

### Zusammenfassung

Die Standorte der Stadtbäume unterliegen dynamischen Bedingungen. Die Wechselwirkungen der anthropogenen Nutzung zur Beständigkeit eines Baumes stehen im Kontrast. Chronische Bautätigkeiten im Wurzel- und Stammbereich führen zu Stress, Schwächung, Kalamitäten und schlussendlich zum Absterben des Baumes.

Der vorliegende Versuchsbericht behandelt einen Topfversuch zur Lenkung von Baumwurzeln. Mittels differenziertem Einbau von Substratkomponenten sollen Baumwurzeln im städtischen Gebiet gezielt in Wurzelzonen gezogen werden und somit von künftigen potentiellen Schädigungen verschont werden. Die gelenkten Wurzelzuwächse werden nach der ersten Vegetationsperiode gemessen und ausgewertet.

---

### Problemstellung

Stadtbäume erreichen an ihrem Standort einen Bruchteil ihrer natürlichen Lebensdauer. Für die Ökosystemdienstleistungen, die klimatischen Bedingungen und für die Ästhetik sind Stadtbäume, als grüne Infrastruktur einer Stadt, wichtige Vegetationsformen. Nach rund 50 Standjahren oder einem Brusthöhenumfang von 40 cm erreichen Stadtbäume ihre volle ökologische Leistungsfähigkeit. Dies ist insofern problematisch, da viele Stadtbäume nach 20-40 (60) Standjahren ersetzt werden. Dies aufgrund von Kalamitäten, Stress oder Bautätigkeiten um die städtische Infrastruktur zu renovieren oder zu ersetzen. Die Hauptproblematik: Die für die städtische Infrastruktur verwendeten Materialien sind kurzlebiger als die verwendeten Stadtbäume. Um die für die Stadt wichtigen Leistungen erbringen zu können, muss die Standzeit und Lebensdauer der Bäume erheblich erhöht werden. Die Substrate von urbanen Pflanzungen, insbesondere von Strassenbäumen sind schon heute und werden auch in Zukunft massiven Belastungen und Wechselwirkungen ausgesetzt sein. Die Belastungen werden in innerstädtischen Gebieten unter anderem aufgrund städtebaulicher Nachverdichtung weiter zunehmen. Das Substrat soll urbane Grünräume in ihrer Vitalität und Wüchsigkeit unterstützen, gleichzeitig aber auch als Tragschicht im Verkehrswegebau eingesetzt werden können. Während physikalische Parameter weitestgehend genormt sind, sind bei den chemischen Daten noch keine umfassenden Kenntnisse vorhanden. Mit Blick auf die überbaubaren Substrate (Pflanzgrubenbauweise 2, Sieblinienband B) nach FLL (2010) und Vegtra-Mü (2016) fällt auf, dass diese nur für durchgehende Grünstreifen, Geh- und Fahrradwege sowie Parkplätze empfohlen werden nicht aber für Flächen und Strassen mit Schwerverkehr. Diese Flächen bleiben somit für Bäume nicht oder nur wenig durchwurzelbar.

Weiter muss beachtet werden, dass in solch heterogenen Standortbedingungen, wie sie urbane Grünräume und insbesondere Strassenbäume vorfinden, eine Patentlösung kaum zu einem wirklichen Ziel führen kann. Für die urbanen Grünräume muss ein Medium in Form eines überbaubaren Substrats entwickelt werden, welches als Tragschicht funktionieren kann und somit die Durchwurzelung langfristig sicherstellt, das Regenwassermanagement positiv beeinflusst, die Schadstoffe adsorbiert und die Grundlage für eine Bodengenese gewährleistet. Mittels differenziertem Einbau der verwendeten Komponenten sollen zudem die Baumwurzeln gezielt an unterirdisch städtischer Infrastruktur vorbei geführt werden können. Dies soll die Beschädigung bei Bautätigkeiten erheblich verringern und die Entwicklung der Bäume über mehrere Generationen gewährleisten.

