

Auswirkungen eines tiefgründigen Bodenaustausches auf die Wurzelentwicklung und den Dickenzuwachs von Eschen

Dr. Georges Lesnino, öbv. Sachverständiger, Münchner Gehölzinstitut, Moosfeldstraße 4d, 85238 Petershausen
Dipl.-Ing. agr. Johannes Prügl, Bodeninstitut, Münchner Gehölzinstitut, Moosburger Str. 5, 84072 Au i.d. Hallertau
Gartendirektor Dipl.-Ing. Michael Brunner, Baureferat Gartenbau der Landeshauptstadt München, Friedenstraße 40, 81660 München

Einleitung

Seit 1992 setzt das Baureferat Gartenbau der Landeshauptstadt München spezielle Baumsubstrate ein, welche auf den Erkenntnissen der FLL – Forschungsgruppe „Standortoptimierung von Straßenbäumen“ (KRIETER und MALKUS 1996) beruhen. Da in München schon seit längerer Zeit die Baumgruben bis 1,30 m tief gestaltet werden, erkannte man schnell die Notwendigkeit, die neuen verrüttelungsstabilen luftführenden Bodensubstrate zu verwenden.



Bei Neupflanzungen wurde dies problemlos durchgeführt. Bald schon wurde überlegt, diese Bodensubstrate auch nachträglich in Altbaumbeständen tiefgründig einbringen zu können.

An der Leopoldstraße, einer sechsspürigen innerstädtischen Hauptstraße im Münchner Stadtteil Schwabing, stockt im nördlichen Abschnitt seit 40 Jahren eine Allee aus etwa 100 Bäumen, vorwiegend Eschen (*Fraxinus excelsior*). Diese Bäume stehen mit je 8 m Abstand in einem ca. 1,60 m breiten Baumgraben zwischen der Fahrbahn und einem unterteilten Rad- und Gehweg (Abb. 1). Die Alleebäume wiesen seit vielen Jahren einen geringen Zuwachs, eine schütterere Belaubung und Totholzbildung auf. Trotz verschiedener Düngungsmaßnahmen konnte dieser schlechte Zustand nicht verbessert werden.

Abb. 1: Eschen-Allee an der Leopoldstraße.

An dieser Allee ließ das Baureferat Gartenbau in den Jahren 1993 und 1994 einen nachträglichen Bodenaustausch als Praxisversuch durchführen. Dabei wurden zunächst die Wurzeln in 2 m Stammferne mittels Grabenfräse durchtrennt, danach der restliche Baumgraben zwischen je 2 Bäumen in voller Breite bis zu einer Tiefe von ca. 1,50 m ausgehoben und vollständig einschließlich der abgetrennten Baumwurzeln entfernt. Anschließend wurden die ausgehobenen Gruben mit Straßenbaums substrat entsprechend den Vorgaben der FLL-Forschungsgruppe aufgefüllt. Damit die Bäume nicht alle Wurzeln gleichzeitig verlieren, wurden die Bäume im Herbst 1993 von einer Seite und erst im Frühjahr 1996 von der gegenüberliegenden Seite angegraben.

Im März 2001 beauftragte das Baureferat Gartenbau das Münchner Gehölzinstitut, eine Erfolgskontrolle dieser Sanierungsmaßnahme anhand von Aufgrabungen und Jahrringanalysen durchzuführen. Es sollte festgestellt werden, wieweit sich die Bäume und insbesondere die Wurzeln nach dieser „radikalen“ Maßnahme wieder erholt haben, bis in welche Tiefen die Wurzeln jetzt anzutreffen sind und vor allem ob sich der Zustand der Bäume und der Baumwurzeln verbessert hat.

Methoden

Wurzelaufgrabungen

Eine Wiederaufgrabung von zwei Sanierungsgruben wurde in Handarbeit durchgeführt. Hierbei wurden Wurzellängen, Wurzelstärken und Wurzelvorkommen gemessen bzw. beurteilt.

Beginnend in der Mitte zwischen zwei Bäumen wurde zunächst per Hand und mit LKW-Bagger schichtweise ein Loch von 1,80 m Länge und 1,30 m Breite bis zur jeweiligen Tiefe des Baumgrabens (1,40 m bzw. 1,85 m) ausgehoben. Dabei wurde das vorhandene Wurzelwachstum in den unterschiedlichen Schichten beobachtet und protokolliert.



