der Probe dar.

Abb. 26: Übersichtsbilder zu A222 (links) und A221(mitte); der Messbalken zeigt jeweils 1 mm. In A221 sind Messpunkte eingetragen. Rechts: Detailbild eines Messpunktes (von A222), zu sehen sind zwei horizontal durch das Bild verlaufende Holzstrahlen und angeschnittene Tracheen.

Abb. 27: Spektren der Messpunkte b, c, d, e, f der stark belasteten Linde L221. Auffällig sind große Unterschiede der Peakhöhen für die einzelnen Messpunkte bei Natrium (Na) und Chlorid (Cl). Für Natrium zeigt Messpunkt c die größte Konzentration, für Chlorid wurde der höchste Peak bei Punkt f abgebildet.

Abb. 28: Chloridwerte an mehreren aufeinanderfolgenden Messpunkten innerhalb eines Ahornkernes A222 (a) und eines Lindenkernes L222 (b); Werte in Gewichtsprozent der Trockenmasse (Wt%) bzw. in Atomprozent (At%) der mit Kohlenstoff bedampften Proben. Die Unterschiede könnten auf Konzentrationsschwankungen im Jahrringverlauf mehrerer Jahre beruhen.

Abb. 29: Drei Parallelmessungen (h, a, b) am Messpunkt h des Bohrkerns L221. 1. Messung „h“, 2. Messung „ha“, 3. Messung „hb“. Durch das ungleiche Ausdampfen der Elemente bei der Messung ändern sich die Analysen - Verhältnisse. Es handelt sich um eine stark belastete Linde.

Abb. 30: Vergleich zweier Elementanalysen am selben Messpunkt mittels EDAX im Abstand von 30 Minuten. Es zeigt sich ein verändertes Messergebnis; die beiden Ionen des Kochsalzes Na^+ und Cl^- sind in beiden Messungen gut nachweisbar und sind einerseits in Prozent Trockenmasse (Wt%), andererseits als Atomprozent (At%) angegeben.

Abb. 31: Bild eines Holzstumpfes mit ausgeprägter Spannrückigkeit. Die unter dem Straßenniveau liegende mit einem Gitter abgeschlossene Baumscheibe ist typisch für den Wiener Haltestellenbereich. Ort: Wiener Burgring, Station Volkstheater. (Aufnahme 18.5.2011)

Abb. 32: Standorte der untersuchten Bäume im Wiener Baumkataster/ Stadtplan Wien am Beispiel der Oberzellergasse. Die Größe und Farbe der Baumkreise zeigt den Kronenumfang an. Die Karte wurde um die Beschriftungen erweitert (ViennaGIS 2013).

Abb. 33: Informationskarte des Wiener Baumkataster (ViennaGIS 2013).

10 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Die wichtigsten Zelltypen, ihr Anteil (%) im Holzkörper und ihr Durchmesser (µm) in *A. pseudoplatanus* (Wagenführ 2007, Lang 2010) und *A. platanoides* Gefäße (Hoffmann 2002).

Tab. 2: Zellweiten von *Acer pseudoplatanus* berechnet nach Werten von Wagenführ (2007). Querschnittsfläche A=r2*pi; Radius r=d/2; Durchmesser (d) nach Wagenführ.

Tab. 3: Anführen der Untersuchungsbäume im Wiener Baumkataster. Die Baumnummer wurde im Rahmen der Aufsammlung vergeben und direkt am Stamm vermerkt. Die Position gibt eine Beschreibung des Standortes wieder. Position 1 neben der Straße; 3-13 in der OZ von unten nach oben gezählte Bäume, besonders erwähnt wird der Standort an einer Tiefgaragenausfahrt. VK Votivkirche; OZ Oberzellergasse; SR Schottenring; VP Votivpark; SA Spitzahorn; BA Bergahorn; L Linde; Die Baumscheibe wird nach ihrer Erscheinung und der Lage zum Straßenniveau beschrieben. h hoch – erhaben zum Straßenniveau; t tief unterhalb des Straßenniveaus; e eben, auf Höhe des Straßenniveaus. Das Straßenniveau beschreibt den Ort der Enteisungsmittelausbringung. 2037 und 3037 Bäume mit Notaustrieb, nicht in der Studie untersucht. (Albert 2007 verändert)

Tab. 4: Die beprobten Bäume mit optischer Abschätzung (ohne Hilfsmittel bzw. mit Pflanzenlupe) der zu erwartenden Analysierbarkeit der Einzelkerne. Entscheidungsgrundlage sind Holzqualität, Passung der Bruchstücke zueinander, Sichtbarkeit (Kontrast) der Jahresringe oder auch auftretende Fäule. (Sto) Standort, (Probe) Baumindividuum, (Kern 1-3) Teilproben, (j) gute Analysierbarkeit, (n) schlechte Analysierbarkeit, (?) unsichere Abschätzung.

Tab. 5: Die wiederholte Durchführung der Schritte „Schleifen“, „Scannen“ und „Bildanalyse“ der Probenvorbereitung und Analyse von Bäumen am Schottenring (SR). Für jeden Baum wurden die 3 Parallelkerne 1; 2; 3 analysiert. Es wurden bei jeder Wiederholung die nachfolgenden Schritte bis zum Vergleich der Einzelkurven durchgeführt.

