

Wurzelraum und Baumstabilität von Straßen- und Stadtbäumen

Rooting Space and Anchorage of urban Trees

von *Christian Nørgård Nielsen*

Zusammenfassung

Erst wird die Physik und Ökologie der Baumstabilität und Baumverankerung dargestellt und folgende vier physikalische Verankerungskomponenten werden definiert: Wurzelballen, Stützwurzeln, Zugwurzeln und Belastungshomogenität. Die Abhängigkeit dieser Verankerungskomponenten von Windanpassung, Boden, Qualität der Großbaumpflanzen und Wurzelsymmetrie wird erläutert. Auf dieses Grundwissen aufbauend wird die physikalische Stabilität von Stadt- und Straßenbäumen diskutiert. Besonders kritisch werden schmale Baumgruben hervorgehoben, weil dort weder Stütz- noch Zugwurzeln ihre Funktionen auf Dauer befriedigend weiterentwickeln können. Auch der eventuelle Mangel an Vertikalwurzeln oder eine geringere Wurzelsymmetrie bei oft umgepflanzten Großbaumpflanzen wird die Stärke der Wurzelballenkomponente herabsetzen.

Summary

Tree anchorage was elucidated within the framework of four components of anchorage: Root plate size, Supporting roots, Tensions roots and Homogeneity of stress distribution among roots. The impact on these components from adaptation to wind, soil quality, plant quality and root symmetry was briefly reviewed. Based on these concepts physical and physiological stability of urban trees were discussed. The need for significant larger planting pits (with 20–35 m³ new soil substrate) for large grown urban trees is commonly acknowledged now, however the pits are very often designed with very irregular dimensions, e. i. long and narrow. Width of planting pits along streets are often below 1.5 metre and after the first 1–2 decades, space becomes increasingly insufficient for a continuous development of supporting roots and tension roots. When trees grow taller in such planting pits, stability becomes increasingly dependent on roots having found escapes from the planting pit. Furthermore, great uncertainty remains with respect to the continuous growth of heavy and deep root plates, because vertical structural roots may not develop in trees arising from large “ball and burlaped” trees.

1 Einleitung

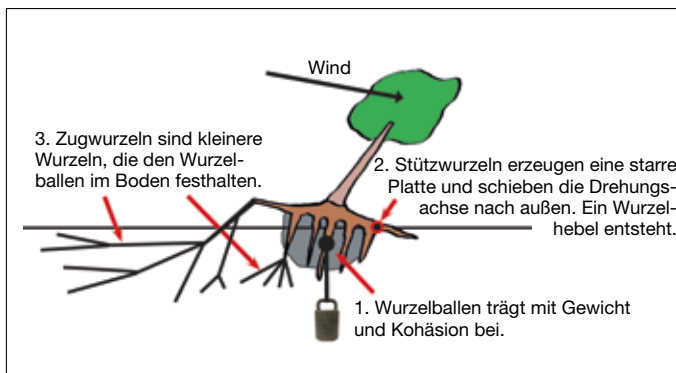
Grundlegende Forschung zur physikalischen Stabilität von freistehenden Bäumen gab es bisher nur wenig. Wir müssen daher oft die Ergebnisse der Grundlagenforschung zu Waldbäumen verwenden. Dabei ist zu bedenken, dass Waldbäume immer in sozialen Gefügen auftreten und daher bei weitem nicht den glei-

chen Windbelastungen wie Solitärbäume ausgesetzt sind. Es werden deswegen im Artikel mehrmals die grundlegenden Unterschiede zwischen Wald-, Landschafts- und Stadtbäumen angesprochen.

Die hier dargestellten Erkenntnisse beruhen auf der Promotions- und Habilitationsarbeit des Verfassers (NIELSEN 1990) und darauf folgende Forschung im

Abbildung 1: Skizzierung der ersten drei Verankerungskomponenten:

1. Der Wurzelballen mit Gewicht und Kohäsion
2. Die Stützwurzeln bilden durch auswärts gerichtete Verschiebung der Drehungsachse einen breiten Wurzelteller und einen längeren „Wurzelhebel“
3. Die Zugwurzeln, die den Wurzelballen/Wurzelballen festhalten



Bereich der Baumverankerung, Wurzel- und Baumarchitektur. Viele der Illustrationen sind popularisiert worden, um die intuitive Interpretation zu erleichtern.

Grundsätzlich muss die Verankerung des Baumes für die Belastungen von Wind, Schnee und Baumeigengewicht ausgelegt sein – sonst wird der Baum geschädigt oder umgeworfen (Abbildung 1). Während es relativ einfach ist, die Windbelastungen auf Krone und Stamm zu verstehen, ist die Verankerung oft eine „Blackbox“, die schwer zu durchschauen ist. Thema dieser Arbeit ist daher die Verankerung von Bäumen, wobei insbesondere auf die Grobwurzelarchitektur eingegangen wird.

