



Abb. 1: Bepflanzung der Grünstreifen mit mehreren Reihen Winter-Linden (links: westlicher Grünstreifen, rechts: östlicher Grünstreifen), starker Krautwuchs in den Baumscheiben deutet auf hohen Nährstoffgehalt des Oberbodens hin, Ausfälle durch Bruch und Wurf (rechts)

Einfluss von Wurzelwachstum und Dickenwachstum

Stabilität einer Linden-Pflanzung

Von Henrik Weiß und Rüdiger Clausen

Aufbauend auf den Feststellungen zur Stabilität von Bäumen in AFZ-DerWald Nr. 4/2010 werden im Folgenden die Ergebnisse einer Untersuchung vorgestellt, bei der der Einfluss des Substrates auf die Durchwurzelung des Oberbodens während der Anwachsphase einer Lindenpflanzung und damit auf deren Standsicherheit im Mittelpunkt stand. Außerdem wird anhand der axialen Verteilung des Dickenzuwachses einzelner Bäume die Stabilitätsentwicklung des Stammes analysiert.¹⁾

Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der Untersuchung war eine 3- bis 4-jährige Winterlinden-Pflanzung auf dem Gelände des BMW-Werks in Leipzig. Die beiden untersuchten mehrreihigen Alleen (900 Bäume) begrenzen den zentralen Bereich des Werks mit den Produktions- und Lagergebäuden auf der Ost- bzw. Westseite.

Die gleichaltrige Lindenpflanzung eignete sich wegen der sehr ähnlichen (künstlich geschaffenen) Standortbedingungen sehr gut für eine umfangreiche Analyse der Entwicklung wichtiger Stabilitätspa-

rameter. Das (Umwelt-)Management des BMW-Werkes hatte großes Interesse an einer fundierten Ursachenforschung, um bei künftigen ähnlichen Vorhaben Fehler zu vermeiden bzw. am Standort Handlungsalternativen für eine adäquate Jungbaumpflege zum langfristigen Erhalt und zur Förderung des Bestandes zu erhalten.

Bestandesbegründung

Am Standort wurde der ehemals anstehende Ackerboden im gesamten Gelände im Zusammenhang mit dem Werkneubau vollständig abgetragen bzw. extrem verdichtet und durch Kalkzugabe stabilisiert. Der pH-Wert wurde auf über 11 angehoben und durch die Verdichtung wurden ähnliche Werte wie beim Autobahn- oder Flugplatzbau erreicht (Verformungsmodul > 200 MN/m²). Pflanzenwachstum ist

in diesem Baugrund nicht möglich. Die Baumstandorte mussten künstlich neu geschaffen werden.

Die Winter-Linden wurden laut Liefererschein der Baumschule als Hochstämmchen, 3 x verschult, mit Drahtballen in der Größe 14 bis 16 cm Umfang in 1 m Höhe geliefert. Die Pflanzplanung sah Baumgruben mit einer Ausdehnung von 3 x 3 m, 1,10 m tief vor. Diese Baumgruben würden den Linden dann voraussichtlich für das gesamte Baumleben als durchwurzelbarer Raum zur Verfügung stehen, da ein Einwachsen von Wurzeln in den hochverdichteten, mit Kalk stabilisierten Baugrund sehr unwahrscheinlich ist.

Der Substrataufbau in den Baumgruben war zweischichtig geplant, wobei das Untersubstrat gröber und nährstoffärmer sein sollte. Die Umsetzung des Substrataufbaus erfolgte jedoch nicht zweischichtig, sondern die Wurzelballen sollten in ein künstliches Baumpflanzsubstrat (i.F. Substrat genannt) gesetzt werden, das als „homogene Vegetationstragschicht aus Substratgemisch nach LIESECKE und HEIDGER ... mit Nachweis der Tragfähigkeitsgüte und des Porenvolumens unter Verkehrsflächen ..., inkl. lagenweiser Verdichtung nach ZTVT-STB, Verdichtungsgrad Dpr 98 %. E_{v2} 45 MN/m²“ eingebaut werden sollte (LV Grünanlagen). Die technischen Parameter des Substrates entsprachen damit den Anforderungen aus den FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2 [1] für eine überbaubare Vegetationstragschicht. Auf der gesamten Grünfläche sollte schließlich als geringmächtige Vegetationsschicht (zur Ansaat von Rasen und

Dr. H. Weiß ist ö.b.v. SV für Gehölze, Schutz- und Gestaltungsgrün, Gehölzwertermittlung, Baumsanierung und Bewertung der Verkehrssicherheit und Inhaber des Büros Baum & Landschaft in Dresden. R. Clausen ist Landschaftsarchitekt und Mitinhaber der Firma GFSL Clausen+Scheil in Leipzig.