Tab. 6: Zusammensetzung der zur Holzblockfärbung verwendeten Färbemittel (nach Draxler, 2009)

Tab. 7: Belastungsabschätzung der für die Elementanalyse mittels EDAX verwendeten Baumproben. A (Ahorn) L (Linde). Die Belastungsabschätzung erfolgte mittels Baumkronenbild.

Tab. 8: Zuwachs: Berechnungen des Zuwachses von 2005 - 2013 der Bäume der Standorte Oberzellergasse (OZ), Schottenring (SR) und Votivpark (VP). Die Bäume im Votivpark sollten das ungestörteste Wachstumsverhalten zeigen. Bei den gemessenen Bäumen handelt es sich um Spitzahorn und Bergahorn und im VP auch um 3 Linden. In der Spalte „bereinigt“ sind als Ausreißer klassifizierte Ahorne und die Linden des VP ausgeschieden.

Tab. 9: Baumzuwachs, Stammdurchmesser sowie Jahr der Pflanzung der in der Studie verwendeten Bäume. Die Bäume 2037 und 3037 wurden 2013 als Beispiele für Notaustrieb in die Arbeit aufgenommen, aber nicht weiter untersucht, ihre Benennung entstammt dem Wiener Baumkataster. VP71 bis VP73 sind Linden, die im Rahmen der Studie aufgrund von Zeitmangel als Untersuchungsobjekte fallengelassen wurden, jedoch für die Zuwachsmessung 2005 bis 2013 verwendet wurden. Die Bäume des VP sind nicht im Wiener Baumkataster aufgeführt. OZ Oberzellergasse; SR Schottenring; VP Votivpark. Alle Angaben in Centimetern (Albert 2007 erweitert).

Tab. 10: Getauschte Bäume nach 2005 OZ Oberzellergasse; SR Schottenring. Das Jahr des Neubesatzes ist dem Wiener Baumkataster entnommen.

Tab. 11: Dickenveränderung der untersuchten Bäume zwischen 2005 (Albert 2007) und 2013 und die Messabweichung der Umfangmessungen 2013 (gemessene Werte minus Kataster) von den Angaben aus dem Baumkataster. OZ Oberzellergasse; SR Schottenring. Alle Angaben in (cm). „d“ – Delta, „r“ Radius, „BaumID“, Benennung der Bäume in der Studie.

Tab. 12: Abschätzung der Belastung der Bäume aufgrund von Blattnekrosen (% abgestorbene Blattteile) und der d13C – Werte im Bohrkern als Zeiger für Wasserverfügbarkeit (Leavitt, 1993; Lambers et al. 1998). Werte aus der Probenaufarbeitung Albert (2005). Zuwachs 2005 – 2013 gibt auffällig geringe Werte mittels „!“, positive Werte durch „+“ an.
„!!“ < 6cm Zuwachs; „!“ 6 - 10 cm „+“ >19 cm Zuwachs. OZ Oberzellergasse; SR Schottenring; VP Votivpark.; BA Bergahorn; SA Spitzahorn.

Tab. 13: Mehrfachmessungen (1, 2, 3) an ausgewählten Baumproben nach wiederholter Bearbeitung gemäß der beschriebenen digitalen Methode. Angeführt sind die gefundenen Jahrringe pro Kern (A1; A2; A3). „Anm“ zeigt die Position, ab welcher alle weiteren Schritte der Methode wiederholt wurden. (Bild: neuerliche Bildanalyse; Scan: neuerlicher Scan; Schliff: Oberflächenvorbereitung mit Schleifpapier).

Tab. 14: Ergebnis für die Bildung einer Kollektivmittelkurve für die Bäume der Oberzellergasse bearbeitet mit der Mikroskopie - Methode und deren Aufarbeitung mit Tsap 3.6.

Tab. 15: Die Bäume des Votivparks, vermessen mittels Mikroskopie - Methode. Score-Roh gibt die Gleichläufigkeit der Einzelkurven unbearbeitet an, Score-aligned gibt die Werte für die Gleichläufigkeit nach der automatisierten Zusammenfassung der Einzelkurven zur Baummittelkurve an. Die Überlappung gibt die Alignmentlänge der Baummittelkurve an. Eckstein (1969) verlangt für 0,1% Fehlerwahrscheinlichkeit höhere Gleichläufigkeitswerte als hier erreicht wurden (Berechnung R-Skript Pennings 2010).

Tab. 16: Gleichläufigkeitswerte und wahrscheinliches Alter der Bäume auf Basis der digitalen und der Mikroskopie - Methode unter Verwendung des R-Skriptes. Angeführt sind Werte der Rohdaten (Glk. Rohdaten) und der automatisiert aneinander angepassten Daten (Glk. berechnet) der Einzelkurven eines Baumes mittels Einfügung von 0-Zuwachsjahren. Die Gleichläufigkeiten (Glk.) für die ursprünglichen und angepassten Alignments werden angeben.

