

Vergleich von sechs verschiedenen Unterflur-Baumverankerungssystemen

Comparison of six different underfloor tree anchorage systems

von Axel Schneidewind

Zusammenfassung

In den vergangenen fünf Jahren wurden verschiedene Unterflur-Baumverankerungssysteme in mehreren Varianten geprüft. Dabei stellte sich heraus, dass diese an windexponierten Standorten nur dann gute Ergebnisse erbringen, wenn die zu pflanzenden Bäume eine Mindestgröße (Stammumfang ab 20 cm, Ballendurchmesser ab 60 cm) mit gut durchwurzeltten Ballen aufweisen.

Im Systemvergleich waren breit aufliegende Gurtbänder gegenüber Ballenabspannungen mittels Drahtseilen sicherer. Für alle Abspannsysteme sollten zusätzlich flächenhafte verrottungsfähige Ballenauflagen (z. B. Kokosscheibe) eingebaut werden, da diese den Spanndruck auf die Wurzeln besser verteilen. Ungeschützt aufliegende Holzteile oder Drähte sind nicht zu empfehlen, weil infolge von Windlast Wurzeln geschädigt wurden.

Die Pflanzsicherung arbofix führte durch das unkontrollierbare Einschlagen von Metallspießen in die Ballenunterseiten bei einigen Bäumen zu Wurzelbeschädigungen. Bei dem System Wurzelballenstützung ohne weitere Fixierungsmaßnahmen kam es durch das Abkippen der Ballen zu den deutlichsten Schrägständen dieser Bäume.

Summary

During the past five years, at the Centre for Horticulture and Technology Quedlinburg different underfloor tree anchoring systems and variants were tested. It turned out that this anchorage in windy sites can only provide good results if the trees have to be planted a minimum size (girth of 20 cm, ball diameter 60 cm) with well-rooted tree bales. Of the tested variants therefore always the stronger sized versions of the vendors did better at accordingly larger trees.

Comparable systems were wide straps secure resting than ball tension using ropes. For all ball clamping systems should also be installed areal rottable ball support, such as a coconut slice, as this better distribute the clamping pressure on the roots. Unprotected wood lying parts or wires are not recommended because were damaged due to wind load roots.

The planting assurance arbofix led by the uncontrollable hammering of metal skewer into the ball basis for some trees to root damage. At the root ball support system without any fixation measures by the tilting of the bales of the clearest oblique stands of these trees.

1 Einleitung

Bäume erfüllen im öffentlichen Grün zahlreiche wichtige und vielfach bewiesene Wohlfahrtswirkungen. Um diese Funktionen nachhaltig zu gewährleisten, ist eine fachgerechte Anzucht, Pflanzung und Pflege notwendig. Der richtige und verantwortungs-

bewusste Umgang mit dem Einzelbaum setzt sehr viel Standardfachwissen voraus und macht es erforderlich, dieses ständig zu aktualisieren.

Der Schwerpunkt der Versuchsarbeit im Zentrum für Gartenbau und Technik Quedlinburg (ZGT) liegt in der Bearbeitung praxisrelevanter Fragestellungen

zum Thema Baumpflanzung sowie zur Entwicklungs- und Dauerpflege. Unter dieser Prämisse wurden in den vergangenen Jahren auch handelsübliche Unterflur-Baumverankerungssysteme auf Eignung, Baumschonung und Funktionserfüllung geprüft. Diese Baumverankerungsart wird seit einigen Jahren zunehmend, vor allem in Städten, angewendet.

In Deutschland gibt es mehrere Anbieter von verschiedenen Unterflur-Baumverankerungen, darunter einige, die den Einbau solcher Systeme für Jungbäume mit Stammumfängen (STU) bereits ab 14 cm bewerten. In einem fünfjährigen Praxistest standen zwölf Varianten von sechs Anbietern.

Für das gesicherte Anwachsen eines Baumes am Endstandort ist eine geeignete Verankerung als notwendige Anwachshilfe unverzichtbar. Durch die Rodung in der Baumschule haben Jungbäume ein reduziertes Wurzelvolumen, das die notwendige Haltefunktion nicht erfüllen kann. Dieses zeitweilige statische Defizit muss kompensiert werden, um Windwurf sowie andere Baumschäden zu vermeiden. Durch stützende oder haltende Systeme sollen standortbedingte Einwirkungen, vor allem wechselnde Windlasten, aufgenommen und abgeleitet werden, sodass die Neubildung von Ernährungs- und Verankerungswurzeln möglichst ungestört vonstatten gehen kann. Die Regeneration des Wurzelsystems ist die entscheidende Voraussetzung für die Eigenstabilisierung frisch gepflanzter Bäume. Somit trägt die richtige Baumverankerung wesentlich zur Schaffung guter Wachstums- und Entwicklungsbedingungen am neuen Standort bei.

Obwohl in der DIN 18916 (Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Pflanzen und Pflanzarbeiten, 2002) über Ballenverankerungssysteme keine speziellen Aussagen gemacht werden, gilt grundsätzlich, dass durch die Art der Verankerung keine Verletzungen von Pflanzen entstehen dürfen. In den FLL-„Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege“ wird genauer hingewiesen: Durch die Verankerungseinrichtungen dürfen Stämme, Kronen und Wurzeln nicht beschädigt oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden (FLL 2005).

2 Versuchsanlage

2.1 Versuchsvoraussetzungen vor Ort

Für einen exakten Vergleich der Verankerungssysteme im Wurzelbereich von Bäumen sind analoge geökologische und meteorologische Testbedingungen eine wesentliche Voraussetzung. Deshalb wurde auf dem Gelände des ZGT eine ebene Versuchsfläche ausgewählt. Das Prüffeld befindet sich direkt angrenzend an die Landesstraße L66 von Quedlinburg nach Magdeburg in ungeschützter, windexponierter Lage.

Die Bodenverhältnisse sind als homogen einzustufen. An den vorab durchgeführten Schachtungsstellen bis 1,20 m Tiefe zeigte sich übereinstimmend der natürlich gewachsene Boden mit einem ausgeprägten Lößlehm-Bodenprofil, das für die Randgebiete der Magdeburger Börde typisch ist. Der dunkelbraune humose A₁-Horizont erstreckt sich bis zirka 60 cm Tiefe, gefolgt von einem gelblich gesprenkelten Übergangshorizont A₂ bis zirka 80 cm und dem hellgrauen bis gelben C-Horizont aus Löß bis durchschnittlich 1,00 m Bo-



Abbildung 1: Bodenprofil des Prüffeldes im ZGT Quedlinburg

dentiefe (Abbildung 1). Letzterer ist zunehmend mit unterschiedlich großen Gesteinsstücken durchsetzt. Darunter steht kalkhaltiges Grundgestein an.