2 Verankerung des Baumes

Um die physikalischen Mechanismen der Verankerung zu beschreiben und zu quantifizieren sind die folgenden vier Verankerungskomponenten wesentlich:

- Wurzelballengröße
- Stützwurzeln
- Zugwurzeln (oder „Seil-Wurzeln“)
- Belastungshomogenität

Die relative Stärke der drei ersten Komponenten ist vom Verfasser und von zwei weiteren Wissenschaftlern in biomechanischen, experimentellen Zugversuchen quantifiziert worden (COUTTS 1986; NIELSEN 1990; CROOK & ENNOS 1996).

2.1 Die Wurzelballenkomponente ist besonders wichtig bei Waldbäumen, weil sie bis zu 60 % der ge-

samten Verankerungsstärke ausmacht (Abbildung 1). Das Gewicht des Wurzelballens (Erde und Wurzeln) bei älteren Waldbäumen liegt oft bei ein bis zwei Tonnen und mag bei großen solitären Bäumen noch viel mehr betragen. Auch die Kohäsionskräfte im Erdmaterial in der potenziellen Bruchfläche zwischen dem Ballen und der umgebenden Erde tragen zur Verankerung bei – jedoch nur bis eine Wurzelballenlösung stattgefunden hat. Bei solitären Bäumen in der offenen Landschaft trägt die Wurzelballenkomponente jedoch nur wenig zur Gesamtverankerung bei. In der engen Baumgrube bei Stadtbäumen könnte die Wurzelballenkomponente eine durchaus wichtige Rolle spielen, da die Wurzelkomponenten oft geringe Ausbreitungsmöglichkeiten haben. Jedoch sollte man nicht allzu sehr auf tiefe und schwere Wurzelballen bei neueren Stadtbäumen setzen (siehe unten).



Abbildung 2: Unterseite eines Wurzelballens einer Tanne: Versagen durch tote, verfäulende und beim Sturm gebrochene Senkerwurzeln

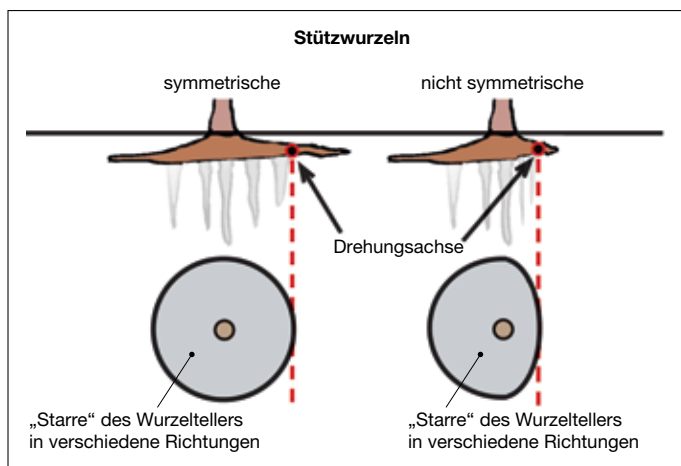


Abbildung 3:
Skizzierung der Stützwurzelkomponente in Wurzelsystemen mit symmetrisch bzw. asymmetrisch verteilten Stützwurzeln; der graue Kreis stellt die Stärke des Wurzeltellers in verschiedenen Richtungen dar

2.2 Die Stützwurzel-Komponente ist generell wichtig, weil sie dem Baum einen steifen Wurzelteller sichert. Die Stützwurzel besteht aus den großen, dicken Horizontalwurzeln, die vom Stammfuß auswachsen. Der Durchmesser dieser Wurzeln nimmt jedoch mit zunehmendem Abstand vom Baum rasch ab und dort, wo diese Wurzeln (beim Wurf) brechen oder biegen, hört die Stützfunktion auf. Die biomechanische Anpassung verleiht diesen Wurzeln einen unregelmäßigen, oft ovalen Querschnitt, der auch sehr zur „Stärke“ der Wurzeln beiträgt. Diese starre Platte des Wurzelballens verschiebt die Drehungsachse nach außen, wobei viele Verankerungskräfte durch einen längeren Hebel im Verankerungsmoment verstärkt werden ($\text{Moment} = \text{Kraft} \times \text{Hebel}$ – siehe Abbildung 1 und 2). Die Wurzelballenkomponente wird zum Beispiel stark durch den Stützwurzelhebel verstärkt. Die Stützwurzelkomponente hängt sehr von der Wurzelsymmetrie ab (siehe weiter unten).

2.3 Die Zugwurzel-Komponente („Seilwurzel“-Komponente) besteht aus den kleineren verholzten Wurzeln, die den starren Wurzelteller/Wurzelballen in der umgebenden Erde „festnageln“ (Abbildung 1 und 4). Jede Hauptwurzel gilt natürlich sowohl als Stützwurzel innerhalb des Wurzeltellers als auch mit ihren Wurzelzweigen als Zugwurzel außerhalb des Wurzeltellers. Jedoch werden die zwei Funktionen der Wurzeln von sehr unterschiedlichen Faktoren beeinflusst und üben deutlich unterschiedliche physikalische Kräfte aus. Eine starke positive Wechselwirkung

zwischen den zwei Wurzelkomponenten ist immer vorhanden (Abbildung 1).