Von diesem Loch aus wurde per Hand mit Grabgabeln in Richtung der Baumstämme bis zu einer Entfernung von ca. 2,50 m weiter gegraben. Der Boden wurde per Grabgabel gelockert, in die Mitte des Lochs geworfen und dort vom LKW-Bagger herausgehoben. So blieben die Wurzeln erhalten. Die Kontrollgräben waren somit ca. 3 m lang, 1,30 m breit und 1,40 – 1,85 m tief (Abb. 2).

Abb. 2: Baumscheibe der Esche 20. Baumgraben in einem Abstand von 2,50 m vom Stammfuß.

Stichproben aus den vorgefundenen Baumgrubensubstraten wurden anschließend nach den „Zusätzlichen Technischen Vorschriften der Landeshauptstadt München für die Herstellung und Anwendung verbesserter Vegetationstragschichten“ (ZTV-Vegtra-Mü, 1/2000, Sieblinienband A) analysiert.

Jahrringanalyse

Zur Auswahl der Probestämme wurde der Stammumfang aller im Bereich der geplanten Aufgrabungen stehenden Eschen aufgenommen. Anschließend wurde der Mittelwert der unbehandelten Kontrollbäume berechnet. Als Probestämme wurden Eschen mit einem Stammumfang im Bereich des mittleren Stammumfangs von 110 cm ausgewählt.

Zwecks einer Jahrringanalyse wurde an insgesamt 5 behandelten und 3 unbehandelten Eschen jeweils ein Bohrkern in einer Stammhöhe von 1 m entnommen. Zur Überprüfung der gefundenen jahrringanalytischen Ergebnisse wurde nachträglich jeweils ein kurzer Bohrkern einem behandelten und einem unbehandelten Baum zusätzlich entnommen.

Im Rahmen einer quantitativen Jahrringanalyse wurde die Breite der einzelnen Jahrringe zur Beurteilung der Entwicklung des radialen Stammzuwachses ermittelt. Die Messung erfolgte mit Hilfe eines digitalen Jahrringmessgerätes.

Da keine Informationen darüber vorlagen, in welchem Jahr – 1993 oder 1996 - die einzelnen Aufgrabungen erfolgten, wurden einzelne Proben aus gekappten Wurzeln entnommen. Hieraus wurden Mikroschnitte angefertigt, die zur Ermittlung der Baumart und des Überwallungsalters mikroskopisch untersucht wurden.

Ergebnisse

Wurzelwachstum

Es wurde in beiden Kontrollgruben ein intensives Wurzelwachstum vorgefunden, das die vorhandenen Baumgruben in voller Länge, Breite und Tiefe ausfüllte.

Unter den Rasensoden waren bis in 25 cm Tiefe unter GOK kaum Wurzeln zu finden. Ab Bodentiefe 25 cm unter GOK fand sich massives Wurzelwachstum mit vielen Feinwurzeln (Durchmesser bis 0,5 cm) und einigen Schwachwurzeln (Durchmesser bis 2,0 cm), die vorwiegend in den Bodentiefen 60 bis 185 cm zu finden waren. Die Wurzelgeflechte benachbarter Bäume gingen übergangslos ineinander über, es waren keine wurzelfreien Stellen auffindbar.

Das stärkste Wurzelwachstum konnte in der Bodentiefe 30 – 60 cm beobachtet werden (Abb. 3). Die Durchwurzelung erstreckte sich in voller Intensität bis auf das Kiesplanum des Untergrundes, der in 140 (Grube 1) bzw. in 185 cm (Grube 2) Tiefe anzutreffen war. In diesen Kies drangen keine Wurzeln ein (Abb. 4).



Abb. 3: Baumgrube 8/9: Bis 185 cm Tiefe durchgehendes, kräftiges Wurzelwachstum bei Esche 8.



Abb. 4: Baumgrube 8/9: Sogar in 185 cm Bodentiefe findet ein sehr intensives Wurzelwachstum statt.

Unter dem Straßendeckschicht befand sich eine 80 cm starke, stark verdichtete Tragschicht / Frostschuttschicht, in welche keine Wurzeln eindringen. Darunter fanden sich eine 5 cm starke, relativ lockere, humose Kiesschicht und eine 20 cm starke Sandschicht. Beide Schichten waren gut von Feinwurzeln durchsetzt. Darauf folgte bis zum Boden der Kontrollgrube eine anlehmige lockere Kiesschicht (kiesige Rotlage), die mäßig mit Feinwurzeln durchdrungen war.