Testvarianten der Unterflur-Baumverankerungen

Insgesamt wurden zwölf Varianten von sechs Herstellern bzw. Anbietern in die Untersuchungen einbezogen. In der dritten Spalte der Tabelle 1 sind die Nettopreise pro System aus 2007 aufgeführt. Bei der Testvariante 12 wurden nur die Preise für die Ausgangsmaterialien (Holzpfähle, Metallschrauben und -mutter) berücksichtigt. Die Angaben belegen, dass sich die Preise der meisten Anbieter innerhalb einer Größengruppe der Systeme nur wenig voneinander unterscheiden, mit der Ausnahme von PLATIPUS RF2 und den selbstgebauten Wurzelballenstützungen.

Für eine ergänzende Studie des Feldversuches wurden acht frisch gepflanzte Bäume gleicher Arten und Anlieferung mit traditionellem Dreibock gesichert.

2.2 Testbäume

Als Versuchsbäume dienten Hochstämme von *Acer platanoides*, *Prunus avium*, *Pyrus communis*, *Quercus robur* und *Tilia cordata* in je zwei Sor-

Tabelle 2: Übersicht Versuchsbäume für die Testvarianten

Nr.	Baumart	Pflanzqualität
1	<i>Acer platanoides</i>	H 3xv mDb STU 16-18
2	<i>Acer platanoides</i>	H 4xv mDb STU 25-30
3	<i>Prunus avium</i>	H 3xv mDb STU 18-20
4	<i>Prunus avium</i>	H 5xv mDb STU 40-45
5	<i>Pyrus pyraeaster</i>	H 3xv mDb STU 18-20
6	<i>Pyrus pyraeaster</i>	H 4xv mDb STU 30-35
7	<i>Quercus robur</i>	H 3xv mDb STU 20-25
8	<i>Quercus robur</i>	H 4xv mDb STU 30-35
9	<i>Tilia cordata</i>	H 3xv mDb STU 16-18

tierungsgrößen. In der Tabelle 2 sind die genauen Pflanzqualitäten mit den Stammumfängen (STU) aufgelistet.

Diese Größenunterschiede waren notwendig, um den Vorgaben der Hersteller nachzukommen. Gemäß den unterschiedlichen Sortierungsgrößen der Bäume erfolgte die Zuordnung zur vorgesehenen Ballenverankerung. Von jedem der sechs Systemanbieter wurden jeweils acht Bäume verschiedener Arten mit den entsprechend dimensionierten Fabrikatsgrößen

Tabelle 1: Testvarianten Unterflur-Baumverankerungssysteme

Nr.	Fabrikat / System	Hersteller / Anbieter	Preis in €
1	DUCKBILL 40-RBK	Fa. Hinrich Meyerdercks, Bremen	33,00
2	DUCKBILL 68-RBK	Fa. Hinrich Meyerdercks, Bremen	45,00
3	GEFA Treelock 25	Fa. GEFA Produkte Fabritz GmbH, Krefeld	34,50
4	GEFA Treelock 50	Fa. GEFA Produkte Fabritz GmbH, Krefeld	45,00
5	Pflanzsicherung arbofix af 35	Fa. arboa e.K. tree safety, Stuttgart	27,50
6	Pflanzsicherung arbofix af 40	Fa. arboa e.K. tree safety, Stuttgart	29,50
7	Pflanzsicherung arbofix af 50	Fa. arboa e.K. tree safety, Stuttgart	35,70
8	Pflanzsicherung arbofix af 60	Fa. arboa e.K. tree safety, Stuttgart	42,90
9	PLATIPUS RF1	Fa. Platipus Deutschland, Reifferscheid	35,50
10	PLATIPUS RF2	Fa. Platipus Deutschland, Reifferscheid	57,20
11	Schraubanker	Fa. Baumschulen Lappen, Nettetal-Kaldenkirchen	32,00
12	Wurzelballenstützung	Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien	19,80

2 Baumstatik und Baumpflege

gepflanzt. Die gesamte Versuchsanlage, einschließlich der zusätzlichen Bäume mit Dreibock-Verankerung, umfasste somit 56 Hochstämme.

3 Versuchsdurchführung

Der Einbau der Testvarianten erfolgte mit der Baumpflanzung im Herbst 2007. Beim Einbau vor Ort waren ein bis zwei Firmenvertreter beziehungsweise -techniker beteiligt. Damit konnte sichergestellt werden, dass alle Produktinformationen und Erfahrungen der Firmen einfließen.

Für die Anbieter von Unterflur-Verankerungen waren zunächst die Einbauzeiten von besonderem Interesse. Diese Messungen sind für alle Versuche im ZGT Quedlinburg obligatorisch und stellen einen ersten Aspekt der Bewertung dar. Um möglichst vergleichbare Daten zu erhalten, wurden alle Rüstzeiten ausgeklammert. Dazu zählen die Einmessung, Ausschachtung und Herstellung der Pflanzgruben, der Baumtransport bis zur Pflanzstelle sowie die Bereitstellung dazugehöriger herstellereingetragener Geräte und Hilfsmittel. Auf jeglichen Maschineneinsatz als mögliche Erleichterung beim Pflanzvorgang wurde verzichtet.

3.1 Ballenverankerungen mittels Erdankersystemen

Für die Testvarianten 1 bis 4 sowie 9 bis 11 (s. Tabelle 1) waren eine Reihe von Arbeitsschritten sehr ähnlich. Den reinen Einbauvorgang führten bei diesen Varianten zwei Fachkräfte aus. Zunächst wurde der Baum am Ballen mit Ballenhaken in die Pflanzgrube gerollt und in der Flucht zu den Nachbarbäumen ausgerichtet. Durch Unterfütterung der runden Ballen mit Erde bekamen die Bäume ihren senkrechten Stand in richtiger Höhe. Es folgte das Öffnen und Herunterdrücken der Ballierkörbe, das Öffnen des Jute-Ballengewebes sowie das Einschlagen (bei Testvariante 11 das Eindrehen) der werkseitigen Erdanker gemäß Herstellervorgaben. Als Vergleich wurde ein Teil der Jungbäume mit geschlossenem Ballierkorb gepflanzt, so wie es in den Prospekten und Pflanzanleitungen zahlreicher Firmen zu sehen ist.