2.4 Die Belastungshomogenität der Wurzelkomponenten ist in der Praxis sehr wichtig – sie ist jedoch nicht leicht zu verstehen und in der Praxis besonders schwierig zu diagnostizieren. Diese Verankerungskomponente muss im Rahmen des Verankerungs-Lösungsprozesses verstanden werden: Der Baum wird nur sehr selten von einer einzigen Windböe geworfen. Eher werden die Tausenden von Zugwurzeln in einem längeren Sturm oder mehreren Stürmen sequentiell gerissen. Die Überwindung der Verankerung ist also – besonders bei großen alten Bäumen – ein länger andauernder Prozess, in dessen Verlauf die Zugwurzeln mehr oder weniger nacheinander überwunden werden. Während dieses Prozesses ist es entscheidend, ob viele Zugwurzeln homogen belastet werden (und somit weit stärkere Windböen überstehen) oder ob die Zugwurzeln häufiger einzeln belastet werden (und somit schneller reißen). Diese Belastungshomogenität ist sehr von der Architektur der kleineren Wurzelklassen abhängig (Abbildung 4). Herzwurzeln haben häufig eine gute und Flachwurzeln häufig eine schlechte Belastungshomogenität, aber diese Grundregel wird durch die Wurzelschnitte in der Baumschulproduktion und durch die Erziehung des Baumes im starken Windfeld außer Kraft gesetzt. Flachwurzeln, solitäre Nadelhölzer können also durch die Wurzelarchitektur verändernde Abrisse von Seitenwurzeln und die Umlenkung des Wurzelzuwachses somit durchaus eine

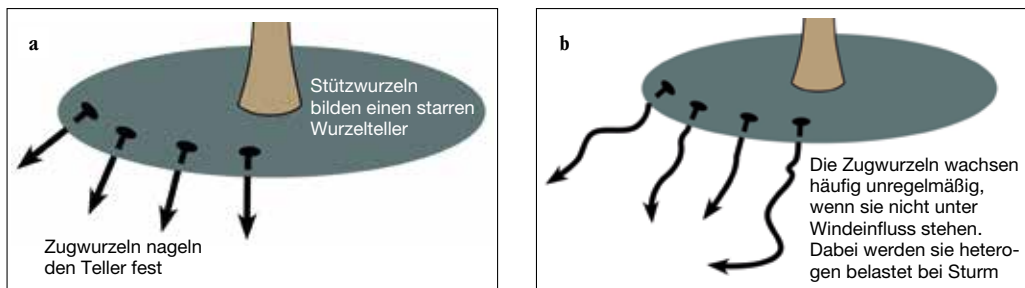


Abbildung 4 a + b: Skizzierung der Abhängigkeit der Zugwurzelkomponente von der Belastungshomogenität – dargestellt bei verschiedener Wurzelarchitektur: Wenn die Zugwurzeln nicht synchron belastet werden, werden sie einzeln durch Windbelastung überwunden

hohe Belastungshomogenität entwickeln (NIELSEN & KNUDSEN 2004; NIELSEN 2005, 2009).

Die Bedeutung der Belastungshomogenität ist intuitiv zu verstehen, wenn man am Spiel „Tauziehen“ teilgenommen hat: Wenn nicht alle gleichzeitig ziehen, verliert das Team.

3 Bodenqualität und Pflanzenqualität

Die Qualität des Bodenmaterials beeinflusst sehr stark die Wurzelausbreitung – nicht zuletzt in die vertikale Richtung. Physikalische Barrieren im Boden oder der bei Stadtbäumen häufig auftretende Mangel an Sauerstoff in tiefen Horizonten begrenzen oftmals die Entwicklung von tiefen Senkerwurzeln. Auch wenn diese tiefen Wurzeln in der Regel weniger als 10 % der gesamten Grobwurzelmasse ausmachen, haben sie sehr große Bedeutung für den Wasserhaushalt und das Gewicht des Wurzelballens (die 1. Verankerungskomponente) – siehe Abbildung 5.

In der gleichen Weise mag die moderne Baumschulproduktion von Großbaumpflanzen eine negative Rolle spielen. Während die meisten älteren Stadtbäume gute Senkerwurzeln haben, deutet einiges darauf hin, dass natürliche Senkerwurzeln bei den neueren Herstellungsverfahren von Ballenpflanzen im Laufe der Umpflanzungen verloren gehen (Abbildung 6; NIELSEN 2009b, 2013a,b). Auch die modernen „Springring-Container“ führen zu einem Horizontalbiegen der Vertikalwurzeln am Boden des Containers. Wenn nicht zielgerichtet auf die Rückschneidung solcher