Tab. 17: Gleichläufigkeitswerte und Baumalter der Bäume aus Tab. 16 nach der digitalen- und Mikroskopie - Analyse. Die Rohdaten, Berechnung und alle Anpassungen wurden mittels R-Skript ermittelt. Jahresangaben sind kaufmännisch gerundet.

Tab. 18: Vergleich der Mittelwerte der Gleichläufigkeitsberechnung für Spitzahorne auf Basis der digitalen Methode und der Mikroskopie – Methode. Der Vergleich erfolgt automatisiert mit R-Skript (R) und manuell unter Verwendung von Tsap Win (Tsap). Die Mittelwertberechnung gesamt für Tsap Win gibt hierfür einen Mittelwert für die Spitz- und Bergahornbäume an. In der Berechnung sind die Bäume von Oberzellergasse, Schottenring und Votivpark beinhaltet.

Tab. 19: Zeigerjahre der Wiener Bäume, erkennbar durch einheitliches auffälliges Wuchsverhalten mehrerer Wiener Ahornbäume in spezifischen Jahren auf Basis der Bearbeitung mit Tsap Win und der Bearbeitung mit R (OZ: Oberzellergasse, VP: Votivpark, SR: Schottenring) im Vergleich zu Wetterwerten für Wien (Wetterstation Hohe Warte) und den Wetterdaten von Čejková und Kolář (2009) für tschechischen Nadelwald und Neuwirth (2005) mit seiner Analyse mehrerer Datensätze für Mitteleuropa (5° bis 15° E / 42.5° bis 52,5° N). Die Spalte „Gefunden in“ gibt an, welche Bearbeitung, Tsap Win, R (Tap 3.6) zur Auffindung des entsprechenden Jahresringes geführt hat, bzw. ob die dendrochronologischen Daten der Vergleichsbäume (Grabner 2009) für den Großraum Wien ebenfalls diese Zeigerjahre aufweisen. Mit Ausnahme der Jahre 1986 und 1984 finden sich alle Jahre sowohl bei Grabner als auch in der hier vorliegenden Studie.

Tab. 20: Gleichläufigkeitswerte für die untersuchten Spitzahorne auf Grundlage der mikroskopischen Analyse. Die Anpassung der Kurven erfolgte manuell in Tsap Win. Bei SR29, SR30 und SR31 konnten nur zwei Kerne für das Alignment herangezogen werden. Die schlechte Passung der Einzelkerne eines Individuums zueinander lässt auch die meist signifikanten Baummittelkurven unsicher erscheinen. (chrono) beschreibt eine Baummittelkurve, mean eine Mittelkurve aus den 2 angegebenen Kernen eines Baumes. 99,9% (***), 99% (**) und 95% (*) Vertrauenswürdigkeit nach Eckstein (1969).

Tab. 21: Gleichläufigkeitswerte der mikroskopischen Analyse für einige ausgewählten Bergahorne. Die Anpassung der Kurven erfolgte manuell mittels Tsap Win. (chrono) beschreibt eine Baummittelkurve, mean eine Mittelkurve aus den 2 angegebenen Kernen eines Baumes. 99,9% (***), 99% (**) und 95% (*) Vertrauenswürdigkeit nach Eckstein (1969).

Tab. 22: Mittlere Passung der Baumproben als Gleichläufigkeitswert zueinander und zur individuellen Baumchronologie. „Einzelproben eines Baumes“ gibt die durchschnittliche Passung der drei Holzkerne eines Baumes zueinander an. „Passung Baummittelkurve“: Mittelwert der Gleichläufigkeit der Einzelkurven aus den drei Proben eines Baumes und zur Baummittelkurve. Alle Alignments wurden aus der Bearbeitung mit Tsap Win gewonnen.

Tab. 23: Vergleich gefundener Minimalwerte an Jahreszuwachs bei den Baummittelkurven aus den Bearbeitungen der Daten der Mikroskopie - Methode mit Tsap Win, R (Tsap 3.6) und der Minimalwerte aus 3 Bäumen der Region, einer Kiefer aus Perchtoldsdorf, einer Rotbuche aus Ernstbrunn und Eiche aus dem Lainzer Tiergarten (Grabner 2009). Die Wetterdaten betreffen die Wetterstation an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte, Wien (ZAMG). Mittels Kästen zusammengefasst sind mögliche gemeinsame Ereignisse in angrenzenden Jahren.

Tab. 24: Die für der Färbeexperimente ausgewählten Bäume; verwendet wurde jeweils der Holzkern 1. SA = Spitzahorn, BA = Bergahorn; der durch Scannen ermittelte prozentuelle Anteil der Blätter an nekrotischem Gewebe (meist Randnekrosen) ist angegeben, ebenso der Salzgehalt der Blätter (mval/kg im lebenden Blatt), sowie das Cl^-:Na^+-Verhältnis (Albert 2007); die Qualität der geschliffenen Oberfläche der Holzkerne bezüglich der Jahrringerkennbarkeit ist angegeben, und auf die entsprechenden bildlichen Darstellungen in Abb. 24 ist hingewiesen.

11 LITERATURVERZEICHNIS

Abroff, M.D., Magelhaes, P.J., Ram, S.J. (2004): Image Processing with ImageJ. Biophotonics International 11, 7, 36-42.