Henrik Weiß
info@baum-land.de

¹⁾ Die Untersuchung fand im Auftrag der BMW-AG, Werk Leipzig, statt und wurde seitens der Werksleitung engagiert gefördert und unterstützt. Bei der Anlage der Bodenprofile wurde der Unterzeichner dankenswerterweise durch die Lebenshilfe für Menschen mit geistiger Behinderung Leipzig e.V. unterstützt. Die Analysen der Proben fanden z.T. am Institut für Forstbotanik und am Institut für Bodenkunde der TU Dresden statt.

Kräutern, i.F. Oberboden genannt) aufgebracht werden.

Zwischen den Baumstandorten waren in 1,25 m Tiefe Belüftungsgräben vorgesehen, die die Pflanzgruben miteinander verbinden. Die Grabensohle wurde zur Abführung des anfallenden Sickerwassers mit dem Drainagesystem des Gesamtgeländes verbunden, um Staunässe zu verhindern. Jede Pflanzstelle sollte lt. Planung einen 2,90 m tiefen Belüftungsschacht (mit senkrechtem Belüftungsrohr) und ursprünglich ein Bewässerungsrohr erhalten. Das Bewässerungsrohr wurde bei der Ausführung jedoch nicht installiert. Die Bewässerung erfolgt über Gießmulden. Dies erscheint sinnvoll, da so der Wurzelballen bei Regen oder beim Gießen von oben allmählich vollständig durchfeuchtet wird. Problematisch wäre nur, wenn Wasser beim Gießen mit so großer Geschwindigkeit in die Mulde gegossen wird, dass es über den Muldenrand in das Belüftungsrohr ablaufen würde.

Allgemeines Erscheinungsbild, Lage und Exposition

Die beiden mehrreihigen Linden-Alleen waren an ihrem Standort extremen standörtlichen Verhältnissen ausgesetzt, die am Naturstandort der Mischbaumart so vermutlich nicht vorkommen. Der Standort auf der Freifläche des Werksgeländes (von landwirtschaftlicher Nutzfläche umgeben) war weitgehend ungeschützt gegenüber Strahlung und Wind.

Der Habitus der aus Veredlungen angezogenen Einzelbäume ähnelte sich untereinander sehr stark. Vermutlich handelt es sich bei fast allen Pflanzen um einen Klon. Die Kronen waren kräftig entwickelt und das Kronenprozent betrug bei fast allen Bäumen mehr als 60 % (Abb. 1). Die Belaubung war dicht und der Höhenzuwachs stark.

Im ersten Frühjahr nach dem Entfernen der Pflanzenanbindungen (im Herbst des



Abb. 2: Durch Faserstauchung (plastische Verformung durch Überschreiten der Elastizitätsgrenze) gekrümmter Stamm (links); Querfalten (rechts)

2. Jahres nach der Pflanzung) erwiesen sich einige der Jungbäume nach erfolgtem Laubaustrieb während der Fröhsommerstürme als nicht bruch- oder standsicher und wurden bei starker Windeinwirkung gebrochen oder geworfen. Die meisten Ausfälle bzw. Schäden verteilten sich auf zwei Symptome, die zunächst auf eine starke mechanische Belastung oder eine schlechte Adaption schließen ließen:

- ca. 13,5 % geworfene und wurfgefährdete (schräge) Bäume,
- ca. 14 % gebrochene Bäume und Bäume mit Querfalten am Stamm.

Einige Linden hatten durch die einseitige mechanische Belastung (Windeinfluss) einen geknickten Stamm oder sind gebrochen. Beinahe konstant in der Höhe 40 bis 80 cm treten auf der Druckseite Querfalten auf (Abb. 2), die auf ein Überschreiten der Elastizitätsgrenze in den gestauchten Fasern hindeuten. Mit dem Überschreiten der Elastizitätsgrenze wurde das Biegebruchversagen des Stamms eingeleitet –

die Verformung ist plastisch. Zum endgültigen Versagen (Bruch) führt an solchen Bäumen dann bereits eine deutlich geringere Krafteinwirkung als bei ähnlich dimensionierten ungeschädigten Bäumen.