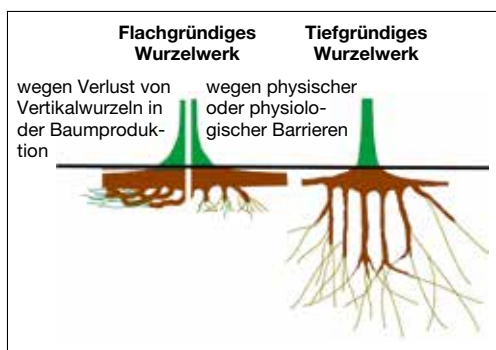


Abbildung 5: Die Tiefgründigkeit der Vertikalwurzeln ist entscheidend für die Stärke der Wurzelballenkomponente. Diese hängt nicht nur vom Boden ab, sondern auch von der Qualität des Pflanzenmaterials und zugefügten Wurzeldeformationen

verbogenen Wurzeln bei der Umpflanzung geachtet wird, ist auch bei diesen Bäumen die Vertikalwurzelbildung beeinträchtigt. Das gleiche Problem kann auch bei Bäumen bestehen, die in anderen Containertypen gepflanzt werden.

Die horizontale Begrenzung der Horizontalwurzeln in der engen Baumgrube und ein sauerstoffreiches Bodensubstrat können jedoch Wurzeln zu einem vertikalen Verlauf zwingen oder locken, aber dies wird nicht immer ausreichen, um einen stabilen Wurzelballen zu bilden. Weitere Forschungsarbeiten sind in diesem Bereich dringend notwendig.



Abbildung 6: Das Wurzelwerk einer Linde (*Tilia cordata*) – ausgehoben wegen Umlegung einer Baumreihe in Kopenhagen, entstanden aus einer Ballenpflanzung

4 Wurzelsymmetrie und Starre des Wurzeltellers

Eine Voraussetzung für eine starke Stützwurzelkomponente und einen „starken“ Wurzelteller ist eine passende Anzahl von sowie eine gute Symmetrie der Stützwurzeln.

Die Starre der einzelnen Stützwurzel hängt vom Wurzeldurchmesser in der vierten Potenz ab, weil nicht nur der Durchmesser, sondern auch die biomechanisch ausgebildete „Ovalität“ des Wurzelquerschnittes mit zunehmendem Abstand vom Stamm drastisch abnimmt (Abbildung 7). Auch der horizontale Gradient der Wurzelstarre ist sehr drastisch. Bei „Herzwurzeln“ mit einer sehr hohen Anzahl von Horizontalwurzeln

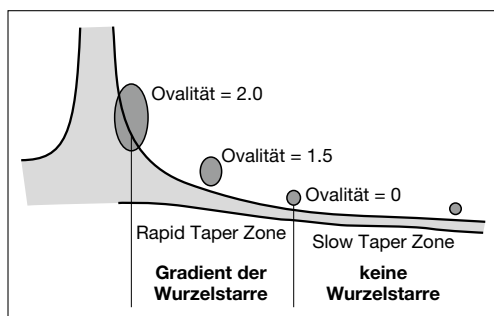


Abbildung 7: Die Starre der Stützwurzeln nimmt exponentiell mit zunehmendem Abstand vom Stamm ab. Durchmesser und Form des Wurzelquerschnittes sowie Wurzelverzweigungen sind entscheidende Faktoren

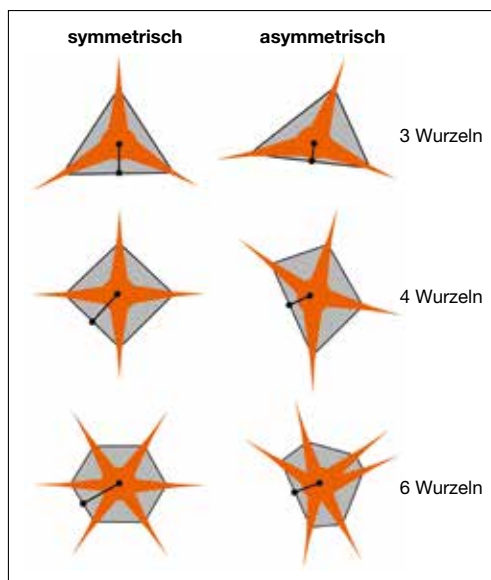


Abbildung 8: Die Starre des Wurzeltellers ist sehr von Anzahl und Symmetrie der Stützwurzeln abhängig. Die optimale Anzahl von Stützwurzeln ist zwischen vier und acht, denn bei höherer Anzahl werden die Wurzeln dementsprechend alle dünner



Abbildung 9: 25 Jahre altes Wurzelwerk einer Fichte; die schwarze Linie stellt die Grenze des starren Wurzeltellers dar – nach Einschätzung des Autors

Tabelle 1: Die relative Bedeutung der vier Verankerungskomponenten in verschiedenen Umgebungen

Verankerungs- komponente	Umwelt		
	Wald	freistehend	1 m breite Baumgrube
1. Wurzelballen	50–60 %	~ 10–20 %	siehe Text
2. Stützwurzeln	25–30 %	~ 15–20 %	siehe Text
3. Zugwurzeln	10–25 %	~ 60–75 %	siehe Text
4. Belastungshomogenität	niedrig	hoch	siehe Text

kleinerer Wurzeldurchmesser ist somit die Stützwurzelkomponente ziemlich schwach. Herzwurzel haben oft Wurzelballen mit geringer horizontaler Ausbreitung – im Gegensatz zu „Flachwurzeln“ mit sehr breiten Wurzeltellern. Jedoch setzt diese Schlussfolgerung eine gute Wurzelsymmetrie voraus, die oftmals nicht vorhanden ist (Abbildung 9).