Folgende Forschungsfrage wird in diesem Zusammenhang untersucht:

**Wie können mit dem verwendeten Substrat, mittels differenziertem Einbaus der Komponenten, die Baumwurzeln an gewünschte Orte geleitet werden?**

### Material und Methoden

Der Versuch wird in Containern, mit rund 1 m<sup>3</sup> Substrat und zehn Wiederholungen sowie in einem Freilandversuch, als Nullvariante mit 15 Wiederholungen, mit Sämlingen von *Tilia cordata* getestet. Versuchsstandort ist dabei der Campus Grüental an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Wädenswil. In diesem Topfversuch werden die Substratkomponenten differenziert eingebaut. Ausgangssubstrat in allen Wiederholungen bildet dabei folgende Substratzusammensetzung.

**Tab. 1: Substratzusammensetzung des Containerversuchs mit spezifischer Wurzellenkung**

Mischgesteinschotter 32/64	40%
Mischgesteinschotter 16/32	25%
Ziegelsand 0/8	10%
Blähschiefer 8/16	15%
Pflanzenkohle	10%

Die Substratzusammensetzung des Containerversuchs (s. Tab.1) wird in einem Langzeitversuch auf die Praxistauglichkeit an der ZHAW in Wädenswil getestet. Erste Ergebnisse dazu sind in rund 2 Jahren zu erwarten. Die Zusammensetzung aus grobkörnigen Komponenten gewährt eine hohe Strukturstabilität mit grossem Porenvolumen bei gleichbleibenden physikalischen Verhältnissen. Das heisst, dass das Substrat überbaubar bleibt. Die eingebaute Pflanzenkohle funktioniert vor allem als Trägermittel für Nährstoffe. Hierfür muss sie biologisch aktiviert und mit Nährstoffen aufgeladen werden. Durch die sehr hohe spezifische Oberfläche kann die Pflanzenkohle Nährstoffe und Wasser bis zur fünffachen Menge ihres Eigengewichtes aufnehmen und speichern. Diese Aufladung geschieht beispielsweise durch die Einarbeitung in Kompost (Schmidt, 2011). Die Einarbeitung von Pflanzenkohle in einen Boden kann sehr positive Effekte auf Bodenkulturen aufweisen, so wurde nachgewiesen, dass die durch Pflanzenkohle verursachte bessere Nährstoffdynamik, zu einem erhöhten Pflanzenwachstum sowie zu einem besseren Grundwasserschutz führt. Die poröse Kohle bietet Nischen als geschützten Lebensraum, den Bodenorganismen für sich beanspruchen. Durch deren Präsenz wird die Nährstoffumsetzung verbessert und die Pflanzenversorgung gesteigert (Schmidt, 2016). Aufgrund der positiven chemischen Eigenschaften und der physikalischen Charakteristik wird die Pflanzenkohle als Ersatz für die organische Substanz im Stadtbaumsubstrat im Langzeitversuch getestet. Durch die hohe spezifische Oberfläche kann die Kohle, im Vergleich zu Oberboden in herkömmlichen Substraten, in geringen Mengen eingebaut werden und dennoch die Funktion des organischen Bestandteils erfüllen. Dies erlaubt voraussichtlich eine höhere Verdichtbarkeit des Substrates bei gleichbleibenden chemischen und physikalischen Bedingungen.

Die aktivierte Pflanzenkohle im Containerversuch wird dabei an beliebigen und verschiedenen Stellen konzentriert eingearbeitet und deponiert, um etwaige korrelierend beeinflussende Klima- oder Niederschlags-einflüsse auf das Wachstum zu vermeiden und in der Auswertung auszuschliessen. Nach einer Vegetationsperiode werden die Wuchsrichtungen der Baumwurzeln untersucht, abgemessen und ausgewertet. Die Nährstoffanalysen werden im Rahmen der Substratentwicklung im Langzeitversuch ausgewertet.

Das Versuchsgelände in Wädenswil ist massgeblich durch den Wetteinfluss von Westen geprägt. Dadurch kann ein Anstau der Regenwolken an den Alpen erfolgen. Die Niederschlagsmengen sind an diesem Standort, verglichen mit anderen Standorten in der Schweiz und Deutschland sehr hoch. Als Vergleich dient hierbei das Beispiel der Städte Berlin, Zürich und Wädenswil. Während in Berlin einen Mittelwert von 580 mm Niederschlag pro Jahr und m<sup>2</sup> aufweist, sind es in Zürich im Mittel ca. 1042 mm Niederschlag pro m<sup>2</sup> und in

*Lenkung der Baumwurzeln in Stadtbaums substraten*

Straßenbaum, Substrat, Wurzeln

Wädenswil rund 1350mm Niederschlag pro m<sup>2</sup> (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, 2016). Dies muss im Versuch und der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