Dimension und Zuwachs

Beim Vergleich mit den Dimensionen der Linden zum Zeitpunkt der Pflanzung fiel auf, dass sich die Kronen in den 3 Jahren nach der Pflanzung sehr stark entwickelt hatten. Die Bäume bieten für Wind eine große Angriffsfläche (Abb. 3 rechts). Alle Linden waren nur in den ersten beiden Jahren nach der Pflanzung durch einen Dreibock (statisch) gesichert.

Die Zuwachsschätzung für den Zeitraum seit der Pflanzung erfolgt anhand des sekundären Dickenzuwachses in 1 m Höhe bzw. anhand der Triebblängen- und (vermuteten) Höhenentwicklung. 3 Jahre nach dem Pflanzen betrug die durchschnittliche Höhe 6 m, sodass ein jährlicher



Abb. 3: Habitus der Linden unmittelbar nach Pflanzung (links) und nach 3 Jahren (rechts)

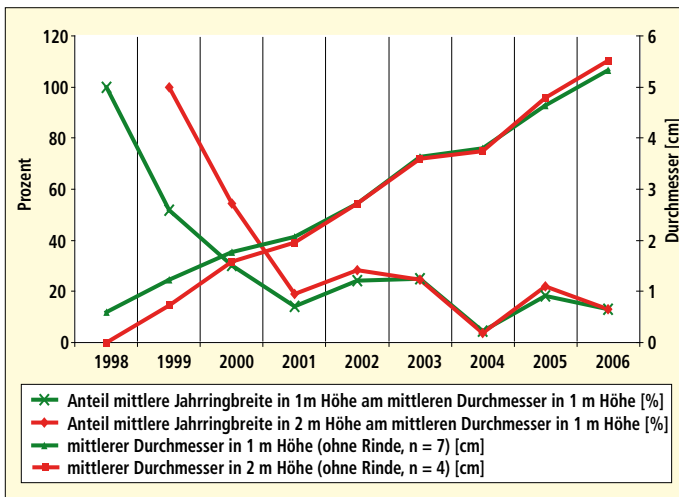


Abb. 4: durchschnittliche Durchmesserzunahme seit 1998 in zwei verschiedenen Baumhöhen

Höhenzuwachs von 30 cm unterstellt werden kann. Der Mittelwert der Triebblängenzuwächse an 10 gemessenen Bäumen betrug 28,9 cm. Interessanterweise hatte sich die Pflanzung nur wenig auf den Triebblängenzuwachs des Folgejahrs ausgewirkt. Dies deutet auf ein gutes Anwachsen der Linden und auf allgemein gute Wachstumsbedingungen am Standort hin.

Die Analyse des sekundären Dickenzuwachses erfolgte in drei verschiedenen Stammhöhen. Dazu wurden von einigen der geworfenen bzw. gebrochenen Linden Stammscheiben vom Stammfuß (zur Altersbestimmung), in 1 m Höhe (Erkennen von Zuwachsschwankungen) bzw. in 2 m Höhe entnommen. Auf dem Querschnitt der für die Jahrringanalyse untersuchten Stammscheiben war (anders als beim Triebblängenzuwachs) der geringe Dickenzuwachs im Pflanzjahr 2004 (sehr schmaler Jahrring) gut erkennbar. Anhand der Jahrringanalyse war das Verpflanzen also deutlich besser nachweisbar als durch die Analyse der Triebblängenzuwächse. Die mittlere jährliche Zunahme des Stammumfangs in 1 m Höhe seit dem Pflanzjahr betrug bei 10 gemessenen Bäumen ca. 2,5 cm. Das ist typisch für Winter-Linden und deutet auf eine gute Nährstoff- und Wasserversorgung am Standort hin.

Die Stammscheibe aus 2 m Höhe befand sich in einer Höhe oberhalb der (ehemaligen) statischen Anbindungsstelle der Jungbäume am Dreibock. Sie wurde zu Vergleichszwecken analysiert, um die Hypothese zu überprüfen, dass die axiale Verteilung des Dickenzuwachses am Stamm als Ursache für eine statisch ungünstige Entwicklung infrage kommt. Zur Analyse des axialen Zuwachsverhaltens wurden die kumulierten Jahrringbreiten in 1 m Höhe mit denen in 2 m Höhe verglichen (Abb. 4).