Abbildung 2: Einbau der Variante RF1 mit PLATI-MAT PM1

Bei den Versionen 40-RBK und 68-RBK musste nach dem Einsetzen des Baumes ein Holzlattenrahmen hergestellt werden, der direkt auf die Ballenoberseite kam und als Widerlager für die Spannseile diente. Dazu wurden drei Kanthölzer gleichmäßig auf die erforderliche Länge gesägt, an zwei Ecken vorher und nach Auflegen auf den Ballen an der dritten Ecke als stabiles Dreieck vernagelt.

Bei der Schraubankervariante kamen die Gurtbänder ohne weiteren Materialeinsatz direkt auf den Ballen. Dagegen wurden bei Treelock 25 und Treelock 50 vor dem Einbau der Gurtbänder je eine mitgelieferte flexible Kokosscheibe auf den Ballen gelegt. Bei den Ausführungen RF1 und RF2 kamen je drei mitgelieferte Streifen eines Draht-Kunststoffgeflechtes (PLATI-MAT PM1 oder PM2) zum Einsatz, die ebenfalls als gleichseitiges Dreieck in der Linie der Spannseile mittels kleiner Bügel fixiert wurden (Abbildung 2).

Als letzte Arbeitsschritte bei diesen Versuchsgliedern erfolgten das Einfädeln der Drahtseile beziehungsweise das Auflegen der Gurtbänder im gleichen Abstand zum Stammfuß und das Anziehen mittels werkseitiger Spannvorrichtungen (Seil-, Zahnradspanner, Ratsche). Zu lange Seile oder Gurtbänder wurden nachträglich abgeschnitten. Nach vier Wochen wurden die Spannvorrichtungen erstmals kontrolliert und nachgespannt.

3.2 Ballenverankerungen mit der Pflanzsicherung „arbofix“

Die Pflanzsicherung arbofix (Testvarianten 5 bis 8) erhielt auf der internationalen GaLaBau-Messe 2006 in Nürnberg die Innovationsmedaille des Garten-, Landschafts- und Sportplatzbaus. Da zu jenem Zeitpunkt relativ wenige Praxiserfahrungen zu diesem neuartigen System vorlagen, fand zunächst ein Testversuch mit diesem Fabrikat statt. 16 Bäume unterschiedlicher Arten und Größen wurden mit Hilfe eines Radladers sowie eines selbstgebaute Ballengeschirrs gepflanzt. Um identische Bedingungen für die Vergleichsuntersuchungen mit den anderen Systemen zu gewährleisten, wurde darauf bei der Verankerung von weiteren acht Hochstämmen verzichtet. Für die Messungen, vor allem für holzbiologische Untersuchungen, standen insgesamt 24 mit arbofix gesicherte Bäume zur Verfügung. Der genaue Einbauablauf dieser Methode wurde mit dem Hersteller bei der Anlage des Versuchs vor Ort entwickelt und unterscheidet sich grundlegend von den bisher vorgestellten (Abbildung 3).

Die wichtigen Arbeiten finden bei diesem System vor dem Einsetzen des Baumes in die Pflanzgrube statt. Diese müssen sehr sorgfältig ausgeführt werden, da

bei rein manueller Pflanzung eine spätere Korrektur des stehenden Baumes kaum noch möglich ist. Zunächst wurde der kreuzartig abgerundete kantige und sich verjüngende Doppelspieß aus Eisen in den Ring des Ballierkorbes am Ballenfuß bis zur vorher aufgesteckten Stoppscheibe eingeschlagen. Der längere kantige Teil des Metallspießes ragt heraus und soll als künstliche Pfahlwurzel im Boden dienen. Leider lagen die Ballierkörbe oft nicht mittig um den Ballen, sodass sich der Ring häufig seitlich versetzt befand und nicht für das Einschlagen des Doppelspießes genutzt werden konnte. Alternativ wurde dann der Spieß im Drahtgeflecht in gerader Verlängerung zum Stamm fixiert. Es folgte die genaue Herstellung der Pflanzlochtiefe entsprechend der gemessenen Ballenhöhe sowie die Markierung des genauen Baumstandortes. Nur zu diesem Zeitpunkt ist eine Ausrichtung in der Flucht zu benachbarten Bäumen möglich.

Vor dem Einsetzen eines Baumes in die Pflanzgrube musste systembedingt entsprechend der Länge und Breite des herausragenden Metallspießes ein schmaler Graben in die Pflanzlochssole von der markierten Pflanzstelle ausgearbeitet werden. Das Einsetzen der Bäume konnte nur mit Hilfe einer dritten Person erfolgen. Während zwei Fachkräfte vorsichtig die Ballen mit Ballenhaken bewegten beziehungsweise

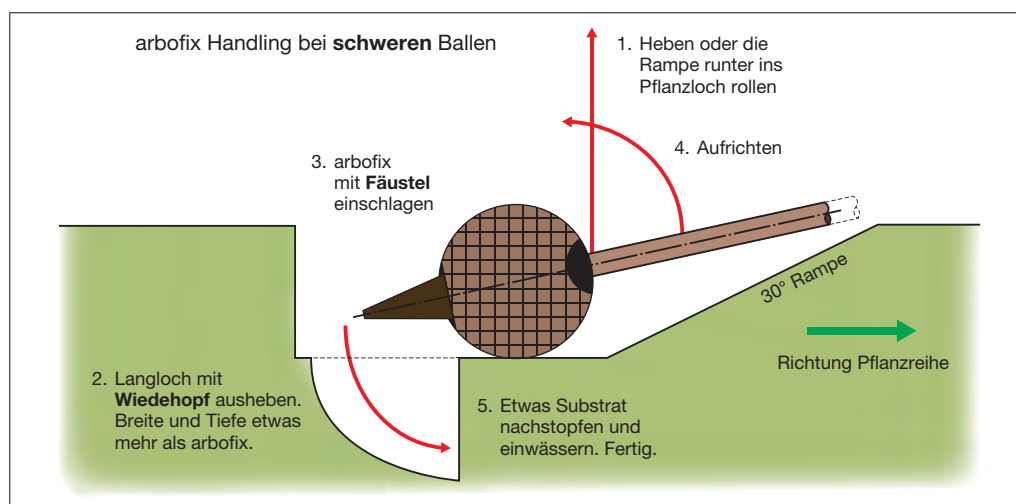


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Einbauablaufs mit arbofix (Faltblatt Fa. arboa e.K. tree safety)