Albert, R., Schestag-Schafellner, Ch., Trockner-di Costiglionle, V. (1989): Auswirkungen innerörtlicher Streßfaktoren auf baumphysiologische Parameter, Kali-Briefe (Büntehof) 19, 743-765.

Albert, R. (1993): Erfahrungen mit Alleebaumsanierungen in Wien – Experiences on improvement of street trees in Vienna, Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 45, 218-221.

Albert R., Sieghardt M., Wresowar M., Spadinger, K. und Hartl W.: Anwendungskriterien für den Einsatz von Kaliumkarbonat als alternatives Auftaumittel: Interdisziplinäre Studie zur ökologischen Verträglichkeit. Forschungsbericht im Auftrag der Stadt Wien, MA 48 (2000).

Albert, R. und Watzka, M. (2007): Endbericht zum Projekt „Erhebung der Streusalz- und Trockenbelastung von Alleebäumen in Wien“, Vorversion 2007, ein Projekt der Stadt Wien (MA22, MA42, MA48), unveröffentlicht.

Albert, R., Ranner, A., Spitzberger, F. (2010): Lebensraum Seewinkel, in „Naturjuwele im Burgenland – Steppen, Salz und Streuobstwiesen“, Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abteilung 7 – Landesmuseum, Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland (WAB): Eisenstadt (133), 126-156.

Alma, A. (2004): New entomological aspects and strategies of low environmental impact; International Congress on The Trees of History, Torino, April 1st - 2nd, 2004, 3-34.

Aniol, R.W. und Schmid, B. (1982): Chronology development and analysis, comment. in „Climate from Tree Rings,“ edited by M. K. Hughes, P. M. Kelly, J. R. Pilcher and V. C. LaMarche, Jr., Cambridge: Cambridge University Press, 30-31.

Apple, J.D. and Manion, P.D. (1986): Increment core analysis of declining norway maples, *Acer platanoides*; Urban Ecology 9, 309-321.

Asherin, L.A. and Mata, S.A. (2001): Basic Tree-Sample Preparation Techniques for Aging Aspen, USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-18, 347-351.

Arnold, W.M. and Andrews, M.K. (2004): Electrical Anisotropy in Wood, Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2004, 356-359.

ARWAG (2012): ARWAG – Reverenzen und Testimonials, 3.. Wohnpark Rennweg, www.arwag.at/ueber_ARWAG/Reverenz-Projekte/?offset=1, ARWAG Holding AG, 1030 Wien, Würtzlerstraße 15 23.7.2012.

Berger, R., und Ehrendorfer, F. (2011): Ökosystem Wien - Die Naturgeschichte einer Stadt, Wiener Umweltstudien, Band 2, Verlag: Böhlau: Wien

Bijak, Sz. (2008): Various factors influencing the pointer year analysis, in Elferts D., Brumelis G., Gärtner H., Helle G., Schleser G. (eds.), TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol. 6: Proceedings of the DENDROSYMPOSIUM 2007, May 3rd – 6th 2007, Riga, Latvia. GFZ Potsdam, Scientific Technical Report STR 08/05, Potsdam, 77 - 82.

Bollschweiler, M. and Stoffel, M. (2007): Debris flows on forested cones - reconstruction and comparison of frequencies in two catchments in Val Ferret, Switzerland, Laboratory of Dendrogeomorphology, Department of Geosciences, Geography, University of Fribourg published in Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 7, 207-218.

Bossard, H.H. (1982): Holzkunde 1, Mikroskopie und Makroskopie des Holzes, 2. überarb. Aufl. – Basel, Boston, Stuttgart: Birkhäuser.

Breuer H. (1992): dtv-Atlas zur Chemie - Tafeln und Texte, Band 1, Allgemeine und anorganische Chemie, 6. Auflage - München : Deutscher Taschenbuch Verlag.

Büntgen, U., Frank, D. C., Nievergelt, D., Esper, J. (2006): Summer Temperature Variations in the European Alps, A.D. 755–2004, journal of climate 19, 5606-5623.

Čejková A. and Kolář, T. (2009): Extreme radial growth reaction of Norway Spruce along an altitudinal gradient in the Šumava Mountains, Geochronometria 33, 41-47.

Cichocki, O. (2005): persönliche Auskunft; Universität Wien: Archäologisches Institut.

Deflorio, G., Hein, S., Fink, S., Spiecker, H., Schwarze, F.W.M.R. (2005): The application of wood decay fungi to enhance annual ring detection in three diffuse-porous hardwoods, Dendrochronologia 22, 123-130.

Deslauriers, A., Giovannelli, A., Rossi, S., Castro, G., Fragnelli, G., Traversi, M.L., (2009): *Intra-annual cambial activity* and *carbon availability* in *stem* of *poplar*, Tree Physiol 29, 1223-1235.

Devecchi, M. (2004): Evolution of treelandscaping in historical parks and gardens, International Congress on The Trees of History, Torino, April 1st - 2nd, 2004, 11-17.

Draxler, G. (2009), persönliche Auskunft, Universität Wien: Departement für molekulare Systembiologie.