Dabei stellte sich heraus, dass der Dickenzuwachs vor der Pflanzung an den

heutigen Standort (in der Baumschule) in 2 m Höhe zwar auf einem höheren Niveau als in 1 m Höhe lag, der Gesamtdurchmesser blieb allerdings in 1 m Höhe immer größer als in 2 m Höhe. Die relative Durchmesserzunahme (Anteil des konkreten Jahrrings in 1 bzw. 2 m Höhe am bis dahin erreichten Durchmesser in 1 m Höhe) sank in beiden Messhöhen (bis 2001) bzw. die relative Durchmesserzunahme in 1 m Höhe stieg stärker als in 2 m Höhe (zwischen 2001 und 2003).

Ab dem Pflanzjahr 2004 kehrt sich diese Entwicklung um. Die relative Durchmesserzunahme in 2 m Höhe stieg stärker als in 1 m Höhe an. Das führt sogar dazu, dass der durchschnittliche absolute Durchmesser in 2 m Höhe ab dem Jahr 2005 größer als in 1 m Höhe war. Das ist aus statischer Sicht sehr ungünstig und kann vermutlich z.T. auf die statische Anbindung am Dreibock zurückgeführt werden. Durch die Sicherung ist der untere Stammteil relativ fest fixiert. Externe Belastungen wurden zum Teil über den Dreibock in den Boden abgeleitet. Der (natürliche) mechanische Reiz bei Biegebelastung (Streckung und Stauchung in den Holzzellen der jüngsten Jahrringe bzw. im Kambium) wird durch die Anbindung weitgehend unterbunden. Der Baum reagierte deshalb im unteren Stammbereich mit einem schwächeren Dickenwachstum als oberhalb der Anbindung am nicht abgestützten Stamm.

Nach dem Beseitigen der Baumstützen entstand für die Linden eine plötzlich veränderte Belastungssituation des unteren Stamms. Einige Linden waren nun nicht ausreichend an die größeren Biegemomente angepasst und versagten an der Stelle am Stamm (Stammbruch), an der bei den Fröhsommerstürmen die größten Spannungen auftraten.

Im vorliegenden Fall kommt für die Häufung der Stammbrüche als Ursache neben den großen (ungeschnittenen) Kronen

eine Unterdimensionierung des Schaftes unterhalb der ehemaligen Anbindung am Dreibock infrage. Der unterproportionale Dickenzuwachs führte dazu, dass der untere Stamm in der „Kette gleichermaßen lastangepasster Glieder“ zum schwächsten Glied wurde.

Bodenanalyse

Der Boden war i.d.R. zweischichtig aufgebaut. Im oberen Teil war an der dunklen Färbung und der feineren Körnung ein humusreicher Mutterboden erkennbar („Oberboden“). Erst darunter befand sich das eigentliche Baumpflanzsubstrat („Substrat“). Bei den Untersuchungen wurden die beiden optisch voneinander gut trennbaren Bodenschichten jeweils getrennt analysiert.

Die Ergebnisse der Körnungsanalyse zeigten eine hohe Homogenität der Proben, sodass davon ausgegangen werden konnte, dass an den Baumstandorten sowohl der Oberboden als auch das Substrat jeweils gleich zusammengesetzt waren. Der Tongehalt im Oberboden (12 %) war signifikant höher als im Substrat (8 %). Entsprechend der Körnungsanalyse handelte es sich bei beiden Bodenarten vorwiegend um mittel schluffigen Sand (Oberboden) bzw. mittel lehmigen Sand (Substrat).

Die Stickstoff-Gesamtgehalte waren genau wie die Kohlenstoffgehalte sehr niedrig. Die mittleren Humusgehalte im Oberboden lagen etwas oberhalb von 2 %, beim Substrat lag der Mittelwert deutlich unter 2 %. Es zeigte sich, dass der Oberboden einen signifikant kleineres C/N-Verhältnis und ein signifikant höheren Humusgehalt als das Substrat hatte. Dies förderte vermutlich bei einer ausreichenden Mächtigkeit eine flachgründige Wurzelentwicklung im Oberboden, da Pflanzennährstoffe hier besser verfügbar waren.

Die pH-Werte (nahe 7) unterschieden sich kaum zwischen Oberboden und Substrat.

Die KAK_{eff} des Oberbodens lag im normalen Bereich eines lehmigen, sehr fruchtbaren Ackerbodens über Löss. Der Oberboden enthielt signifikant mehr Kalium, aber deutlich weniger Kalzium als das Substrat. Bei der KAK_{eff} des Substrates zeigte sich der hohe Anteil des Kalziums am Austausch bzw. als Anteil in Salzen. Dadurch war im Substrat die Basensättigung deutlich höher.