anhoben, musste eine dritte Person den Baum am Stammkopf so lenken, dass der ausgehobene schmale Graben in der Pflanzlochsohle exakt getroffen wurde (s. Abbildung 3). Dabei darf es bis zum senkrechten Stand eines Baumes nicht zu einer Bodenberührung des Metallspießes kommen, damit sich der Spieß im Ballen nicht lockern oder abknicken kann. Bei größeren Ballen und den entsprechend längeren Metallspornlängen waren diese Arbeitsschritte zunehmend beschwerlicher und ab STU von 25–30 manuell kaum noch leistbar. Aus diesem Grund musste bei schweren Bäumen die Pflanzgrube an einer Seite abgeschrägt werden, um diese dann vorsichtig rollen zu können.

Das vertikale Aufstellen des Baumes, das Öffnen und Herunterdrücken des Ballierkorbes sowie des Jute-Ballengewebes war dann wieder vergleichbar gegenüber den anderen Prüfgliedern. Eine nachträgliche Erdunterfütterung der stehenden Bäume war nur sehr eingeschränkt und mit größter Vorsicht möglich, da sich der Metallspieß nicht lockern darf. Alle weiteren systemunabhängigen Arbeiten kamen wie bei allen Testvarianten nicht in die Zeiterfassung.

3.3 Wurzelballenstützung

PROF. FLORINETH von der BOKU in Wien bat im Vorfeld des Versuchsvorhabens um die Einbeziehung einer Wurzelballenstützung. Nach seiner Aussage wird diese Methode in Wien am häufigsten angewendet. Der Einbauvorgang unterscheidet sich nach dem Aufstellen des Baumes in der Pflanzgrube ebenfalls deutlich von den anderen. Gemäß Vorgaben wurden Drahtkorb und Jute-Ballengewebe nicht nur geöffnet und heruntergedrückt, sondern vollständig entfernt. Dies geschah durch starkes Drehen und Ankippen der Ballen in ihrer Pflanzgrube, wodurch alle Ballierungsmaterialien weggezogen werden konnten. Als Erdanker dienten drei unbehandelte Holzpfähle mit 10 cm Zopfstärke, die im Abstand von 15 cm zum Wurzelballen 50 cm tief in die Pflanzgrubensohle eingeschlagen wurden.

Danach folgte der Bau eines dreibockähnlichen Gerüsts in Ballenhöhe mit Hilfe von drei gleich langen Rundhölzern. Diese Querriegel wurden dabei untereinander versetzt und an der Innenseite der Pfähle so mit 8-er Schrauben und Muttern verschraubt, dass



Abbildung 4: Einbau einer Wurzelballenstützung

diese den Ballen festklemmten (Abbildung 4). Eine Schutzmatte oder ähnliches für die Ballenoberseite war nicht vorgesehen. Der Abstand der Rundhölzer zum Stamm soll mindestens 10 bis 15 cm betragen. Nach dem Anfüllen der Pflanzgrube wurden die über das Bodenniveau herausragenden Pfählenden abgesägt. Nach vier Wochen wurden die Holzpfähle nochmals nachgeschlagen.

4 Ergebnisse

4.1 Einbauzeiten der Versuchsvarianten

Gemäß der aufgeführten Arbeitsschritte und der Bedingungen vor Ort ergaben sich pro Unterflur-Verankerungsvariante und Baum folgende gemittelte Einbauzeiten. Der Testversuch mit arbofix sowie der Probeeinbau aller Fabrikate flossen nicht in die Ermittlung der durchschnittlichen Zeitwerte ein.

Die Messergebnisse zeigen den höchsten durchschnittlichen Zeitaufwand von mehr als 15 Minuten pro Baum bei der Wurzelballenstützung und mehr als 10 Minuten Einbauzeit pro Baum bei der Verankerung mittels Schraubanker sowie den beiden Duckbill-Varianten (Abbildung 5). Da die Fa. Meyerdiecks inzwischen auch Wurzelballenverankerungen mit Spanngurt, also ohne den zusätzlich notwendigen Bau eines Holzdreieckes, anbietet, ist zu erwarten, dass die Einbauzeiten im Vergleich zu den Treelock-Varianten

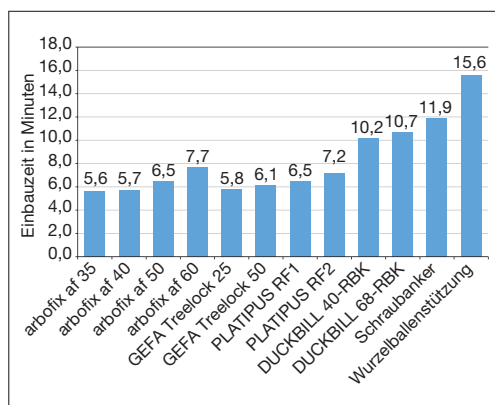


Abbildung 5: Durchschnittlicher Zeitaufwand pro Unterflur-Verankerungsvariante und Baum

sowie RF1 und RF2 ähnlich sein werden. Der höhere Zeitaufwand bei der Testvariante 11 wurde durch das erschwerte Eindrehen der Schraubanker in den steinigen Unterboden verursacht. Für diese Methode ist sicherlich ein tiefgründig leichter Boden vorteilhafter. Der unmittelbare Einbau der Pflanzsicherung arbofix beansprucht zwar weniger Zeit, aber durch die teilweise notwendige Abschrägung von Pflanzgruben und den notwendigen Einsatz einer dritten Arbeitskraft beim Einsetzen der Bäume geht diese Zeiteinsparung wieder verloren. Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass sich hinsichtlich der direkten Einbauzeiten die Systeme der Firmen arboa, Gefa und Platipus auf einem ähnlichen Niveau befinden.