Unter dem Betonkeil auf der Radwegseite fand sich eine bis in volle Tiefe reichende anlehmige Kiesschicht (kiesige Rotlage), in welche Fein- und Mittelwurzeln eindringen. Der Übergang zwischen Radwegtragschicht und Baumgrube war mit alten Wurzeln mit einem Durchmesser von bis 3,5 cm massiv durchwurzelt. Diese Wurzeln konnten vom Baumgraben aus bis ca. 20 cm unter den Radweg hinein verfolgt werden. Hier konnten die Kappstellen der früheren Aufgrabungen beobachtet werden. Die Kappstellen zeigten fast durchweg einen guten Neuaustrieb mit mehreren kleineren Seitenwurzeln. Tote Wurzeln wurden kaum gefunden.

Laboruntersuchungen der Baumgrubensubstrate

Von den vorgefundenen Baumgrubensubstraten wurden in den zwei Kontrollgruben Proben genommen und analysiert. Die Ergebnisse der Bodenanalyse sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Ergebnisse der Bodenanalyse

Parameter	gemessener Mittelwert	Vorgabe FLL 1996	Vorgabe ZTV-Vegtra-Mü 1/2000	Vorgabe ZTV-Vegtra-Mü 1996
Körnung [mm]	0/63	0/63	0/16 – 0/32	0/16 – 0/63
Schlammkorngehalt [Gew.-%]	14	18	10 – 25	10 – 25
Sandkorngehalt [Gew.-%]	25,5	36	35 - 60	10 - 60
Kieskorngehalt [Gew.-%]	61,5	43-	30 - 65	30 - 65
Ungleichförmigkeit U	n. u.	> 100	k. A.	k. A.
Salzgehalt [mg/100 g TS]	3,96	k. A.	< 200 mg	k. A.
pH – Wert	7,3	k. A.	5,5 – 7,5	5,5 – 7,8
organ. Substanz [Gew.-%]	4,0	k. A.	1,5 – 4,0	< 3

Auffällig in den untersuchten Substraten sind die äußerst geringen Salzgehalte und hohe Anteile an organischer Substanz. Da das Substrat bereits sehr stark durchwurzelt war, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Wurzelteile als organische Substanz mit in die Messungen eingegangen. Der Anteil organischer Substanz der wurzelfreien Substrates dürfte deutlich niedriger liegen.

Die untersuchten Baumgrubensubstrate wären nach den hier vorliegenden Ergebnissen als nicht-tragfähiges Straßenbaums substrat nach ZTV-Vegtra-Mü 1/1999, Sieblinienband A, nicht geeignet gewesen, da der geforderte Sandkorngehalt um 11 Massen-% unterschritten wurde. Das zulässige Größtkorn wird ebenfalls überschritten. Alle anderen Werte entsprechen den Vorgaben.

Auch nach der Ausgabe 1996 der ZTV-Vegtra-Mü weicht die Sieblinie im Kiesbereich bis zu 15 Massen-% nach unten vom vorgegebenen Sieblinienband A ab. Es fehlen Grobsand, Feinkies und Mittelkies.

Da die Substrate vor der Einführung der ZTV-Vegtra hergestellt wurden, wurden die Werte mit den Vorgaben der FLL–Arbeitsgruppe „Standortoptimierung von Straßenbäumen“ verglichen. Gefordert werden hier 21 % Schlammkorn, 36 % Sandkorn und 43 % Kieskorn. Nach diesen Forderungen ist bei den vorliegenden Proben der Sandkorngehalt zu gering und der Kieskorngehalt zu hoch. Die gefundenen Abweichungen scheinen allerdings dem Wurzelwachstum bisher in keiner Weise beeinträchtigt zu haben. Der Luftgehalt der Substrate ist augenscheinlich auch bis in 180 cm Tiefe für ein optimales Wurzelwachstum ausreichend.

Problematisch wird die vermutete geringe Wasserspeicherfähigkeit gesehen, die für die unbefriedigende Entwicklung der oberirdischen Baumteile verantwortlich sein könnte.

Es spielt hier sicherlich eine Rolle, dass die Substrate wegen des relativ geringen Schlammkorngehalts nicht zu Verdichtung neigen. Dadurch könnte der fehlende Sandkorngehalt ausgeglichen werden. Wie sich das Substrat langfristig gesehen im Boden verhält, kann aufgrund des fehlenden Sandkorns nicht vorausgesagt werden.

Jahrringanalyse

Die jahrringanalytischen Ergebnisse sind in Abbildungen 5 bis 8 zusammengefasst. Hieraus ist zunächst ersichtlich, dass die untersuchten Eschen ca. 60 Jahre alt sind. Zudem lässt sich das Pflanzjahr aufgrund des Abfalles der Jahrringbreite mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das Jahr 1961 datieren.