Zusammengefasst ließen sich Oberboden und Substrat mit besseren Waldböden vergleichen, wobei der Oberboden beim C/N-Verhältnis sogar nahe den Werten eines ertragreichen Ackerbodens bzw. eines Mulls (beste Humusform im Wald) lag.

Wurzelentwicklung

Die Wurzelentwicklung wurde mithilfe zweier verschiedener Methoden untersucht.

- An insgesamt 12 Bäumen wurden 60 Bohrproben auf der Zugseite (Westseite) mithilfe eines Stechzylinders (Eijkelpamp Wurzelbohrer, Länge der Probenkammer 15 cm, Durchmesser 8 cm, vgl. Abb. 5 links) gewonnen. Die Entnahme erfolgte in unmittelbarer Ballennähe (Abstand 30 cm zum Stamm) und in 60 cm Abstand zum Stamm. Damit bei der Untersuchung der gesamte (potenziell) durchwurzelte Bodenhorizont erfasst werden konnte, wurden an derselben Probenstelle mehrere Proben entnommen (aus verschiedenen Tiefen), die sich (durch Aneinanderlegen) als eine Probe darstellen lassen. Wegen des geringen Durchmessers des Wurzelbohrers kam es nur zu geringen Störungen des Wurzelsystems, sodass auch gesunde Linden beprobt werden konnten.

- An den Bohrproben konnten anschließend substratbezogen die Wurzelmenge (Trockengewicht), Bodenmasse und -volumen (der Probe), Masseanteil der verschiedenen Körnungen (Bodenart), Masseanteil der Wurzeln usw. bestimmt werden.

Die Auswahl der Stichprobe der 12 beprobten Bäume erfolgte innerhalb der beiden Typen „standfest“ bzw. „nicht standfest“.

- **Als standfest** wurden solche Linden eingeschätzt, die entweder mit voll entwickelter (großvolumiger) Krone zum Zeitpunkt der Probenahme keinen oder einen kaum wahrnehmbaren Schrägstand aufwiesen oder während der starken Fröhsommerstürme (2007) gebrochen waren. Bei den gebrochenen Bäumen war das Widerlager des statisch aktiven Wurzelballens im Boden augenscheinlich so gut verankert, dass das maximale Windmoment während des

Sturms nicht zum Überwinden der Scherkräfte im Boden geführt hat – diese Exemplare wurden dann gebrochen (statt geworfen). Im Zusammenhang mit der differenzierten Untersuchung der beiden Versagensarten Baumwurf und Baumbruch ist diese Beobachtung von großer Relevanz, da dies zum einen bedeutet, dass ein großes Windmoment gewirkt hat (mit der Folge des Schaftbruchs), aber gleichzeitig kein Versagen des Wurzelsystems erfolgte. Die gebrochenen Bäume sind deshalb besonders gut als Referenzbäume für eine statisch optimale Entwicklung des Wurzelsystems geeignet.

- **Als nicht standfest** wurden alle Linden eingeschätzt, die während der Fröhsommerstürme geworfen oder sehr stark schräg gestellt wurden, wobei der Wurzelballen auf der Zugseite (Westseite) angehoben bzw. aus der Erde herausgedreht wurde. Bei diesen Bäumen haben die Scherkräfte des Wurzelballens nicht ausgereicht, um das Windmoment in den Boden abzutragen.

An 8 Bäumen (4 „standfeste“ und 4 „nicht standfeste“) wurden jeweils auf der Nordseite (Abstand zum Stamm 60 cm) und auf der Südseite (Abstand zum Stamm 30 cm) streifenartige Bodenprofile angelegt (jeweils als ca. 1 m tiefer und 40 cm breiter und 3 m langer Graben, vgl. Abb. 5 rechts). Die Anzahl der sichtbaren Wurzeln wurde in 10-cm-Tiefenstufen ausgezählt.

Anhand der Analyseergebnisse aller Bohrproben bzw. der Bodenprofile ließen sich folgende Aussagen mit z. T. hoher Signifikanz ableiten:

- Die absolute Mächtigkeit des humusreichen Oberbodens erreichte bei den „standfesten Linden“ im Mittel nur etwa 58 % von der Mächtigkeit des Oberbodens bei den „nicht standfesten Linden“.

Der Unterschied war also sehr deutlich. Die Mächtigkeit des Oberbodens war bei den „nicht standfesten Linden“ signifikant größer als bei den „standfesten Linden“.