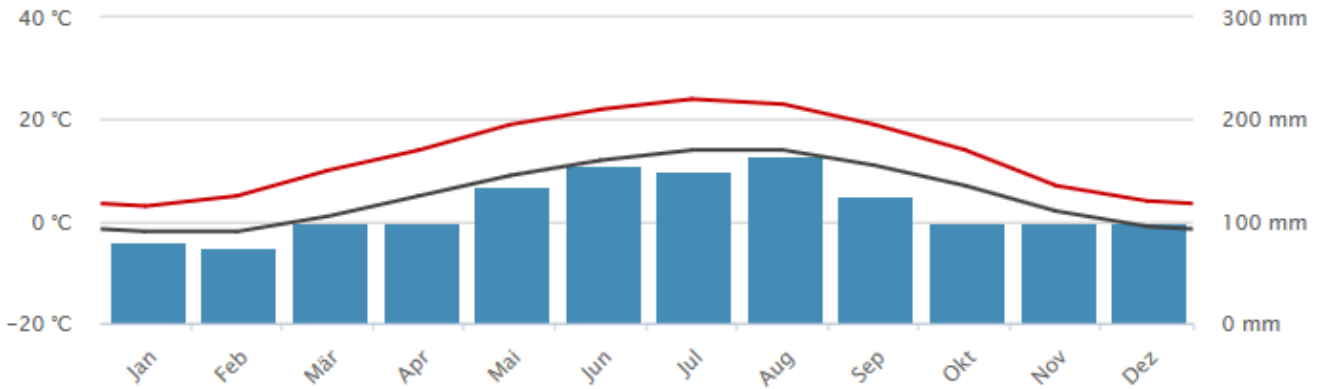


Abb. 1: Klimadiagramm des Standortes Wädenswil

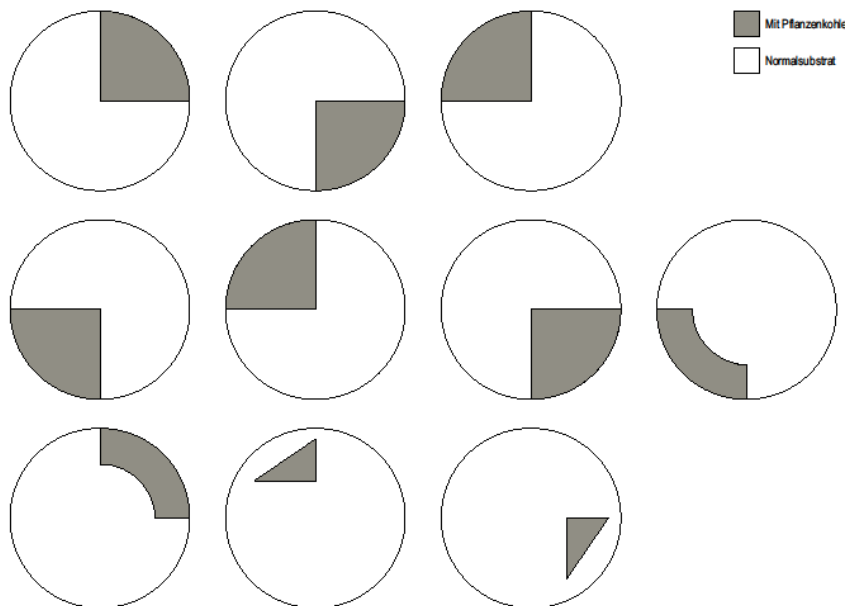
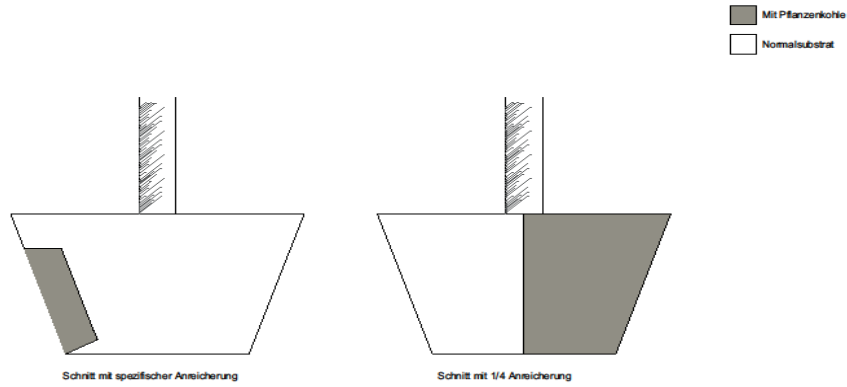