Im Vergleich zwischen den Kontroll- und Prohebäumen zeigt der Kurvenverlauf eine nahezu gleiche Entwicklung des Radialzuwachses (Abb. 5 und 6). Lediglich in der Kulminationsphase zwischen 1965 und 1970 weisen die Prohebäume einen höheren Zuwachs auf als die Kontrollbäume. Dies dürfte auf die stärkere Standortbelastung der Kontrollbäume (Bushaltestelle, Straßenkreuzung) zurückzuführen sein.

Infolge des ersten Bodenaustausches im Herbst 1993 zeigen die Prohebäume in den darauffolgenden Jahren einen geringeren Zuwachs als die Kontrollbäume. Eine Erklärung hierfür ist mit Sicherheit der Verlust an Wurzeln und der verstärkte Verbrauch an Assimilaten zur Wurzelneubildung bei den Prohebäumen.

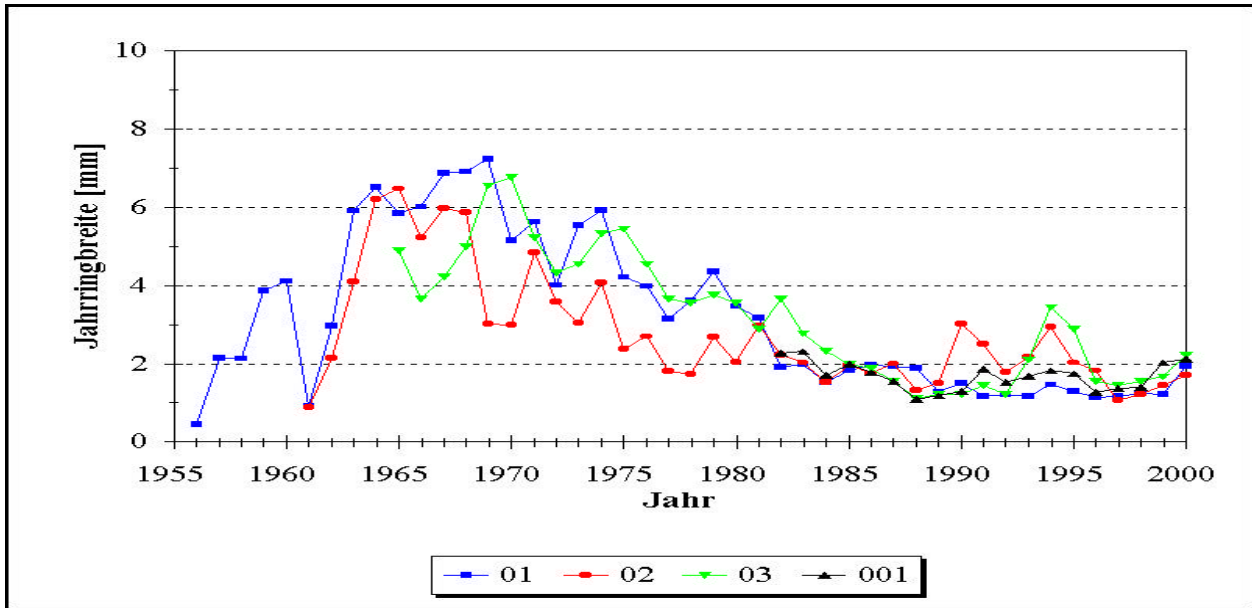


Abb. 5: Jahringkurven der Kontroll-Bäume.