Eckstein, D., Bauch, J. (1969): Beiträge zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagekraft, Forstw. Cbl. 88, 230-250.

Eckstein, D., Breyne, A., Aniol, R. W., Liese, W. (1981): Dendroklimatologische Untersuchungen zur Entwicklung von Straßenbäumen, Forstw. Cbl. 100, 381-396.

Eckstein D., Frisse E., Liese W. (1974): Holzanatomische Untersuchungen an umweltgeschädigten Strassenbäumen der Hamburger Innenstadt. Eur. J. For. Path. 4, 232-244.

Esper, J., Schweingruber, F.H., Winiger, M. (2002): 1300 years of climatic history for Western Central Asia inferred from tree-rings, The Holocene 12, 267.

Essl, F. und Rabitsch, W. (2002): Neobiota in Österreich, Umweltbundesamt, Wien.

Fischer, A.M., Oswald, K., Adler, W. (2008): Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol, 3. Aufl., Linz: Biologiezentrum der Oberösterr. Landesmuseen.

Fonti, P., Eilmann, B., García-González, I., von Arx, G. (2009): Expeditious building of ring-porous earlywood vessel chronologies without loosing signal information, Trees 23, 665-671.

Galeta, G. (2012): Historischer Rückblick der Rathauskorrespondenz, http://www.wien.gv.at/rk/historisch/1956/august.html, verantwortlich für diese Seite: Rathauskorrespondenz (Magistratsabteilung 53), wien.at: Magistrat der Stadt Wien, Rathaus, A-1082 Wien, 23.7. 2012

Gärtner, H. (2011): persönliche Auskunft (Mail); Swiss Federal Research Institute WSL

Landscape Dynamics / Dendroecology, 08.02.2011.

Goldstein, J.I. (1992): Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis: a text for biologists, materials scientists, and geologists; 2. ed., Plenum Press: New York

Grabherr; G. (1997): Farbatlas Ökosysteme der Erde: natürliche, naturnahe und künstliche Land-Ökosysteme aus geobotanischer Sicht, Stuttgart: Ulmer.

Grabner, M. (2008): Jahrringanalyse – Vorlesung mit Übung 2008W, persönliche Auskunft im Vortrag, Universität für Bodenkultur Wien: Institut für Holzforschung; 5. 12. 2008.

Michael Grabner (2009): *Fagus sylvatica*, *Quercus* sp., *Pinus* sp., Jahrringvergleichskurven für den wiener Raum; persönliche Auskunft, Universität für Bodenkultur Wien: Institut für Holzforschung, 15. 01. 2009.

Grabner, M. (2011); persönliche Auskunft, Universität für Bodenkultur Wien: Institut für Holzforschung, 01. 2011.

Gros, A. (2010): Parse-skript zur Datenformatkonvertierung aus dem Heidelberger .fh in .dat Spaltenformat, unveröffentlicht.

Gillner, S. (2012): Stadtbäume im Klimawandel – Dendrochronologische und physiologische Untersuchungen zur Identifikation der Trockenstressempfindlichkeit häufig verwendeter Stadtbaumarten in Dresden, Diss. Technische Universität Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften.

Gillner, S. (2012): Stadtbäume im Klimawandel – Dendrochronologische und physiologische Untersuchungen zur Identifikation der Trockenstressempfindlichkeit häufig verwendeter Stadtbaumarten in Dresden, Diss. Technische Universität Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften.

Grissino-Mayer, H.D. (2003): A manual and tutorial for the proper use of an increment borer, Tree-ring research 59(2), 63-79.

Grundmann, B.M., Bonn, S., Roloff, A. (2008): Cross-dating of highly sensitive Common beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring series with numerous missing rings, Dendrochronologia 26, 109–113.

Hartig, R. (1898): Die anatomischen Unterscheidungsmerkmale der wichtigsten in Deutschland wachsenden Hölzer, 4. Aufl., München: M. Rieger´sche Universitäts – Buchhandlung.

Hellrigl, K. (2006): Rasche Ausbreitung eingeschleppter Neobiota (Neozoen und Neophyten),

forest observer, vol. 2/3 2006, 349- 388.

Hoffmann, S. und Schweingruber, F.H. (2002): Light shortage as a modifying factor for growth dynamics and wood anatomy in young deciduous trees, IAWA Journal, Vol. 23, 121–141.

Höll, W. und Bauch, J. (1977): Die Jahrringanalyse – Ein Forschungsgebiet der angewandten Botanik, Naturw. Rdsch. 30, 1, 10-16.

Holmes, R.L. (1983): Research report: Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement, Tree-ring bulletin 43, 69-78.

Hoppe, J.R. (2001): Allgemeine Botanik – Das Holz Organisationsstufen des Holzes (nach Braun 1970), Institut für systematische Botanik und Ökologie Unversität Ulm, Ulm: 2001, 45-48.

Huber, B. und Prütz, G. (1938): Über den Anteil von Fasern, Gefäßen und Parenchym am Aufbau verschiedener Hölzer, Holz als Roh- und Werkstoff 10, 377-381.