4.2 Funktionserfüllungen von Unterflur-Baumverankerungen

Die Ergebnisse zur Funktionserfüllung der Systeme beziehen sich ausschließlich auf die gegebenen Versuchsbedingungen im ZGT Quedlinburg, vor allem auf die herrschenden Boden- und Windverhältnisse. In geschützteren Lagen sowie auf leichteren, gestörten oder skelettreichen Böden beziehungsweise bei Baumpflanzungen in Pflanzgruben mit großvolumig verwendeten Baumsubstraten sind abweichende Ergebnisse zu erwarten (WEISS & CLAUSEN 2010).

Insgesamt gesehen kamen die Bodenverhältnisse auf dem Prüffeld den meisten Versuchsvarianten entge-

gen. Bei den Schachtarbeiten blieben die Seitenwände der Pflanzgruben uneingeschränkt erhalten. Alle Baumballen standen vollständig in der Schwarzerde auf unverwittertem Lößlehm. Die Erdanker beziehungsweise die Holzpfähle konnten, mit Ausnahme der Schraubanker, problemlos eingearbeitet werden. Bei den arbofix-Varianten war wiederum der zunehmende Steinbesatz in tieferen Bodenschichten vorteilhaft, da dieser ein günstiges Widerlager ergab.

Dagegen stellten die permanent wechselnden Windverhältnisse vor Ort einen echten Härtestest für alle Prüfglieder dar. Einerseits gibt es im ZGT durch die ungeschützte baumarme Lage und den stetigen Fallwind vom Harz aus westlichen Richtungen kommend kaum windstille Tage, andererseits können Starkwindereignisse aus allen Richtungen ungehindert einwirken.

Als Ergebnis muss festgestellt werden, dass es bei diesem Versuchsaufbau keinen Baum gab, der nach der Pflanzung absolut gerade angewachsen war. Die ober-



Abbildung 6: Messung der Stammneigungswinkel mit dem „Multi-Digit pro“

2 Baumstatik und Baumpflege

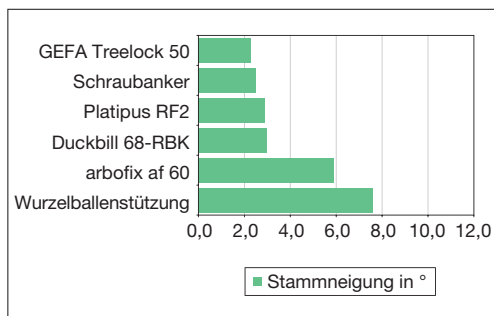


Abbildung 7: Stammneigung bei *Quercus robur* 4xv STU 30–35 in Abhängigkeit von der Unterflur-Verankerungsmethode

irdische Stammneigung aller Jungbäume war sowohl system- als auch baumarten- und größenabhängig und zeigte sich übereinstimmend von südwestlicher bis westlicher Richtung ausgehend nach Nordosten bis Osten. Die Abweichungen von den Stammvertikalen wurden fortlaufend mit dem digitalen Winkelmesser „Multi-Digit pro“ erfasst (Abbildung 6). Um diese Messungen exakt durchführen zu können, wurde vor jeder Messung an jedem Baum eine waagerechte Ausgangsbasis mit Hilfe eines Libellen-Richtscheits geschaffen.

Die Stammneigung der Versuchsbäume war im ersten Standjahr am stärksten ausgeprägt und durch den einsetzenden sogenannten Sichelwuchs der Jungbäume nach drei Vegetationsperioden kaum noch feststellbar (ROLOFF 2004). Die größten Neigungswinkel lagen in Abhängigkeit vom System zwischen 2,1° und 11,7°, wobei die stärkeren Schrägstellungen bei den Bäumen mit kleineren STU bis 20 cm und geöffnetem Ballen entstanden. Bei Bäumen mit STU ab 25 cm gab es zwischen geschlossenen und geöffneten Balliergeflechten keine nachweisbaren Unterschiede. Das spricht für eine gute Ballenqualität dieser Versuchspflanzen durch regelmäßige Verpflanzung in der Baumschule. In den folgenden zwei Diagrammen sind die Messergebnisse exemplarisch dargestellt (Abbildung 7 und 8). Die geringsten Stammneigungen gab es über alle Systeme hinweg bei *Quercus robur* 4xv STU 30–35, die stärksten bei *Tilia cordata* 3xv STU 16–18, dicht gefolgt von *Acer platanoides* 3xv STU 16–18 und *Prunus avium* 3xv STU 18–20.

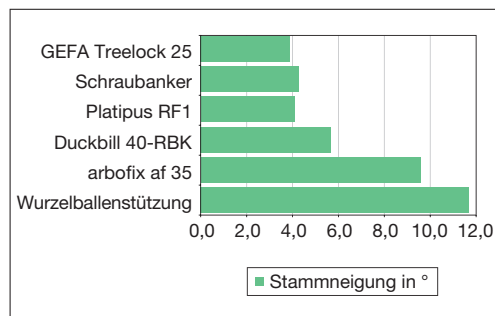


Abbildung 8: Stammneigung bei *Tilia cordata* 3xv STU 16–18 in Abhängigkeit von der Unterflur-Verankerungsmethode

Der Vergleich der sechs Systemanbieter zeigt, dass die Wurzelballenstützung und die Pflanzsicherung arbofix, vor allem arbofix af 35 bei kleineren Jungbäumen, deutlich schlechter abgeschnitten haben. Die ausgewerteten Messwerte belegen weiterhin, dass sich im Baumartenvergleich mit ähnlichem STU zur Pflanzung die auftretenden Windlasten bei den stärker wachsenden Arten Spitz-Ahorn, Winter-Linde und Vogel-Kirsche stärker auswirkten als bei den langsamer wachsenden Wild-Birnen und Stiel-Eichen.

4.3 Baumverankerung mit Dreibock

In diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse der Vergleichsbäume, die mit dem üblichen Dreibock gesichert wurden, sehr interessant. Unabhängig von Baumart und -größe wuchsen alle Bäume während ihrer Verankerungszeit fast gerade. Die gemessenen Neigungswinkel lagen unter 1,5°. Nach der zweiten Vegetationsperiode wurden die ersten Bockgerüste abgebaut. Einige Bäume mit geringer Pflanzqualität (Nr. 1, 3, 5, 9) neigten sich im anschließenden dritten Standjahr um bis 7,4°. Bei Entfernung des Bockgerüsts nach drei Standjahren oder noch später war dies bei gleichen Pflanzqualitäten nicht mehr der Fall.