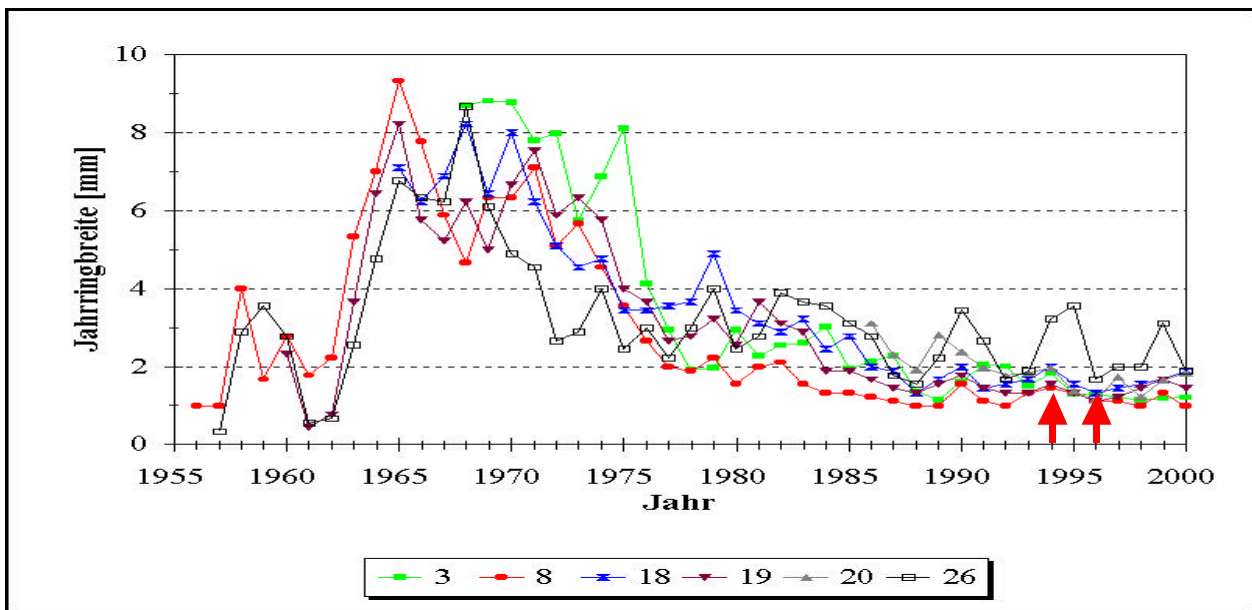


Abb. 6: Jahringkurven der Probe-Bäume. Pfeile: Bodenaustausch im Herbst 1993 und Frühjahr 1996.

Einzelne Bäume, sowohl Kontrollbäume als auch Probebäume, zeigen in den Jahren 1990, 1994 und 1995 eine kurzfristige Erhöhung des Zuwachses und dementsprechend Zuwachsdpressionen in den Jahren 1992, 1996 und 1997. Im Vergleich der Jahring-Mittelkurven zu den während der jeweiligen Vegetationsperioden aufgetzeichneten Niederschlägen fällt auf, dass Zuwachsdpressionen mit Trockenheit im Vorjahr relativ gut korrelieren (Abb. 7).

So verursachte beispielsweise das Trockenjahr 1976 einen Rückgang des Zuwachses, der sich besonders in den Vegetationsperioden 1977-1978 auswirkt. Ähnliches gilt auch für die Trockenjahre 1995-1996 und die daraus resultierende Zuwachsdpression in den Vegetationsperioden 1996-1997.