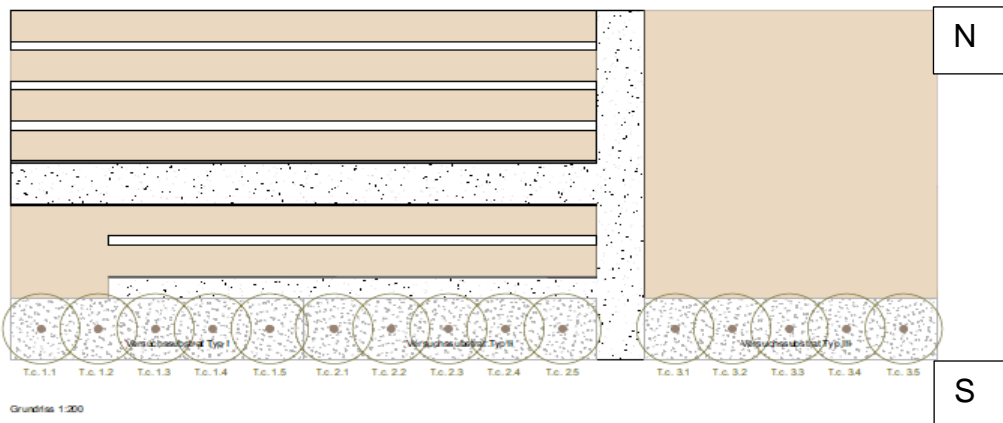
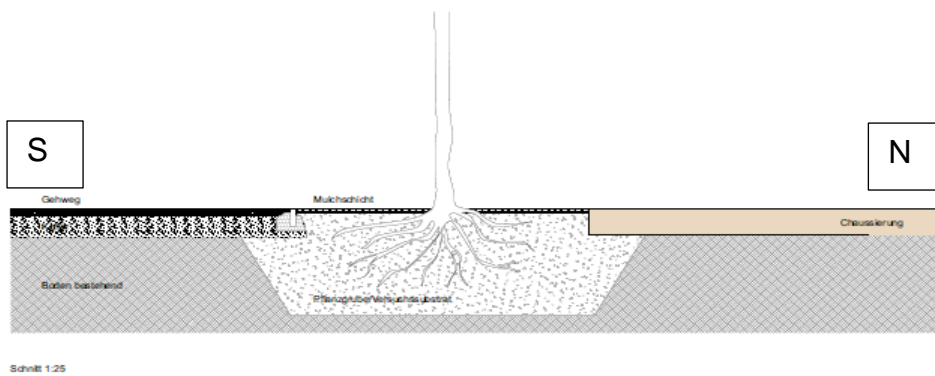
Abb. 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus in den Containern

**Lenkung der Baumwurzeln in Stadtbaumsubstraten**

Straßenbaum, Substrat, Wurzeln



**Abb. 3: Schnittansicht der Container mit selektivem Pflanzenkohleeinbau (Containerversuch)**



**Abb. 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus im Freiland (Langzeitversuch)**



#### Ergebnisse und Diskussion

Im Containerversuch gestaltete sich der Hauptzuwachs der Wurzeln in 80% der Fälle in die gewünschte Richtung. Die Wurzeln verliefen in die mit Pflanzenkohle angereicherten Zonen und bildeten in diesem Bereich ihre Feinwurzeln aus (s. Abb. 5). Insgesamt bildeten die Bäume ihr Wurzelwerk direkt in die Pflanzenkohle-Depots und zeigten im mageren Substrat zunächst ein zielgerichtetes Längenwachstum mit geringen Verzweigungen. In den Pflanzenkohle-Depots bildeten sich anschließend viel verzweigte Feinwurzelaufteile. Die Zuwächse messen im Durchschnitt 21 cm. Auch isolierte Zonen mit Pflanzenkohle, also Zonen, welche keine direkten Korridore mit Pflanzenkohle zu den Wurzeln aufwiesen, wurden erschlossen. Hierbei wurden Distanzen von 35 cm zu den Depots problemlos überwunden (s. Abb. 6). In 20% der Fälle haben die wurzelnackten Bäume keine Zuwächse ausgebildet. Dies ist auf Restvorkommen von Lehm auf und zwischen den Wurzeln zurückzuführen (s. Abb. 7).