Aus diesen Ergebnissen können eine Reihe von Empfehlungen abgeleitet werden. Für Unterflur-Verankerungssysteme sind nicht nur gut durchwurzelte Ballen notwendig, sondern auch Mindestballengrößen. An stärker windbelasteten Endstandorten sollte bei Jungbäumen mit STU unter 20 cm grundsätzlich

auf Ballenverankerungen verzichtet werden. An diesen Pflanzorten erbringt eine richtige Dreibockverankerung bessere Ergebnisse. Allerdings reicht eine zweijährige Verankerungszeit in der Regel nicht aus. Darum ist mindestens eine dreijährige Standzeit des Dreibockes auszuschreiben, um diesen Bäumen ausreichend Zeit zur notwendigen Etablierung am Endstandort zu geben (SCHNEIDEWIND 2003).

4.4 Rodung und Aufbereitung der Versuchsbäume

Die Rodung der Bäume aller Testvarianten, einschließlich der Bäume mit Dreibock-Verankerung, begann nach zwei Jahren, wurde sukzessiv jährlich fortgesetzt und endete nach fünfjähriger Versuchszeit. Dabei wurde deutlich, dass sich die Lage der meisten Baumballen seit der Pflanzung nicht oder nur unwesentlich verändert hatte. Diesbezüglich hinterließen die Systeme mit Gurtbändern und breiten Seilauflagen den besten Eindruck (Prüfglieder 3, 4, 9, 10, 11). Hervorzuheben ist bei den Treelock-Sicherungen die zusätzliche Verwendung einer flächig auf den Ballen gelegten Kokosscheibe vor Einbau der Gurte. Diese Maßnahme schonte das Wurzelwerk gut und verhinderte Ballenpressungen. Offensichtlich werden auftretende Drücke der Gurtbandverspannungen auf Ballenoberflächen gut verteilt. Ein weiterer interessanter Aspekt zeigte sich bei der Rodung nach fünf Jahren. Zu diesem Zeitpunkt waren die Kokosscheiben weitgehend verrottet, aber direkt unter den Gurtbändern immer noch gut erhalten geblieben, sodass sich diese Ballen während der gesamten Verankerungszeit nicht gelockert hatten.

In der Bewertung lagen die Platipus-Sicherungen bei allen Baumarten mit nur zwei Ausnahmen auf ähnlichem Niveau. An einem Spitz-Ahorn (STU 16-18) entstanden durch RF 1 ein leichter und an einer Winter-Linde (STU 16-18) ein stärkerer visuell erkennbarer Schaden an je einer Wurzel. In beiden Fällen waren Spanndrähte vermutlich durch Windlast von den PLATI-MAT-Streifen gerutscht und bekamen dadurch direkten Wurzelkontakt.

Bei Duckbill 40-RBK waren oberseits an drei Wurzelanläufen von Wild-Birne (STU 18-20), Vogel-Kirsche

(STU 18-20) und Winter-Linde (STU 16-18) durch direkten Druck der Kanthölzer auf das Wurzelwerk deutliche Schäden sichtbar. Bei einem weiteren Baum (Spitz-Ahorn, STU 16-18) hatte sich ein Kantholz besonders tief in eine Wurzeloberseite eingedrückt (s. Pkt. 4.6.). Die festgestellten Mängel bei den untersuchten Duckbill-Varianten liegen aber nicht nur im Kantendruck frisch eingebauter Holz-Dreiecke, sondern auch in der raschen und fortschreitenden Verrottung der Holzteile. Bereits nach dem zweiten Standjahr hatten sich infolge von Windlasten die ersten Spanndrähte stark in die Holzlatten eingedrückt. Dadurch entstand im Verankerungssystem Spielraum, der durch wechselnde Windeinwirkungen zu leichten Ballenneigungen beziehungsweise zur Lockerung von Bäumen führten. Dieser Aspekt erklärt die im Vergleich zu Platipus-Sicherungen größeren Stammneigungswinkel (s. Abbildung 8 und 9). Wie bereits erwähnt, bietet die Fa. Meyerdiecks inzwischen auch Wurzelballenverankerungen mit Spanngurten an, bei denen die geschilderten Probleme so nicht auftreten sollten. Zum Versuchsbeginn im Jahr 2007 waren diese Fabrikate noch nicht verfügbar. Auf Grund dieser Ergebnisse wird deutlich, dass sich die Verwendung einer geeigneten verrottungsfähigen Ballenauflage unter Spanneinrichtungen positiv auswirkt und damit zu empfehlen ist.

Deutliche Ballenneigungen wurden nur bei den Wurzelballenstützungen und vergleichsweise geringere bei arbofix, insbesondere bei af 35 und af 40, festgestellt. Die Ursachen für die stärkeren Stammneigungen (s. Abbildung 7 und 8) sind damit als systembedingt anzusehen. Bei den meisten arbofix-Varianten wurde vor der Rodung der noch stehende Baum seitlich so unterhöhlt, dass der Doppelspieß aus Eisen freigelegt wurde. An drei Ballenunterseiten waren sehr schräg sitzende Spieße sichtbar (Abbildung 9), genau senkrecht stehende (in Richtung Stammachse) gab es bei keinem Prüfbaum.

Alle anderen aufgetretenen Stammneigungen bei Bäumen mit Gurt- und Seil-Sicherungen (Testvarianten 1 bis 4 und 9 bis 11) entstanden infolge permanenter Windeinflüsse ausschließlich durch partielles Lockern der Bäume im Ballen. Weitere spezifische Untersuchungen, beispielsweise fortlaufende Zugversuche mit verschiedenartigen Verankerungsmethoden,



Abbildung 9: Seitlich unterhöhlte Pflanzsicherung arbofix af 40 mit abgewinkeltem Metallspieß

könnten die vorliegenden Aussagen zur Gewährleistung der Standsicherheit von Jungbäumen untermauern (BREHM 2011; BREHM et al. 2012).