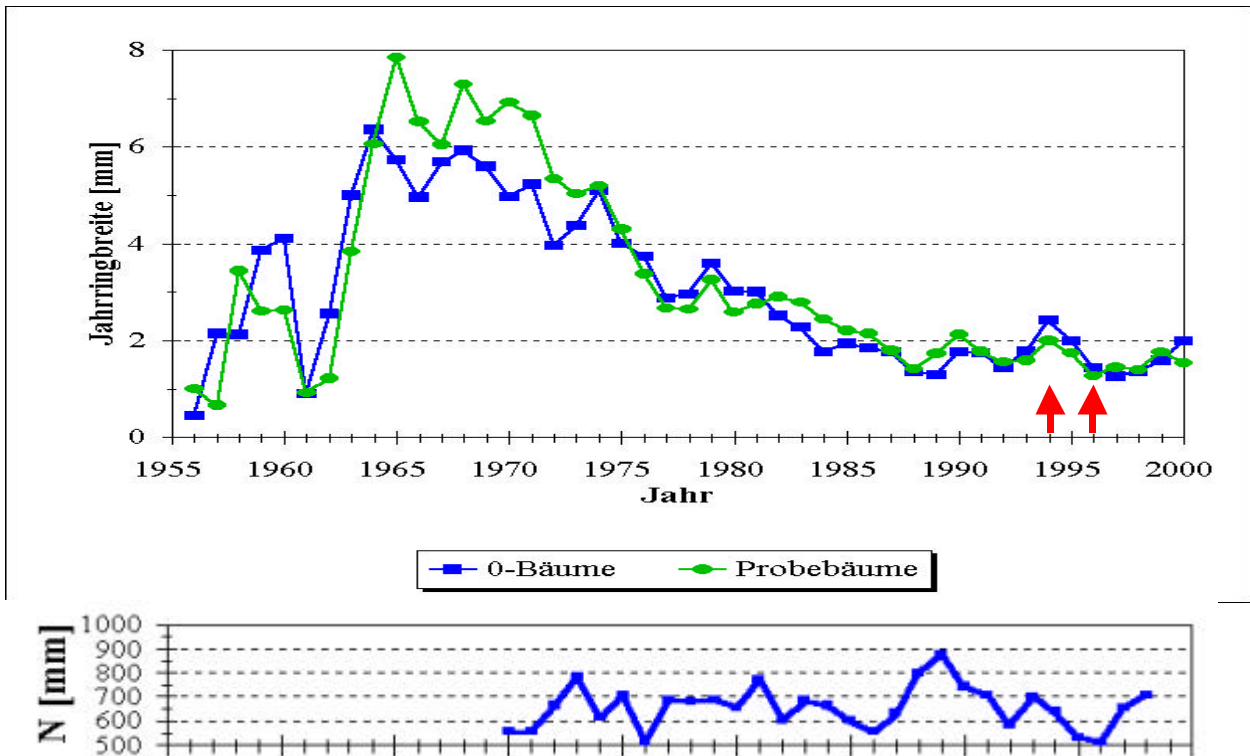


Abb. 7: Mittelkurve der Kontroll- und Probe-Bäume im Vergleich und Niederschlagssumme (N) für die Vegetationsperioden 1970-1999. Pfeile: Bodenaustausch.

Wie bei näherer Betrachtung der Wachstumsperiode 1990-2000 ersichtlich, haben sich die Aufgrabungen im Vergleich zu den Kontrollbäumen in keiner Weise auf den Zuwachs der Probepflanzen negativ ausgewirkt (Abb. 8). Allerdings lässt sich bis zum Untersuchungszeitpunkt noch keine Erholung der Probepflanzen feststellen.

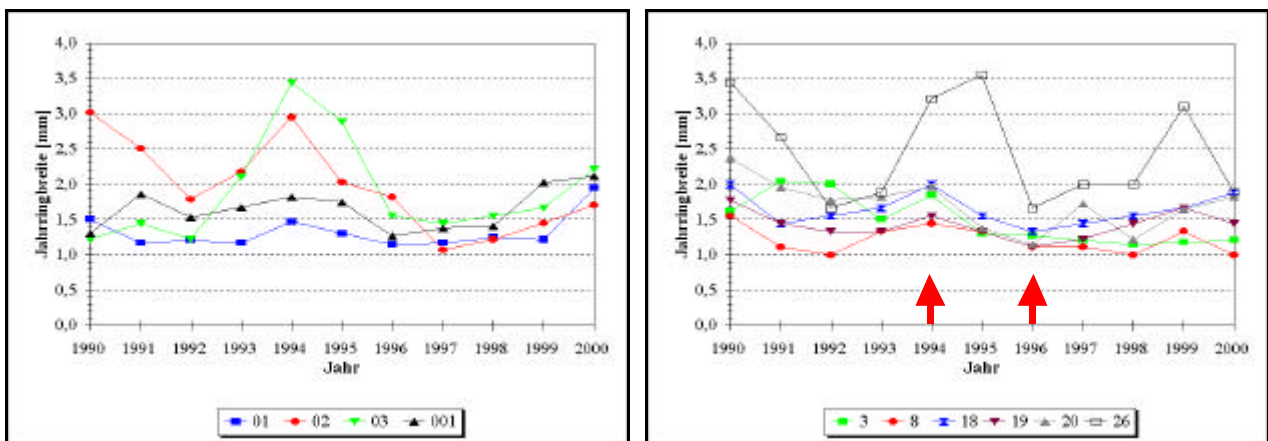


Abb. 8: Jahringkurven der Kontrollbäume (oben) und Probepflanzen (unten) für die Periode 1990-2000 im Vergleich. Pfeile: Bodenaustausch.

Diskussion der Ergebnisse

Wurzelwachstum und Baumsubstrat

Das aufgefundene hervorragende Wurzelwachstum beweist, dass sich die Wurzeln nach den starken Eingriffen im Herbst 1993 und im Frühjahr 1996 gut erholt haben, und dass ein sehr guter Neuaustrieb stattfand. Dies zeigt aber auch, dass in geeigneten Baumgrubensubstraten Wurzeln schnell und mühelos bis in 185 cm Bodentiefe wachsen können.