Abb. 5: Klare Tendenz der Wuchsrichtungen



Abb. 6: Wuchsrichtung zur Pflanzenkohle



Abb. 7: Das Gegenteil: Kein Zuwachs aufgrund der Restnährstoffe der Lehmrückstände auf den Wurzeln

Die Wurzelzuwächse im Langzeitversuch werden in der folgenden Tab. 2 aufgelistet. Durch den homogenen Einbau der Komponenten erfolgte ein gleichmässiger Zuwachs der Baumwurzeln (s. Abb. 8)

Die Wurzeln haben in einer Vegetationsperiode bereits grosse Distanzen zurückgelegt. Der längste Zuwachs bei Baum-Nr. 1.3 wurde mit 63 cm ausgemessen.

Der durchschnittliche Zuwachs liegt bei 42 cm. Ebenfalls ersichtlich ist, dass die Wurzeln die Pflanzenkohle stark binden. Sämtliche Feinstwurzeln bei allen Bäumen haben stark adhärente Pflanzenkohlebeschichtungen



**Lenkung der Baumwurzeln in Stadtbaums substraten**

Straßenbaum, Substrat, Wurzeln

(s. Abb. 9). Der Baum hat sich auch stark in die Tiefe entwickelt und Wurzeln von rund 50 cm Länge ausgebildet. Der Feinwurzelanteil hat sich exponentiell vervielfacht und der Wurzelteller misst einen  $\varnothing$  von 75 cm, was ebenfalls einem Zuwachs von 55 cm entspricht (s. Abb. 10).

**Tab. 2: Zuwächse der Wurzeln an den Testbäumen im Langzeitversuch**

Baum	längster Zuwachs	durchschn. Zuwachs	tiefste Wurzel	Zuwachs $\varnothing$ Wurzelteller	Feinwurzelanteil
1.3	63cm	42cm	60cm	55cm	sehr hoch
2.3	51cm	38cm	40cm	43cm	sehr hoch
3.3	48cm	36cm	34cm	43cm	hoch



**Abb. 6: Tiefe Wurzeln an Baum 2.3**



**Abb. 7: Adhäsion der Pflanzenkohle**



**Abb. 8: Homogener, radiär ausgebildeter Wurzelteller**

Die Wurzeln können mittels des getesteten Substrates in einem mineralischen Substrat an bestimmte Orte geleitet werden. Der differenzierte Einbau funktioniert mittels Korridoren im Strassenunterbau und Gehwege. Das strukturstable Substrat weist eine geringere Lagerungsdichte auf als das danebenliegende Material für die Foundationsschichten. Die vorhandenen Grobporen suggerieren der suchenden Wurzelhaube einen durchwurzelbaren Raum. Dies ist mit einer Durchwurzelung der Leitungen und Leitungsgräben zu vergleichen (Heidger, 2002). Die Wurzel wächst in die dafür vorgesehenen Korridore und findet aufgrund der Grobporen und der Pflanzenkohle genügend Luft, Wasser und Nährstoffe vor. Diese Korridore sind zu vernetzen, um den Informationsaustausch der Wurzelspitzen und die Ausbildung eines symmetrischen Wurzelwerks zu gewährleisten. Die wurzelnackten Bäume konnten das Substrat sofort nach der Pflanzung durchwurzeln,

während die Bäume mit dem Restvorkommen von Lehm ein Nährstoff- und Körnungsbruch zu überwinden hatten. Dies spricht für Absehen der herkömmlichen Praxis von Pflanzungen mit Ballenware.

Die sehr vielversprechenden Resultate bezüglich der Wurzeileitung müssen weiterführend in einem grösseren und längerfristigen Projekt bestätigt werden. Die Frage wie tolerant die Bäume auf Wurzelkorridore sind und wie viele „Wurzelkorridore“ es pro Baum braucht damit er statisch ausreichend sichert und genügend Nährstoffe aufnehmen kann, gilt es abzuklären.