4.5 Auswurzelungsverhalten der Bäume, Verankerungsteile im Boden

Um die Versuchsbäume mit ihrem kompletten Wurzelwerk freizulegen und möglichst schonend zu entnehmen, mussten alle Gurte, Seile und Erdanker seitlich der Ballen gekappt werden. Später wurden diese Teile maschinell gezogen und begutachtet. Alle arbofix-Spieße waren stark angerostet und werden sich je nach Bodenverhältnissen langfristig gesehen auflösen. Vor allem die verzinkten Schraubanker, aber auch die Gurt- und Seilelemente, einschließlich der PLATI-MAT-Teile blieben auch nach fünf Jahren annähernd unversehrt. Es ist davon auszugehen, dass diese Materialien überwiegend nicht oder kaum verrottbar sind und somit dauerhaft im Boden verbleiben – aus Sicht des Umweltschutzes ein nicht unwesentlicher Nachteil. Bei der Weiterentwicklung der Systeme sollte zukünftig geprüft werden, möglichst alle verzinkten Fabrikatelemente, wie Seile oder Verbindungsteile, durch unverzinkte zu ersetzen, um eine komplette Verrostung nach Erfüllung der Verankerungsfunktion zu erleichtern. Die Firmen Platipus, Meyerdiecks und Gefa haben abnehmbare und wiederverwendbare Spann- beziehungsweise Arretiergriffe für ihre Systeme



Abbildung 10: Ballenunterseite bei Winter-Linde nach fünfjähriger Standzeit

entwickelt, wodurch die im Boden verbleibenden Materialien etwas reduziert sind.

Die Auswurzelung aller Bäume hatte sich zwar artenabhängig unterschiedlich, aber insgesamt sehr intensiv vollzogen, am stärksten bei Spitz-Ahorn, Winter-Linde und Vogel-Kirsche. In Hauptwindrichtung konnten bei diesen Arten Wurzeln bis fast 4 m Länge, bei Stiel-Eiche bis zu 2,5 m und bei Wild-Birne bis 2,0 m freigelegt werden. An den anderen Seiten wurden Schwachwurzellängen von durchschnittlich 1,5 m bis 2,5 m gemessen. Es war sehr auffällig, dass die Wurzeln fast ausschließlich in den oberen 50 cm des Bodens (A_1 -Horizont) gewachsen waren. Die Unterseiten der Ballierkörbe blieben auch nach fünf Jahren noch ohne sichtbare Stark- oder Grobwurzeln (Abbildung 10).

Für genauere Bilddokumentationen und zur Vorbereitung der holzbiologischen Untersuchungen wurden die Stämme sichtbar eingenordet und das Wurzelwerk intensiv gespült, bis das gesamte Erdreich entfernt war. Bei den nicht geöffneten Ballierkörben kam es durch das intensive Einwachsen aller stärkeren Wurzeln zu auffälligen Schädigungen und Draht-einwachsen. Teilweise waren die Drähte vollkommen eingewachsen beziehungsweise wulstartig überwallt.

Die Bäume mit heruntergedrückten Drahtgeflech-ten blieben dagegen weitgehend unversehrt. Damit



Abbildung 11: Grobwurzel mit eingewachsenem Ballierdraht

hat sich die bereits 1999 in den FLL-Empfehlungen für das Pflanzen von Bäumen (FLL 1999) geforderte Maßnahme des Herunterdrückens der Ballierkörbe in der Pflanzgrube als richtig und notwendig erwiesen. In der anstehenden Neufassung (2013) darf dieser wichtige Aspekt nicht vernachlässigt werden. Auch Baumschulen sollten in den Pflanzanleitungen und Bildern ihrer Kataloge darauf verweisen.

Durch die Wasserspülungen wurde nachgewiesen, dass die Prüfglieder, mit Ausnahme der Varianten der Fa. arboa, Wurzelwerk und -wachstum visuell nicht beeinträchtigt hatten. Bei arbofix verursachte das unkontrollierte Einschlagen der zwar abgerundeten und sich verjüngenden Metallspieße in die Ballenunterseiten teilweise erhebliche Wurzelschäden. Die Einschlagtiefen in die Ballen bis zur aufgesteckten Stoppscheibe variierten entsprechend der Produkt-Gesamtlängen (in Klammern) von 13 cm (35 cm), 16 cm (40 cm), 19 cm (50 cm) und 21 cm (60 cm). Trotz dieser zunächst gering erscheinenden Eindringtiefen waren nicht nur zufällig getroffene Schwach- und Starkwurzeln beschädigt, sondern auch die Wurzelstöcke von vier Versuchsbäumen von *Acer*, *Prunus* und *Pyrus* mit STU 16-20 cm, aber auch einer Stiel-Eiche mit STU 24 cm. Nach Entfernung der arbofix-Spieße waren in allen Fällen kreuzartige, dunkel verbräunte Abdrücke an der Basis der Wurzelstöcke sichtbar (Abbildung 12). Eine Erklärung dafür könnte in der natürlichen Setzung der Erdballen nach



Abbildung 12: Kreuzartige Verletzung durch arbofix am Wurzelstock von *Prunus avium*

der Pflanzung infolge des Baumeigengewichtes und wechselnder Windeinwirkungen liegen, wodurch sich die Eindringtiefen der Spieße in die weichen Ballenböden nachträglich vergrößerten.

4.6 Holzbiologische Auswertungen

Die holzbiologischen Untersuchungen erstreckten sich auf die oberen Wurzelanläufe, auf alle visuellen Wurzelschäden und auf die Jahrringverläufe in Baumstämmen. Die direkt unter den Gurtsystemen liegenden untersuchten Grobwurzeln zeigten im Querschnitt gleichmäßige Jahrringe, sehr ähnlich denen dreiecksgesicherter Bäume. Infolge der Schädigungen durch Kanthölzer und Spannseile (s. Pkt. 4.4) waren betroffene Grobwurzeln bis zu 50 Prozent ihres Querschnittes und bis zu 6 cm in der horizontalen Ausdehnung dunkel verfärbt (Abbildung 13a und b).