Joy, D.C., Romig Jr., A., Goldstein, J. (1989): Principles of Analytical Electron Microscopy, Plenum Press: New York.

Klein, P. und Eckstein, D. (1988): Die Dendrochronologie und ihre Anwendung – Jahresring-Kalender umspannen nun Jahrtausende. Bauten, Instrumente und Kunstwerke lassen sich damit datieren, aber auch Wechselfälle von Witterung und Klima aufspüren – und frühere Umweltsünden, Spektrum der Wissenschaft 1988, 1, 56-72.

Knight, R.C. (1927): The relation in the apple between the development of young shoots and thickening of older stems. J. Pomol. 6, 72 - 77.

Leavitt S.W. (1993): Seasonal 13C/12C changes in tree rings: species and site coherence, and possible drought influence. Can. J. For. Res. 23, 210-218.

Lambers H., Stuart Chapin III F. and Pons T.L. (1998): Plant Physiological Ecology. Springer-Verlag New York.

Lang, U.M., Weisgerber, H., Rolof, A., Stimm. B. (2010): Bäume Mitteleuropas – Von Aspe bis Zirbel-Kiefer Mit Portraits aller Bäume des Jahres von 1989 bis 2010, Wiley-VCH.

Lorimer, C.G., Dahir, S. E., Singer,M. T. (1999): Frequency of partial and missing rings in *Acer saccharum* in relation to canopy position and growth rate, Plant Ecology143, 189–202.

Lück, H. (2004): Gerichtsstätten, Handwörterbuch zur deutschen Rechtsgeschichte Band 2, 2. Aufl., 9. Lfg., Sp. 174.

MA42 (2012): Wiener Ringstraße,

http://www.wien.gv.at/umwelt/parks/anlagen/ringstrasse.html, verantwortlich für diese Seite: Wiener Stadtgärten (Magistratsabteilung 42), wien.at: Magistrat der Stadt Wien, Rathaus, A-1082 Wien, 23.7.2012.

Marion, L., Gricˇar, J., Oven, P. (2007): Wood formation in urban Norway maple trees studied by the micro-coring method, Dendrochronologia 25, 97–102.

Martin, R.R., Sylvester, T., and Biesinger, M. (1994): Secondary ion mass spectroscopy (SIMS) in the analysis of elemental micropat-terns in tree rings, Can. J. For. Res. 24: 2312–2313.

Meyer, F.H. (Hrsg.) (1982): Bäume in der Stadt, 2. Aufl., Stuttgart:Ulmer Verlag.

Moser, J., Treml, E., Gütler, H. (2003): Warenkunde für Holzkaufleute, 3. überarbeitete Auflage, http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=394458&dstid=153#Download, 25.11.2011, Wirtschaftskammer Österreich

Müller W. (1941): Die Variabilität von Baum- und Fruchtwachstum bei Apfelbäumen und deren Bedeutung bei der Planung von Versuchen, Abhandlung der Eidgenossischen Technischen Hochschule Zürich, Diss. Nr. 5670.

Neuwirth, B. (2005): Interannuelle Klima/Wachstums–Beziehungen zentraleuropäischer Bäume von AD1901 bis 1971 - Eine dendroklimatologische Netzwerkanalyse - Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät - Erscheinungsjahr: 2005, online publiziert.

Pedersen, L.B., Randrup, T.B., Ingerslev, M. (2000): Effects of road distance and protective measures on deicing NaCl deposition and soil solution chemistry in planted median strips, Journal of Arboriculture 26, 238-245.

Penninckx, V., Glineur, S., Gruber, W., Herbauts, J., Meerts, P. (2001): Radial variations in wood mineral element concentrations: a comparison of beech and pedunculate oak from the Belgian Ardennes, Annals of Forest Science 58, 253.

Penninckx, V., Meerts, P., Herbauts, J., Gruber, W. (1999): Ring width and element concentrations in beech (*Fagus syslvatica* L.) from a periurban forest in central Belgium, Forest Ecology and Management 113, 23-33.

Pennings, P. (2010): R-script zum Erstellen von Kurven-Aignments nach dem Gleichläufigkeitsprinzip, unpublished.

R Development Core Team (2010): R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rinn, F. (2003); TSAP -Win ^{TM} Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications Version 0.53 for Microsoft Windows 98, 2000, XP -User Reference, Heidelberg.

Rinn, F. (2002): TSAP Win Professional 0.53 (c) 2002 – 2004 von Frank Rinn; Heidelberg: RINNTECH.

Rinn, F. (1989): Tsap 3.6 (c) 1989 – 2000, Frank Rinn, Heidelberg.

Sander, C., Levanic, T., (1997): Comparison of t-values calculated in different dendrochronological programmes. Dendrochronologia 14, 269-272.

Schimper, A.F.W. (1898): Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage, Jena: Gustav Fischer Verlag.

Schmid, S. (2008): Inhaltstoffliche Ausstattung von ausgewählten Wüsten- und Hochgebirgspflanzen Marokkos, Diplomarbeit, Universität Wien, Fakultät für Lebenswissenschaften.

Schmidt, B. und Gruhle, W. (1988): Klima, Radiokohlenstoffgehalt und Dendrochronologie, Naturw. Rundschau 41, 177-182.