Nach Studien von Tausenden von Wurzeln kann der Verfasser feststellen, dass eine perfekte Wurzelsymmetrie in Bäumen nie natürlich vorkommt. Man muss von einer gewissen natürlichen Asymmetrie ausgehen (NIELSEN 1990, 1998; COUTTS et al. 1999; NIELSEN & HANSEN 2006). Die optimale Anzahl von Stützwurzeln beträgt zwischen vier und acht, weil generell mit einer nicht perfekten Wurzelsymmetrie zu rechnen ist (Abbildung 8 und 9). Auch die Zugwurzel-Komponente ist von einer zufriedenstellenden Wurzelsymmetrie abhängig.

Eigentlich kann bei sorgfältiger handwerklicher Arbeit bei der Baumschulproduktion künstlich eine gute Wurzelsymmetrie durch die Wurzelschnitte erzeugt werden. Diese Symmetrie der Horizontalwurzeln ist ein wichtiger Qualitätsparameter bei Ballenpflanzen. Oft jedoch ist die Wurzelsymmetrie unbefriedigend – sowohl bei kleinen Forstpflanzen als auch bei großen Ballenpflanzen.

5 Der Traum von einer Pfahlwurzel

Die Pfahlwurzel spielt für die Jugendstabilität sowie für die stabile Entwicklung eines geraden Stammes eine große Rolle (BIEBELRIETHER 1964). Jedoch muss berücksichtigt werden, dass die Pfahlwurzel grundsätz-

lich während der modernen Baumschulproduktion verloren geht. Bei einigen Arten und nur bei kleinen Forstpflanzen kann die Pfahlwurzel später mehr oder weniger regenerieren – bei Stadtbäumen, die als Ballenpflanzen gegründet werden, sollten Pfahlwurzeln allgemein nicht erwartet werden.

6 Die relative Bedeutung der Verankerungskomponenten verschiedener Lebensräume

Quantitative Daten gibt es nur für Waldbäume, aber aufgrund von Studien der Wurzelarchitektur von solitären und semisolitären Landschaftsbäumen (NIELSEN et al. 2002, 2004; NIELSEN & HANSEN 2006) wird hier durch den Verfasser die relative Stärke der Verankerungskomponenten bei freistehenden Bäumen geschätzt (Tabelle 1). Die Entwicklung der Komponenten in der urbanen Baumgrube wird weiter unten diskutiert.

Die biomechanische Wurzelanpassung bei Waldbäumen ist sehr viel geringer als bei solitären Landschaftsbäumen. Insbesondere die Zugwurzeln unterliegen bei freistehenden Bäumen großen morphologischen Veränderungen durch regelmäßige Abrisse von Seitenwurzeln, wobei auch eine weit höhere Belastungshomogenität entsteht. Auch in den Stützwurzeln werden Schwächen der Verteilungssymmetrie ausgebessert durch besonders starken Anbau von Reaktionsholz in stark belasteten Stützwurzeln. Trotz einer Konzentration der Feinwurzeln im Bereich des Kronenrandes haben die Zugwurzeln bei Solitärbäumen oft eine horizontale Ausbreitung, die den Kronenradius weit übertrifft – dies ist jedoch sehr von der

Baumart abhängig. Bei freistehenden Bäumen erlebt der Baum oft wiederkehrende Wurzelballenlösungen, die bloß eine erhöhte Anpassung der Wurzeln auslösen. Dagegen führt eine Wurzelballenlösung bei Waldbäumen mit mehr als 20 Metern Höhe eher zu irreversiblen Schäden, also Absterben der Senkerwurzeln, dauerhafte Verringerung des Wasserhaushaltes, Wipfeldürre und zu einer zunehmenden Degeneration – es entstehen Symptome, die früher als so genannte „Waldsterbenssymptome“ beschrieben wurden (NIELSEN 2005, 2009a; NIELSEN et al 2002, 2004, 2011). Bei solitären Bäumen gilt, dass besonders die Zugwurzelkomponente und sekundär die Stützwurzelkomponente wichtig sind. Bei Waldbäumen trägt dagegen die Wurzelballenkomponente die größte Verantwortung für physische und physikalische Stabilität.