Die erkennbaren Schäden durch arbofix im Wurzelholz machten intensive Präparierungen erforderlich. So wurden die geschädigten Schwach- und Grobwurzeln aller Bäume entfernt, mehrfach geschnitten und geschliffen. Insgesamt waren an den 24 Bäumen mit dieser Verankerung 13 Schwach- und Grobwurzeln verletzt. Sie wiesen Verfärbungen zwischen 10 und 70 % ihrer Querschnitte auf. Die vier Bäume mit den kreuzartigen Schäden an den Wurzelstöcken zeigten ebenfalls verschieden starke Verfärbungen im Holz-



Abbildung 13a und b: Schaden an der Oberseite einer Grobwurzel durch eingedrücktes Kantholz

körper (Abbildung 14a und b). Während bei *Quercus* eine engräumige Kompartimentierung (DUJESIEFKEN & LIESE 2008) mit nur 1,2 cm verfärbtem Holz messbar war, lag dieser Bereich bei *Acer* mit keilförmiger Ausdehnung bei 5,7 cm.

Die Jahrringverläufe in den Baumstämmen wurden mittels Holzscheiben aus drei verschiedenen Höhen (Stammfuß, 50 cm, 100 cm) untersucht. Nach entsprechender Präparation (Feinschliff) erfolgten auf einem Linarmesstisch mit einer Genauigkeit von 0,01 mm die Messungen der minimalen und maximalen Radialzuwächse. Bei Bäumen mit den größten Stammneigungen waren alle Jahrringe ab 2007 an den nordöstlichen bis östlichen Stammseiten gut sichtbar und hatten in 50 cm Höhe ihre größten Breiten. An den gegenüberliegenden Seiten waren die Zuwächse, vor allem im zweiten und teilweise dritten Standjahr, vergleichsweise deutlich geringer. Bei einigen Stammscheiben fehlten sogar sichtbare Jahrringe, so dass jahrgenaue Zuordnungen schwierig waren. Die heterogene Ausprägung der Jahrringbreiten im Stammbereich zeigte eine gut nachvollziehbare Entwicklung. Deutlich breitere Jahrringe an der Zugseite von Laubbäumen infolge einseitiger Belastungen werden als Reaktionsholz bezeichnet (DUJESIEFKEN & LIESE 2008). Im Verlauf der Eigenverankerung durch die Wurzeln der Jungbäume im Boden setzte wieder ein zunehmend gerader Wuchs der Stämme ein. Die Jahrringbreiten glichen sich an den untersuchten Stammhöhen bei allen Baumarten wieder an, äußerlich erkennbar am Sichelwuchs dieser Jungbäume. An diesen Ergebnissen wird die große Bedeutung geeigneter und fachlich richtig eingebauter Verankerungen nach der Pflanzung größerer Bäume in den ersten drei Jahren am Endstandort sichtbar.

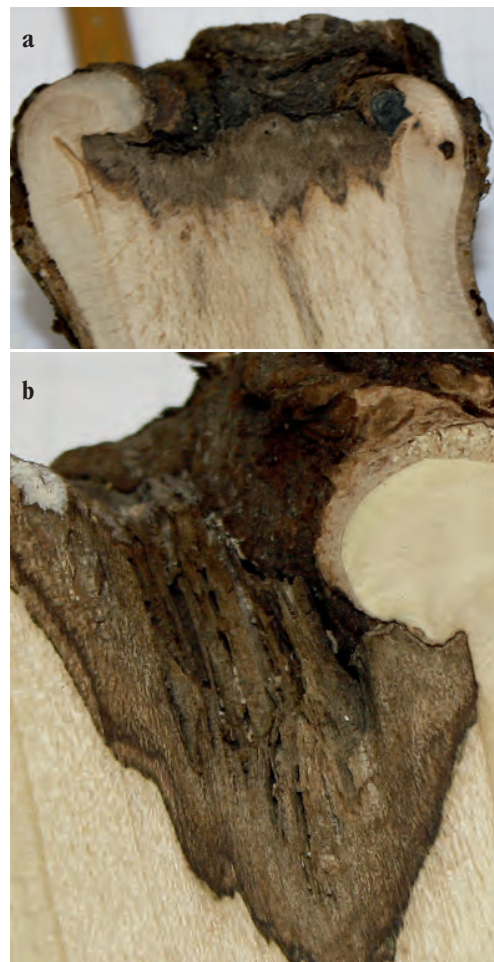


Abbildung 14a und b: Kompartimentierung im Wurzelholz bei *Quercus* und *Acer* nach Verletzung durch arbofix

Literatur

- BALDER, H., 1998: Die Wurzeln der Stadtbäume. Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 180 S.
- BREHM, J., 2011: Die Verankerung von Jungbäumen und die Wirkung von Baumanbindungen. Neue Landschaft Supplement Pro Baum 4, 2–7.
- BREHM, J.; LA ROSA PEREZ, M.; HEIDECHE, C., 2012: Verankerungssysteme für Jungbäume – welche sind geeignet? Neue Landschaft Supplement Pro Baum 2, 2–6.
- DIN 18 916, 2002: Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Pflanzen und Pflanzarbeiten. Beuth Verlag, Berlin 5 S.
- DUJESIEFKEN, D.; LIESE, W., 2008: Das CODIT-Prinzip. Von Bäumen lernen für eine fachgerechte Baumpflege. Haymarket Media, Braunschweig, 160 S.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. – FLL 1999: Empfehlungen für das Pflanzen von Bäumen, Bonn, 30 S.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. – FLL 2005: Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege. Bonn, 50 S.
- ROLOFF, A., 2004: Bäume. Phänomene der Anpassung und Optimierung. ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg am Lech, 276 S.
- SCHNEIDEWIND, A., 2003: Vergleichsuntersuchungen von Verankerungsmethoden und Baumbindematerialien für Jungbäume. In: DUJESIEFKEN, D.; KOCKERBECK, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege. Thalacker Medien, Braunschweig, 86–102.
- WEISS, H.; CLAUSEN, R., 2010: Stabilität einer Linden-Pflanzung. Einfluss von Wurzelwachstum und Dickenwachstum. AFZ – Der Wald 65, 8, 20–24.

Autor

Dr. Axel Schneidewind ist Fachbereichsleiter Garten- und Landschaftsbau im Zentrum für Gartenbau und Technik Quedlinburg.

*Dr. Axel Schneidewind
Zentrum für Gartenbau
und Technik Quedlinburg
Feldmark rechts der Bode 6
06484 Quedlinburg
Tel. (0 39 46) 97 04 30
Axel.Schneidewind@
llfg.mlu.sachsen-anhalt.de*