Schmitz, N. (2008): Growing on the edge. Hydraulic architecture of mangroves: ecological plasticity and functional significance of water conducting tissue in *Rhizophora mucronata* and *Avicennia marina*, Uitgeverij VUBPRESS Brussels University Press.

Schöne, B.R. und Schweingruber, F.H. (1999): Verzweigte Laubhölzer; anatomische und morphologische Besonderheiten sowie ökologische Bedeutung, Schweiz. Z. Forstwes. 150, 132-141.

Schwarze, F.W.M. R. (2007): Wood decay under the microscope, Fungal Biology Reviews 1, 133-170.

Schwarze, F.W.M.R., Spycher, M., Fink, S. (2008): Superior wood for violins – wood decay fungi as a substitute for cold climate, New Phytologist 179, 1095–1104.

Schweingruber, F.H. (1983): Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit U. Klima in d. Dendrochronologie, Haupt Verlag: Bern; Stuttgart.

Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., Bräker, O.U. (1990): Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology, Dendrochronologia 8, 9–39.

Sieghardt, H., Weidinger, M. (1994) Mikroskopische und röntgenenergiedispersive Untersuchungen an Holzproben von *Acer platanoides* aus dem Stadtgebiet von Wien, Vcrh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 13, 1: 141-152.

Silfver, T., Häikiö, E., Rousi, M., Holopainen, T., Oksanen, E. (2008): Interactive effects of elevated ozone and springtine frost on growth and physiology of birch (*Betula pendula*) in field conditions, Trees 22, 291-301.

Smith, K. T. (2008): An organismal view of dendrochronology, Dendrochronologia 26, 185–193.

Stinglwagner, G., Haseder, I., Erlbeck, R. (2009): Das Kosmos Wald- und Forst-Lexikon, 4. Auflage. Franckh-Kosmos, Stuttgart.

Sitte, P., Ziegler, H., Ehrendorfer, F. und Bresinsky, A. (1998): Strasburgers Lehrbuch der Botanik, G. Fischer Verlag: Stuttgart.

ViennaGIS – Stadt Wien: MA42 Wiener Stadtgärten (2013): Wiener Baumkataster, http://www.wien.gv.at/umweltgut/public/, verantwortlich für diese Seite: www.wien.gv.at/viennagis/ Magistrat der Stadt Wien, Rathaus, A-1082 Wien, 18.8.2013.

Vitek, E., Mrkvicka, A.Ch., Adler, W., Horak, E., Fleck, W., Haslehner, B. (2004): Wiens Pflanzenwelt, Wien: Verlag des Naturhistorischen Museums Wien.

Wagenführ, R. (2007): Holzatlas, 6. Aufl., Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig.

Wallnöfer, S., Mucina, L., Grass, V. (1993): Querco-Fagetea, in: Georg Grabherr und L. Mucina (eds.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teil 3: Anthropogene Vegetation, Natürliche waldfreie Vegetation, Wälder und Gebüsche, Jena: Gustav Fischer Verlag.

Watson, G. (2004): How to promote and enhance the root vitality of veteran trees: responses to natural and chemical products, International Congress on The Trees of History, Torino, April 1st - 2nd, 2004, 40-44.

Wiener Landtag (2001): Gesetz zum Schutze des Baumbestandes in Wien (Wiener Baumschutzgesetz) i.d.g.F. , LGB1 L 540-000.

Wresowar, M. und Sieghardt, M. (2000): Studie über die Auswirkung stickstoffhältiger Auftaumittel - Auswirkungen auf Boden und Bewuchs Vergleich mit herkömmlichen Auftaumitteln, Studie im Auftrag der Magistratsabteilung 22 der Stadt Wien, Wald Ökologie Uni Boku Wien.

Yanoskey, T.M., Hansen, B.P., Schening, M.R. (2001): Use of tree rings to investiate the onset of contamination on a shalow aquifer by chlorinated hydrocarbons, Journal of Contaminant Hydrology 50, 159- 173.

12 CURRICULUM VITAE



Stefan Suette

	AUSBILDUNG
Seit 10/1999	Universität Wien
10/1999-09/2003	Biologiestudium
seit 09/2003	Studienzweig: Ökologie, Hauptfach: Ökophysiologie
09/1988-06/1998	Realgymnasium GRG3 Hagenmüllerstraße, 1030 Wien Abschluss: Matura (entspricht dem Abitur)

	ARBEITSERFAHRUNG
03/2010-	**Research Assistent Forschungszentrum Telekommunikation Wien**
2005 (07-11)	**Probennahmen (Boden, Blätter, Holz) im Projekt Erhebung der Streusalz- und Trockenbelastung von Alleebäumen in Wien der Stadt Wien**
	Messebetreuunng
2007-2012	Best[3]: Vertretung der Studien Biologie und Molekularbiologie der Universität Wien