7 Stabilität von Straßen- und Stadtbäumen

7.1 Die Situation in der Stadt

Die Windbelastung von Straßenbäumen hängt unterdessen von Höhe, Form und Abstand der umgebenden Gebäude ab, wobei die Leewirkung von Gebäuden sehr wohl durch starke Turbulenzen neutralisiert werden kann. Wenn nicht gerade von Häusern umringt – wie in Innenhöfen – können Straßenbäume bei Sturm durchaus sehr starken Turbulenzen ausgesetzt sein.

Baumhöhe und Kronengröße sind von entscheidender Bedeutung. Die meisten jüngeren Stadtbäume sind unter zehn Meter hoch und, wenn sie nicht gerade in großen Baumgruben mit gutem Substrat gepflanzt worden sind, bleiben auch relativ niedrig und somit weniger anfällig für Sturmschäden. Durch den häufig vorhandenen Wasserstress investieren die Bäume wenig in Höhenwachstum – große Mengen an Kohlenhydraten werden für die „Wartung“ des Wurzelwerkes und das Wachstum am unteren Stammbereich angewendet (NIELSEN et al. 2002, 2004). Bäume in Stress auslösenden Wurzelräumen entwickeln hohe Wurzel-/Spross-Verhältnisse und geringe Baumhöhen und somit auch eine geringere Sturmanfälligkeit. Die verhältnismäßig wenigen Baumwürfe in der Stadt lassen sich somit teilweise auf die ungünstigen Wachstumsbedingungen zurückführen.

Die hohe Stabilität unserer alten und großen Stadtbäume ist jedoch eher mit den früher weit besseren Bodenverhältnissen zu erklären. Die Baumethoden von Straßen und Gehwegen bis Mitte der 1960er Jahre waren viel wurzelfreundlicher als heute und die horizontale Wurzelausbreitung unserer alten Bäume ermöglichte eine gute Entwicklung von Stütz- und Zugwurzeln. Der laufende Verlust an diesen alten hohen Bäumen ist häufig mit neueren Schädigungen durch Tiefbauarbeiten verbunden.

Eine große Herausforderung bei Neupflanzungen von Stadtbäumen – insbesondere bei der Herstellung von Baumgruben nach den neuesten Richtlinien – ist auf genügend Platz für beide Wurzelverankerungskomponenten zu achten. Wenn 25–30 m³ große Baumgruben mit gutem Substrat und Wasserhaushalt angelegt werden, ist die Voraussetzung für hochwachsende Bäume mit relativ niedrigen Wurzel-/Spross-Verhältnissen geschaffen worden. Und somit ist auch die Voraussetzung für erhöhte künftige Sturmschäden geschaffen.

7.2 Die Wurzelballenkomponente bei Stadtbäumen

Weil Unsicherheit bezüglich des Vorhandenseins von ausreichend vielen Vertikalwurzeln an Stadtbäumen besteht, sollte grundsätzlich kein tiefer und schwerer Wurzelballen erwartet werden. Wurzeln, die sich am Grubenrand oder entlang von Belüftungsrohren in die Tiefe entwickeln, sorgen nicht für genügend hohe Wurzeldensität, um einen tiefen Wurzelballen festzuhalten. Wurzellockstoff und/oder Bodenbelüftung unmittelbar unter dem zentralen Wurzelsystem mag in der Theorie Feinwurzeln anlocken und somit die Voraussetzung für eine künftig hohe zentrale Vertikalwurzelintensität schaffen, aber eine solche Technik muss erst geprüft werden.

Weil die Wurzelkomponenten leider oft daran gehindert werden, sich effektiv zu entwickeln (siehe unten), wäre eine Forschung im Hinblick auf die Stimulierung von Vertikalwurzeln und die Wurzelballenkomponenten äußerst sinnvoll und wichtig. Es besteht nach wie vor große Unsicherheit bezüglich des Beitrags der Wurzelballenkomponente zur Baumstabilität.

7.3 Die Stütz- und Zugwurzelkomponenten bei Stadtbäumen

In der Stadt ist die bleibende Herausforderung von Arboristen, genügend Wurzelraum zu schaffen. Die Baumgrube muss fast immer an Infrastruktur, Gebäude und Straßenzüge angepasst werden und somit nehmen die Baumgruben oft irreguläre Formen an. Entlang von Straßen sind die Baumgruben typischerweise lang und schmal.

Weil besonders Straßenbäume starken Turbulenzböen ausgesetzt sein können und weil wenig Verlass auf die Wurzelballenkomponenten ist, ist der Fokus auf die zwei Wurzelkomponenten zu richten, weil semisolitäre Bäume überwiegend durch die Wurzelkomponenten stabilisiert werden.