Das beste Wachstum zeigten die Wurzeln an den Übergängen zwischen Unterbau des Radweges und Baumgrube. Es wird vermutet, dass hier vermehrt Wasser zur Verfügung stand. Auch aus Untersuchungen der FLL-Forschungsgruppe (KRIETER und MALKUS 1996) ist bekannt, dass an Übergängen verschiedener Bodenmaterialien verstärktes Wurzelwachstum auftritt. Dies wird unter anderem auf Kondenswasser zurückgeführt, das sich an Kapillarbrüchen ansammelt. An den Übergängen vom Baumgraben zum Straßenunterbau konnte dagegen kein verstärktes Wurzelwachstum festgestellt werden. Offensichtlich gelangt hier kein Oberflächenwasser in den Boden.

Aufgrund des geringen Schlämmkorn- und Sandkorngehaltes verfügt das Baumgrubensubstrat vermutlich über eine nur geringe Wasserspeicherung, dafür aber über eine hohe Luftkapazität. Eine hohe Luftkapazität scheint das Eindringen der Baumwurzeln in große Tiefen gefördert zu haben. Dies bestätigen auch Untersuchungen von LIESEKE und HEIDGER (1994) sowie LÖSKEN (1999), wonach in Baumsubstraten, die nur 15 Massen-% Schlämmkorn enthielten, Durchwurzelungstiefen bis zu 300 cm erreicht wurden.

Die vermutete geringe Wasserspeicherfähigkeit könnte die Ursache für den geringen Radialzuwachs darstellen. Sicherlich ist es von Vorteil, dass die neuen Versionen der ZTV-Vegtra-Mü eine Mindestsumme Sandkorn von 35 Massen-% fordern, da sich die wasserspeichernden Mittelporen gerade im Fein- und Mittelsand bekanntlich finden.

Auffällig in den untersuchten Substraten sind die äußerst geringen Salzgehalte. Diese deuten darauf hin, dass den Wurzeln kaum Nährstoffe zur Verfügung stehen. Nachdem diese Bodensubstrate in München zum größten Teil aus kiesigem Unterboden sowie aus nährstofffreien Kiesen und Sanden ohne zusätzliche Aufdüngung hergestellt werden, war dies auch zu erwarten. Die Substrate werden bewusst nährstoffarm hergestellt, weil vermutet wird, dass sich die Wurzeln dadurch „auf die Suche machen müssen“ und schnell die gesamte Baumgrube erschließen. Wie die vorliegende Untersuchung zeigt, scheint das tatsächlich der Fall zu sein.

Diese Nährstoffarmut der Substrate dürfte allerdings auch mit ein Grund dafür sein, dass die oberirdischen Baumteile trotz des hervorragenden Wurzelwachstums die beobachteten mäßigen Vitalitäten und Zuwächse aufweisen. Das Baureferat Gartenbau hat sich deshalb entschlossen, jetzt nach der vollständigen Erschließung des Wurzelraums eine Lanzendüngung durchzuführen. Eine Aufdüngung der Bodensubstrate bei der Herstellung oder beim Einbau wird jedoch abgelehnt, um die erwähnten Vorteile der nährstoffarmen Substrate bei der Wurzelbildung zu erhalten.

Betrachtet man das Wurzelwachstum, das sich aufgrund der 1993 und 1996 durchgeführten Sanierungsmaßnahmen entwickelt hat, so sind solche tiefgründigen Bodenaustauschmaßnahmen auch in Altbaumbeständen zu empfehlen. Es ist sicherlich möglich, auch Baumgruben bis 2 m tief anzulegen. Wenn passende Baumsubstrate eingebracht werden, ist eine gute Durchwurzelung derartig tiefer Schichten gewährleistet. Es wird jedoch eine Diskussion darüber angeregt, ob bei den Sanierungsarbeiten die Durchtrennung der vorhandenen Wurzeln nicht mit Grabenfräsen sondern per Handausschachtung erfolgen sollte. Gelegentlich auftretende tote Wurzeln in den Kontrollschächten zeigen, dass nicht alle Wurzeln diese Trennverfahren vertragen. Außerdem zeigte sich bei den Aufgrabungen, dass die vor Beginn der Sanierungsmaßnahmen vorhandenen Wurzeln nicht dicker als 3,5 cm waren. Sollten bei anderen Sanierungsmaßnahmen dickere Wurzeln abgetrennt werden müssen, so wird der Einsatz der Grabenfräsen als problematisch angesehen.