Die Korridore können unter den Leitungen, Koffierung und Foundationen (Unterbau) hinweg gebaut werden. Sie sind als luft- und wasserführende Schicht besonders durchwurzelnbar und aufgrund der groben Körnung strukturstabil. Es bleibt abzuklären, wie gross der Einfluss der Kapillarsperre ist. Wenn die Baumscheiben allerdings als entwässernde Elemente geplant werden, kann genug Feuchtigkeit in das Substrat gelangen. Auch die Pflanzenkohle als wasserspeicherndes und ausgesprochen sorptionsfähiges Element kann den Feuchtigkeitshaushalt steuern. Ein grosser Vorteil dieser Korridore ist die Möglichkeit ihrer unterirdischen Vernetzung. Diese Möglichkeit besteht natürlicherweise nur bei Neuanlagen und grossen Standortsanierungen. Ansonsten beschränken sich die Möglichkeiten weiterhin auf Wurzelraumerweiterungen und Belüftungen. Die Möglichkeit der Kopplung von Wurzelkorridoren und dem Leitungsbau birgt hierbei ein enormes Potential. Wie bereits erwähnt, schaden die regelmässigen Bautätigkeiten in Wurzelräumen der Grüninfrastruktur irreversibel. Die Lebensdauer eines Baumes übersteigt jene der eingesetzten Materialien im infrastrukturellen Städtebau. Die Planung von urbanen Grünräumen und insbesondere der Stadtbäume muss so ausgelegt werden, dass das Wurzelwerk, der Stamm und die Krone nicht von diesen Bautätigkeiten tangiert werden. Das heisst, dass der Grüninfrastruktur in der Planung vor allem unterirdisch kostengünstig Platz eingeplant werden muss. Die getestete Variante hat das Potential, diesen Ansprüchen gerecht zu werden. Die Schäden durch Wurzeleinwuchs in Leitungen sind hoch. Die Bäume erweitern ihren Wurzelraum mit Primär- und Suchwurzeln auch bei nicht vorgesehenen Räumen aktiv. Somit sind Wurzelkorridore, welche ähnliche Bedingungen aufweisen wie Leitungsgräben, unter oder parallel von Leitungen und Foundationen ein Mittel, diese Schäden einzudämmen kann. Diese Korridore sollten wenn möglich, mit anderen Wurzelräumen verbunden und unter den kurzlebigeren technischen Leitungen hindurch gezogen werden. So können die Bäume die wichtige Wurzelkommunikation ausüben und werden von Bautätigkeiten weniger tangiert. Nach Balder (1998) entwickeln die Bäume standortangepasst ihre Wurzeln. So können bei richtigen Substrattypen die Wurzeln aktiv gelenkt werden (Heidger, 2002). Diese Korridore können auch als entwässerndes Element eingeplant werden. So kann das Regenwassermanagement in Form von Wasserretention, mittels reduziertem Oberflächenabfluss und Interzeption, gewährleistet werden. Die Korridore sollten mit möglichst geringem Aufwand und geringer Materialintensität umsetzbar sein, da die finanziellen Mittel oftmals fehlen oder der Platz zu gering ist. Die verwendeten Materialien sind demnach auch alle wiederverwendbar. Denn alterungsfähige Stadtbäume sind die effektivste Vegetationsform um auf den erwähnten Klimawandel zu reagieren.

#### Literatur

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie. (2016). *Meteo Schweiz*. Abgerufen am 08. 09 2016 von [http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima\\_schweiz/tabellen.html](http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/tabellen.html)

FLL, (2010). *Empfehlungen für Baumpflanzungen - Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate*. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. - FLL.

Heidger, C. (2002). *Wurzeln sind lenkbar! Optimierungsmöglichkeiten im Wurzelraum von Strassenbäumen*. Osnabrück: Tagungsband 20. Osnabrücker Baumpflegetage.

Schmidt, H. (2011). Wege zu Terra Preta - Aktivierung von Pflanzenkohle. *Ithaka Journal*, S. 28-32.

Schmidt, H. (2016). *Wurzelapplikation von Pflanzenkohle - hohe Ertragssteigerung mit Pflanzenkohle*. Arbaz, Schweiz: Ithaka Journal.

ZTV-Vegtra-Mü (2016). *Zusätzliche Technische Vorschriften für die Herstellung und Anwendung verbesserter Vegetationstragschichten*. München. Baureferat Gartenbau, Landeshauptstadt München