	Arbeit im Gastgewerbe
	mehrere Cateringfirmen; Aufträge auf Messen, Feiern, Konzerten
12/2008-01/2009	Tagportier Lainzer Tiergarten, Forstamt der Stadt Wien
01/2004-02/2007	Nachtportier Hotel Thüringerhof, 1180 Wien
seit 06/2001-	**Studienrichtungsvertreter der ÖH (Österreichische HochschülerInnenschaft)**
2007-2009	Vorsitz der Fakultätsvertretung Lebenswissenschaften
2005-2007	Vorsitz der Studienrichtungsvertretung Biologie
	Lehrerfahrung
2008 - 2013	Exkursion ins AKW Zwentendorf
2008 & 2009	Se Praktischer Umweltschutz (mit Roland Albert, Peter Weiß, Elisa Burtscher)
2009-2013	Exkursionen in den Forschungsreaktor Wien der österreichischen Universitäten

	WISSENSCHAFTLICHEQUALIFIKATIONEN
	REM, TEM, Elementanalyse mit LINK und EDAX, Lichtmikroskopie, Konvokalmikroskopie, Dünnschnitt- und Krytechniken, Färbetechniken an Pflanzen und Tieren Chemische Analytik in Labor und Freiland mit chromatographischen (Kopplungstechniken GC-, LC- MS) und nasschemischen Methoden

	Kartieren mit geographischen Informationssystemen Dendrochronologie an Laub- und Nadelbäumen In vitro Techniken in der Pflanzenzucht Grundkenntnisse der Genomanalyse Eyetrackingstudien in Labor und Freiland Userbilitystudien (Labor- und Feldstudien) Critical incident technique **Statistik- und Software Kenntnisse** Grundkenntnisse in SPSS 12.0 bis 20.0 Microsoft Office für MAC und Windows (Word, Excel, Powerpoint), Open Office, Adobe Photoshop CS, Adobe Writer, Adobe Illustrator CS, Corel Draw, Quark Express 5.1, Endnote X, ImageJ, ArcGis Anwenderkenntnisse in Dos, Windows, Macintosh OSX und Linux Ubuntu Eyetrackingsoftware: I-Lab 4.5, BeGaze
	SPRACHEN
	Deutsch - Muttersprache Englisch- gute Kenntnisse Latein

Publications

Fröhlich, P., Baldauf, M., Suette, S., Schabus, D., Jandrisits, M., Paier, A. (2013): Live Traffic Camera Content in the Connected Car: Experiences from Motorway Experiments, in Proceedings of the 2th ICCVE, *in review*.

Baldauf, M. Salo, M., Suette, S. and Fröhlich, P. (2013): The Screen is Yours - Comparing Handheld Pairing Techniques for Public Displays, in Proceedings of the 4th International Joint Conference on Ambient Intelligence 2013 (AmI'13).

Salo, M. Baldauf, M., Fröhlich, P. and Suette, S. (2013): Peak Moments of Physical Mobile Interaction Techniques, in Proceedings of the 19th Americas Conference on Information Systems, 2013.

Baldauf, M., Salo, M., Suette, S. and Fröhlich, P. (2013): Display Pointing - A Qualitative Study on a Recent Screen Pairing Technique for Smartphones, in Proceedings of the 27th International British Computer Society Human Computer Interaction Conference, 2013.

Casas, P., Paraskevopoulou, D., Settanni, G., Suette, S., Zwickl, P. and Schatz, R. (2013): Quality of Experience in Telepresence and Remote Collaboration Cloud Services, 4th International Workshop on Perceptual Quality of Systems 2013 (PQS 2013), Vienna, Austria, 2 Sep 2013.

Casas, P., Fischer, H. R., Suette, S. and Schatz, R. (2013): A First Look at Quality of Experience in Personal Cloud Storage Services, In Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC) 2013 - Workshop on Mobile Cloud Networking and Services (MCN), Budapest, Hungary, 2013. IEEE Computer Society.

Pamminger, T., Modlmeier, A. P., Suette, S., Pennings, P. S., Foitzik, S. (2012): Raiders from the sky: slavemaker founding queens select for aggressive host colonies, Biology Letters 8 (5), 748-750.

Fröhlich, P., Baldauf, M., Suette, S., Schabus, D. and Fuchs, M. (2012): Investigating In-car Safety Services on the Motorway: the role of screen size, In CHI 2012 Extended Abstracts, Austin, Texas.

Fröhlich, P., Baldauf, M., Suette, S., Schabus, D., Lehner, U., Jandrisits, M. and Paier, A. (2012): "Get off your car!" - Studying the User Requirements of In-Vehicle Intermodal Routing Services, In Proc. Automotive UI 2012, Portsmouth (NH), USA.

Fröhlich, P., Baldauf, M., Hagen, M., Suette, S., Schabus, D. and Kun, A. L. (2011): Investigating Safety Services on the Motorway: The Role of Realistic Visualization, In 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI), Salzburg, Austria.

M. Baldauf, D. Schabus, M. Fuchs, P. Fröhlich, S. Suette (2011): The ROADSAFE Toolkit: Rapid Prototyping for Road-Testing Novel Automotive User Interfaces, 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI), 29.11.2011.

Conference presentations

WSL – Dendrochronologieworkshop Diplomarbeitspräsentation

FTW - Presentation of the driving simulator aardvark

Poster

FTW – 4YE