- Wegen des signifikanten Unterschieds des Tongehalts im Oberboden zum Tongehalt des Substrats eignete sich der Parameter „effektive Lagerungsdichte“ deutlich besser zur Erklärung einer (möglichen) unterschiedlichen Durchwurzelungsintensität als die reine Bodendichte. Die Lagerungsdichte des Substrates ($\varnothing 1,7$: mittlere Lagerungsdichte nach DIN 4220) war bei allen Proben signifikant größer als die Lagerungsdichte des Oberbodens ($\varnothing 1,4$: geringe Lagerungsdichte nach DIN 4220). Es gab dabei keinen Unterschied zwischen den „nicht standfesten Linden“ und den „standfesten Linden“. Die stärkere Verdichtung des Substrates war vermutlich auf die Forderung nach Verwendung einer überbaubaren Vegetationstragschicht zurückzuführen. Da eine größere Lagerungsdichte jedoch eine Wurzelentwicklung erschwert, ist bei einer ausreichend mächtigen Schicht des weniger dichten (und damit besser durchwurzelbaren) Oberbodens zu erwarten, dass die Durchwurzelung des Oberbodens zunächst intensiver erfolgt. Wurzeln, die aus dem Oberboden (mehr oder weniger zufällig) in Richtung Substrat wachsen, wurden vermutlich zusätzlich durch die Dichtegrenze am Einwachsen in das Substrat behindert.

- Der Wurzelanteil (Trockenmasse % von der Gesamtwurzeltrockenmasse der Probe) im Substrat der „standfesten Linden“ war mit 85 % größer als der Wurzelanteil (67 %) im Substrat der „nicht standfesten Linden“. Der Unterschied war nicht signifikant.

- Die maximale Wurzelmenge (Häufigkeitsverteilung siehe Abb. 6) im Substrat wird bei den „standfesten Bäumen“ unabhängig vom Abstand zum Baum immer in 20 bis 30 cm Tiefe erreicht. Bei den „nicht standfesten Linden“ waren in Ballennähe (Abstand 30 cm zum Stamm) die meisten Wurzeln in 30 bis 40 cm Tiefe; im größeren Abstand zum Stamm (60 cm) traten die meisten Wurzeln in 20 bis 30 cm Tiefe auf.

- Die Durchwurzelung des Substrates (in dem eine gute Verankerung für die Standfestigkeit möglich war) war bei den „standfesten Linden“ erkennbar intensiver als bei den „nicht standfesten Linden“. Der Unterschied war in Ballennähe deutlich, in größerem Abstand zum Baum hob sich dieser Unterschied aber weitgehend auf. Daraus wird gefolgert, dass mit fortschreitender Wurzelentwicklung in größerem Abstand zum Baum überall auch

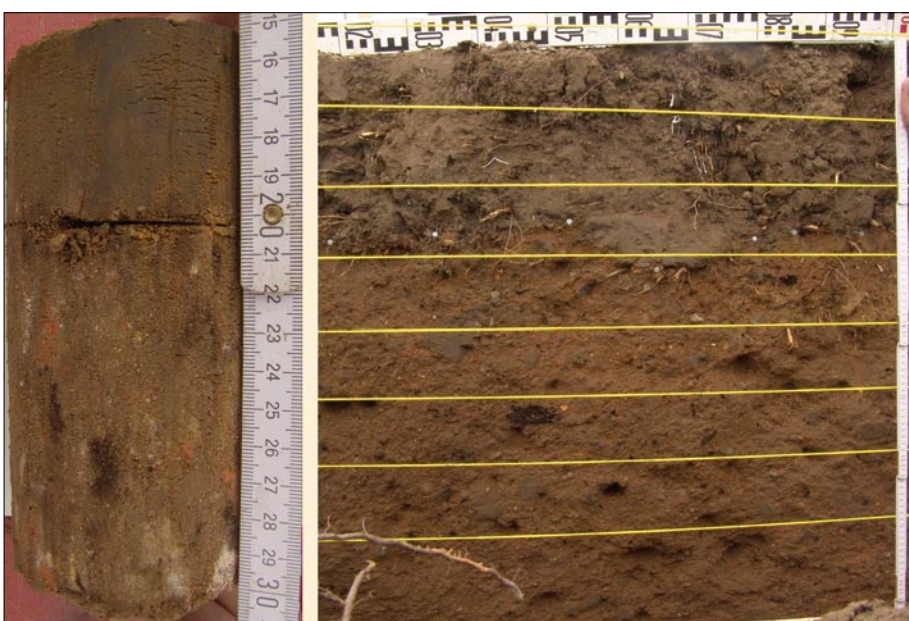


Abb. 5: Beispiel einer Bohrprobe aus einer Tiefe von 15 bis 30 cm an einem Standort mit einer relativ mächtigen Oberboden-Schicht (oberhalb 20 cm) und dem Substrat aus z.T. Ziegeln (links); Bodenprofil (rechts, Ausschnitt) mit deutlich erkennbarem zweischichtigem Aufbau, Wurzeln und den 10 cm Tiefenstufen (parallele Fäden)