Bei Stadtbäumen sollte generell nicht von einer genetisch authentischen Wurzelarchitektur ausgegangen werden. Durch die Produktionsverfahren der Großbaumschulen mit mehrmaligen Wurzelrückschnitten werden selbst Baumarten mit herkömmlicher Pfahl- oder Flachwurzel-Architektur alle künstlich in stark verzweigte, herzwurzelähnliche Formen verwandelt. Dies beschleunigt nicht nur die Etablierung des Baumes am neuen Standort, es ist auch von großem Vorteil in Bezug auf die Zugwurzelkomponente und die Belastungshomogenität bei der Baumverankerung. Die Entwicklung von einer hohen Anzahl neuer Zugwurzeln nach der Etablierung sichert erstmal eine gute und effektive Verankerung des jungen Baumes selbst in kleinen Baumgruben. Feldstudien bei Linden haben gezeigt, dass diese künstlich erzeugte hohe Wurzelanzahl zirka zehn Jahre nach der Etablierung weiterhin erhalten ist (NIELSEN 2009b). Wenig ist über die langfristige, architektonische Anpassung von wurzelgeschnittenen Ballenpflanzen bekannt, aber allgemein findet eine Ausdifferenzierung innerhalb von Wurzelbüscheln statt, die an Wurzelkappstellen entstehen. Es ist durchaus zu erwarten, dass die Wurzelarchitektur von Ballenpflanzen sich über Jahrzehnte hinweg langsam der genetischen Veranlagung annähert. Und somit steigt auch die Anforderung an den Wurzelraum für starke Stütz- und Zugwurzeln, die sich an große und weiterreichende Erdmassen binden.



Abbildung 10: Baum an einer Hausmauer in Bonn: Weder Stützwurzel- noch Zugwurzelkomponente können in die Hausrichtung entwickelt werden. Wenn die Baumkrone sich über das Gebäude erhebt, wird der Baum sehr sturmgefährdet

Damit hochwachsende Baumarten zumindest Platz haben, um Stützwurzeln in allen Richtungen auszubilden, sollten Baumgruben nicht schmäler als 1,8 bis 2,0 Meter gebaut werden. Egal wie stark sich die Zugwurzelkomponente entwickelt, werden hohe Bäume bei Verlust der Stützwurzeln instabil (Abbildung 10 und 11). Nur wo die stützenden Horizontalwurzeln mehr oder weniger nach unten abbiegen oder einen horizontalen Fluchtweg aus der Grube finden, vermögen Stützwurzeln ihre Funktion in schmalen Gruben zu erfüllen.

Das gleiche Problem gilt für die Zugwurzelkomponente. Wenn Bäume in die Höhe wachsen, wird die „Seil-Verankerung“ irgendwann ungenügend, wenn die Zugwurzeln schon nach einem Längenwachstum



Abbildung 11: Platanen am Straßenrand: Stützwurzeln konnten Richtung Fahrbahn nicht entwickelt werden. Zugwurzeln haben sich unter dem Gehweg in den benachbarten Garten entwickelt (Foto: DR. CLEMENS HEIDGER, Hannover)

von 50–100 cm aufgehalten oder durch Bauarbeiten durchtrennt werden. Selbst eine starke Verzweigung dieser Wurzeln reicht dann nicht mehr aus, weil zu wenig Erdmaterial an den Wurzeln haftet. Die Stabilität von großen Bäumen in schmalen Baumgruben beruht sehr darauf, dass die Wurzeln Fluchtwege finden, um der Baumgrube zu entweichen. Dies ist in der Praxis häufig der Fall – aber nicht immer, ohne anderswo Probleme anzurichten (Abwasserleitungen etc.). Wenn sich jedoch in der Reichweite der Wurzeln verschiedene raue oder unregelmäßige „nagelfeste“ Gegenstände befinden, haben die Zugwurzeln eine überragende Fähigkeit, sich an solche Gegenstände „festzukleben“ und kleinste Risse auszunutzen, um Halt zu gewinnen (Felswände, Ziegelwände, Bordsteine, alte Metallrohre etc.).

Selbst bei den neueren Methoden zum Aufbau von Fahrrad- und Gehwegen finden die Wurzeln häufig Schlupfwege aus der Baumgrube heraus, was für die Stabilität sehr wichtig ist. Kritisch für hochwachsende Baumarten ist, wenn die Wurzelausbreitung in eine oder mehrere Richtungen ganz unterbunden ist (z. B. Betonmauer, Wurzelbarrieren etc., Abbildung 11). Ideal für die Entwicklung von Stütz- und Zugwurzeln sind quadratische oder runde Baumgruben, wo die Wurzeln sich möglichst frei und weit entwickeln können (Abbildung 12). Wenn schmale Baumgruben mit wurzelundurchdringbaren Wänden angelegt werden,



Abbildung 12: Platanen mit Platz für gute Stütz- und Zugwurzelsbildung in alle Richtungen (Bonn)

sollten großwüchsige Baumarten nicht verwendet werden.

8 Ausblick

Binnen der letzten 15 Jahre sind neue und stark verbesserte Methoden (z. B. die FFL-Richtlinien) zum Aufbau von Baumgruben entwickelt worden. Größere Baumgruben mit gutem Substrat werden wüchsiger und größere Bäume zur Folge haben. Dabei steigt jedoch auch das Bedürfnis nach einer guten Verankerung dieser Bäume. Gleichzeitig wird auch zunehmend mit Wurzelbarrieren und Wurzelkontrolle gearbeitet, und Baumgruben werden zudem schmal angelegt. Es ist zu fürchten, dass viele neue wüchsige Stadtbäume, in die viel Geld und Hoffnung investiert wird, nach wenigen Jahrzehnten in Stabilitätsprobleme hineinwachsen können, weil eine langfristige Entwicklung der notwendigen Wurzelverankerungskomponenten nicht beachtet wurde.