Radialzuwachs

Weder eine Beeinträchtigung des Wachstums noch eine Erhöhung des Zuwachses infolge der wiederholten Aufgrabungen bzw. des Bodensaustausches in den Jahren 1993 und 1996 konnte mit Hilfe der durchgeführten Jahrringanalysen nachgewiesen werden.

Die seitenweise abwechselnd durchgeführten Aufgrabungen haben, einzeln betrachtet, sicherlich das Ausmaß der Wurzelschädigungen begrenzt. Es liegt aber auch die Vermutung nahe, dass die ausgegrabenen Wurzelbereiche schwach durchwurzelt waren und somit der Verlust an Wurzeln dementsprechend gering war.

Da die Kontrollgruben besonders intensiv durchwurzelt waren, könnte schließlich die vermutete geringe Wasserspeicherfähigkeit der eingebrachten Baumsubstrate eine Ursache für den geringen Jahreszuwachs in den letzten drei Jahren darstellen bzw. eine Verzögerung der Erholung der behandelten Bäume bewirkt haben.

Es wird erwartet, dass der Zuwachs der Eschen aufgrund der vorgefundenen intensiven Bewurzelung in den nächsten Jahren zunehmen wird. Zur genauen Überprüfung der mittelfristigen Auswirkungen des Bodenaustausches wird eine Kontrolle nach Ablauf weiterer drei Vegetationsperioden empfohlen. Da für diesen Zweck lediglich die äußeren Jahrringe aussagekräftig sind, sollte hier ein schonendes Bohrverfahren angewandt werden, wodurch ein Bohrloch mit einem Durchmesser von nur 5 mm und einer Tiefe von wenigen cm entsteht. So können weitere Stammschädigungen weitgehend verhindert werden.

Zusammenfassung

Im März 2001 ließ das Baureferat Gartenbau der Landeshauptstadt München vom Münchner Gehölzinstitut an mehreren Bäumen Jahrringanalysen und Wurzelgrabungen durchführen, um die Wirkungsweise eines tiefgründigen Bodenaustauschs im Wurzelbereich zu untersuchen. Dabei wurde gefunden, dass die eingebrachten Baumgrubenssubstrate 5 bzw. 8 Jahre nach dem Austausch bis in Bodentiefen von 185 cm vollständig und intensiv mit Fein- und Mittelwurzeln durchwurzelt waren. Die Jahrringanalysen ergaben hingegen keine Zunahme der Jahreszuwächse. Die Gründe werden diskutiert.

Summary

Effects of an underground exchange of soil on the development of roots and the annual growth increments of ashes

In March of 2001, the Department of Horticulture of the City of Munich engaged the Münchner Gehölzinstitut in order to conduct a tree-ring-analysis and a trenching of roots for several trees. The purpose was to analyze the effects of an exchange of soil in the root area. Five to eight years after the exchange, it was found that the introduced substrata for trees were completely and thoroughly interlaced with fine and medium-size roots. In contrast, the tree-ring-analysis showed no increase in annual increments. Reasons are being discussed.

Résumé

Effets d'un échange de substrat en profondeur sur le développement racinaire et l'accroissement radial de frênes

En mai 2001, le service „Gartenbau“ de la Ville de Munich a fait réaliser des creusements et des analyses de cernes sur plusieurs arbres afin de vérifier et d'analyser les effets d'un échange de substrat en profondeur.

Cinq à huit ans après l'échange de substrat, les substrats présentent un enracinement complet et intensif de racelles et racines moyennes jusqu'à une profondeur de 185 cm. Les analyses de cernes ne révèlent par contre aucuns signes d'augmentation de croissance. Les causes possibles sont le sujet de la discussion.

Literaturverzeichnis

KRIETER M. und A. MALKUS (1996): Untersuchungen zur Standortoptimierung von Straßenbäumen – Ergebnisse eines FLL-Pflanzversuches von *Tilia pallida* in 14 deutschen Städten. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.

KRIETER M., A. BILL, A. MALKUS und G. WÜRDIG (1989): Standortoptimierung von Straßenbäumen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.

LIESECKE H.-J. und C. HEIDGER (1994): „Bäume in Stadtstraßen“ Untersuchungen zur Entwicklung und Erprobung von vegetationstechnischen und bautechnischen Maßnahmen zur Optimierung des Wurzel- und Standraumes von Bäumen in Stadtstraßen. Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.), Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 670.

LÖSKEN G. (1999): Standortoptimierung für die Pflanzung von Straßenbäumen – Zwischenergebnisse von Langzeitversuchen. Jahrbuch der Baumpflege, Thalacker Medien, Braunschweig, 165-175.