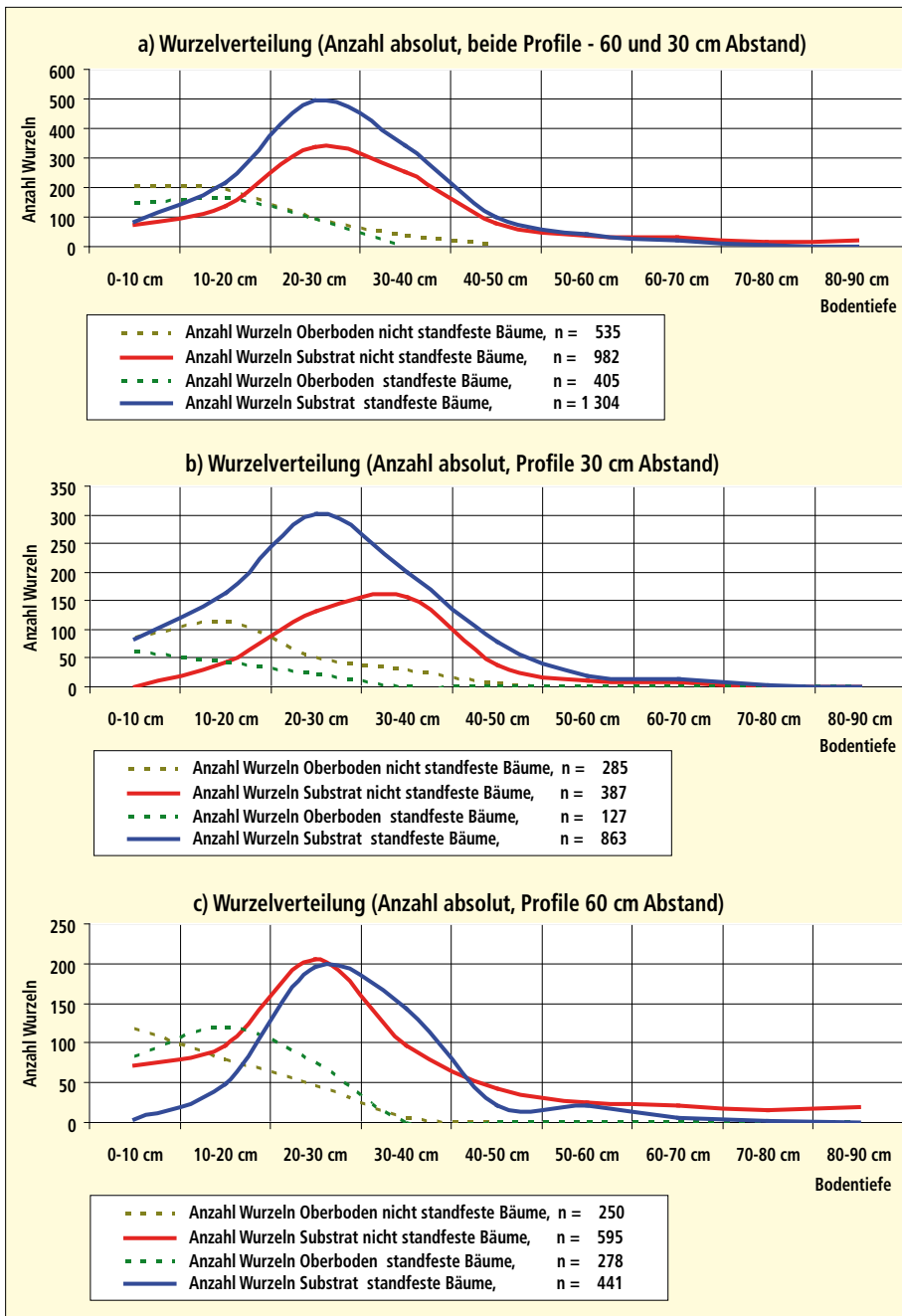


Abb. 6: Verteilung der Wurzeln (Anzahl absolut, 4 standfeste und 4 nicht standfeste Bäume) im Oberboden bzw. Substrat in 10 cm Tiefenstufen, Auszählung am Bodenprofil (vgl. Abb. 5 rechts)

das (tiefer liegende) Substrat erschlossen wird. Damit wurzeln die Linden tendenziell auch an Standorten mit einer großen Schichtmächtigkeit des Oberbodens künftig stärker im Substrat.