Literatur

- BIBELRIETER, H., 1964: Unterschiedliche Wurzelbildung bei Kiefer verschiedener Provenienzen. Forstw. Centralblatt, 129–140.
- COUTTS, M. P., 1986: Components of Tree Stability in Sitka Spruce on Peaty Gley Soil. Forestry (1986) 59 (2): 173–197.
- COUTTS, M. P.; NIELSEN, C. C. N.; NICOLI, B. C., 1999: The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. Plant and Soil 217, 1–15.
- CROOK, M. J.; ENNOS, A. R., 1996: The anchorage mechanics of deep rooted larch, *Larix europaea* × *L. japonica*. Journal of Experimental Botany, Vol. 47, No. 303, 1509–1517.
- NIELSEN, C. C. N., 1990: Einflüsse von Pflanzenabstand und Stammzahlhaltung auf Wurzelform, Wurzelbiomasse, Verankerung sowie auf die Biomassenverteilung im Hinblick auf die Sturmfestigkeit der Fichte. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 100, J. D. Sauerländer's, Frankfurt am Main.
- NIELSEN, C. C. N., 1998: Wind stability as affected by the quality of bare-root seedlings. Conference proceeding „Rotutveckling och stabilitet“, Skogforsk, Redogörelse nr. 7. 68–73. Text in English, Dänische Zusammenfassung.
- NIELSEN, C. C. N., 2005: Alterungs- und Degenerationsmechanismen bei Wald- und Landschaftsbäumen. Proceeding Osnabrücker Baumpflegtage 6–7 Sept. 2004. 1–12.
- NIELSEN, C. C. N., 2009a: Sustainable forestry – a necessary adjustment to Danish nature near forestry. Dansk Skovbrugs Tidsskrift, Heft 3, 93. årgang. 184.
- NIELSEN, C. C. N., 2009b: A comparison of sinker root development in urban and forest trees. In: WATSON, G. W.; COSTELLO, L.; SCHARENBROCH, B.; GILMAN, E. (Hrsg.): The landscape below ground III: proceedings of a third international workshop on tree root development in urban soils. International Society of Arboriculture, 266–275.
- NIELSEN, C. C. N., 2013a: Træers skjulte halvdel IV: Rodens udvikling fra frø til felt 1. Grønt Miljø 2/2013, 20–23.
- NIELSEN, C. C. N., 2013b: Træers skjulte halvdel V: Rodens udvikling fra frø til felt 2. Grønt Miljø 3/2013, 14–18.
- NIELSEN, C. C. N.; KNUDSEN, M. A., 2004: Stormstabilitet og sundhed i en rødgranskærm. 7 års resultater efter skærmstillingen. [Wind stability and tree health in a Norway spruce shelterwood seven years after the shelter thinning.] Dansk Skovbrugs Tidsskrift 89, 115–128.
- NIELSEN, C. C. N.; GLENT-MADSEN, B.; GAARDE, M.; NORD-LARSEN, T., 2002: Udvikling i stormstabilitet i mellemaldrende rødgrantræer efter stærk fritstilling. [Changes in wind stability after sudden and strongly increased wind exposure in a middle aged Norway spruce stand.] Engl. Zusammenfassung. Dansk Skovbrugs Tidsskrift, no. 2, 41–72.
- NIELSEN, C. C. N.; HANSEN, J. K., 2006: Functional aspects of root architecture and biomass allocation of six major European forest tree species. Final consolidated scientific report for the EU-project „Aspects of sustainability by afforestation of agricultural set-aside areas: Development of roots and root/shoot-ratios“ (contract AIR3-CT93-1269). Vol. 1, 297.
- NIELSEN, C. C. N.; SVENDSEN, T. B.; PEDERSEN, N.; ANDERSEN, V., 2011: Kan man måle rodgageløsning på træerne? [Is it possible to measure root plate loosening in trees?] Skoven, no. 3, 134–136.

Der Autor

Aufbauend auf eine Forschungskarriere mit Baum- und Wurzelforschung in Dänemark, Deutschland und England betreibt der Autor jetzt den privaten Konsulentbetrieb „SkovByKon“ mit Konsulenttätigkeit, Unterricht und Buchausgaben. Er arbeitet intensiv an der Erhaltung älterer Bäume und Bewertung von gefährlichen Bäumen.

C. Christian Nørgård Nielsen
dr.agro (dr.habil), cand.silv,
bachelor of commerce
(Marketing)
SkovByKon
Nørremarksvej 5, Egholt
DK-6064 Jordrup
Tel. +45 3616 6263
Mobil +45 6179 6263
cnn@skovbykon.dk
www.skovbykon.dk