Zusammenfassung

Eine drei Jahre alte Lindenpflanzung war extremen Standortbedingungen ausgesetzt (Freiflächenklima mit starker Strahlung und hohen Windgeschwindigkeiten) und es kam im ersten Jahr, nachdem die Pflanzensicherungen abgebaut wurden, zu gehäuftem Ausfällen durch Schaftbruch und Baumwurf. Für das statische Versa-

gen und die Ausfälle ist ein Ursachenkomplex verantwortlich. Im Ergebnis der Analyse der Bodenverhältnisse sowie des Zuwachses konnte Folgendes festgestellt werden:

- Der Bodenaufbau in den Pflanzgruben war zweischichtig, die Mächtigkeit des Oberbodens variierte stark, wodurch manche Linden mit ihrem Ballen komplett in das Substrat gepflanzt wurden, andere Linden dagegen standen bei der Pflanzung zum großen Teil mit ihrem Wurzelballen im Oberboden. Beide Schichten hatten bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften, die für das Wachstum der Linden gut geeignet waren, was zur ex-

plorativen Entwicklung der Kronen führte.

- Die effektive Lagerungsdichte des künstlichen (Baumpflanz-)Substrates war signifikant höher als die Lagerungsdichte des (ehemaligen) Mutterbodens, der als Oberboden über dem Substrat lag. Außerdem waren Humus-, Stickstoff und Tongehalt im Oberboden deutlich größer.

- An den Standorten der geworfenen oder wurfgefährdeten Linden war die Mächtigkeit des Oberbodens signifikant größer und das Substrat war geringer durchwurzelt als an den Standorten von zufällig ausgewählten Linden, die keine Anzeichen für eine Wurfgefahr zeigten oder durch Schaftbruch (gebrochene Linden) bewiesen hatten, dass das Wurzelsystem den Baum standfest im Boden verankert hatte.

- Alle Linden waren in den ersten beiden Jahren nach der Pflanzung durch einen Dreibock (statisch) gesichert. Die Sicherung hatte externe Belastungen am unteren Stamm und am Wurzelsystem weitgehend kompensiert. Adaptives Wachstum als Reaktion auf starke Biegespannungen am Stamm oder große Scherkräfte an den Wurzeln war deshalb „nicht notwendig“ – die Bäume waren in ihrer empfindlichen Anwachsphase gut gesichert. Der Dickenzuwachs im „ruhig gestellten“ Stammbereich unterhalb der Anbindungsstelle blieb sogar im Niveau unterhalb des Dickenzuwachses am Stamm oberhalb der Anbindung (anders als bei einer „normalen“ (eher abholzigen) Entwicklung am freistehenden Solitär).

- Nach dem plötzlichen Entfernen der Sicherung, ohne dass zuvor ein Erziehungs-, Aufbauschritt erfolgte, waren die Linden im Frühjahr 2007 durch die Kronengröße und die extremen Windverhältnisse am Standort externen Belastungen ausgesetzt, an die sie nicht angepasst waren. Bäume mit einem gut entwickelten Wurzelsystem (vorrangig im Substrat) hielten den Belastungen stand oder versagten durch Biegebruch am unterdimensionierten Stamm. Einige Bäume, deren Wurzelentwicklung vorwiegend im nährstoffreicheren und weniger strukturstabilen Oberboden stattfand, versagten durch Herausdrehen oder Ankippen des Wurzelballens (Baumwurf).

Als Sofortmaßnahme zur Vermeidung weiterer Ausfälle erhielten alle Linden einen differenzierten Kronenschnitt, wobei bruch- oder wurfgefährdete Exemplare sogar etwas eingekürzt und erneut gesichert wurden.

Literaturhinweis:

[1] FLL (Hrsg.), (2004): Empfehlungen für Baumpflanzungen: Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumverbreiterung, Bauweisen und Substrate. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn, 48 S.