



Zum Einfluß des Bodens auf die Standsicherheit von Bäumen

Thomas Sinn

Im Boden wird das Haltesystem eines Baumes ausgebildet. Die Wurzel-Bodenmatrix, ein komplexes Schwergewichts-, Zuganker- und Druckplattensystem, gibt dem Baum den notwendigen Widerstand gegen die durch äußere Einwirkungen (zum Beispiel Wind) ausgelösten Zug-, Druck-, Schub- und Torsionskräfte (ziehende, drückende, schiebende und drehende Bewegungen). Hier spielen vor allem das Eigengewicht des Bodentellers infolge seiner Zusammensetzung und Lagerungsdichte sowie seine Scherfestigkeit (eine Funktion aus Kohäsion und Reibung), die durch ein dichtes Wurzelnetz erheblich erhöht wird, eine Rolle.

Der intensiv durchwurzelte Boden innerhalb des sogenannten statisch wirksamen Wurzelraumes hat insbesondere bei bindigen Böden in frischem bis trockenem Zustand in der Regel eine stabile, blockartige Konsistenz. Er stellt unter anderem in Verbindung mit der Gewichtskraft des oberirdischen Baumes ein Gegengewicht zur Windlast dar. Seine Eingrenzung (Kippkante) findet der statisch wirksame Wurzelraum im peripheren Bereich abnehmender Wurzelquerschnitte und verminderter Festigkeit des Wurzelholzes (KOLLMANN 1941). Die über den oberirdischen Baum in das Wurzelsystem eingeleiteten Kräfte können dort nicht mehr abgetragen werden. Die Wurzel-Bodenmatrix reißt und bricht auseinander, der Baum kippt. Der statisch wirksame Wurzelraum bezeichnet nur den Bereich, der beim Kippversagen aus dem umgebenden Boden herausgelöst wird. Er kann durch eine Gleichgewichtsberechnung (nach G. SINN 1986) nachgewiesen werden. Selbverständlich wirkt aber das gesamte Wurzel-Bodensystem an der Baumstabilität mit.

Wurzelsystemausbildung und Standsicherheit

Der Boden bestimmt ganz entschieden die Ausprägung eines bestimmten Wurzelsystems, jedoch nur innerhalb der genotypisch festgelegten Möglichkeiten der jeweiligen Baumart (TH. SINN 1987, 1991). Baum und Boden bilden im Regelfall einen Verbund, der mit mehrfacher Sicherheit gegen den Windangriff (Windstärke 12) ausgelegt ist. Diese mehrfachen Sicherheiten (auch gegen das Bruchversagen des Baumstammes) konnten für Straßen- und Parkbäume unter anderem durch lastfall-orientierte Umzugversuche nachgewiesen werden (HERBIG u.a. 1988; G. SINN 1991). Ist keine ausreichende Sicherheit gegeben, so können innerhalb der genetischen Veranlagung einer Baumart, vor allem ausgelöst durch Bewegungsreize und hohe mechanische Belastung, Nachbesserungen erfolgen, das heißt eine Änderung der Querschnittsform. Bekannt ist die für einige Baumarten typische Umbildung von Wurzelanläufen zu regelrechten Brettwurzeln (siehe Abbildung 1) oder Starkwurzelquerschnitte in doppelt-T-Trägerform.

Die in statischer Hinsicht überhöhten Sicherheitsreserven erklären sich aus der Tatsache, daß das Pflanzenwachstum allein auf physiologischen Vorgängen beruht und vor allem in der Gestaltausprägung mechanisch lediglich stimuliert werden kann. Dies gilt insbesondere für das Wurzelwachstum (ABETZ 1991; RENGER u. WESSOLEK 1990; TH. SINN 1987, 1991). Auf ungünstigen Standorten (zum Beispiel physiologisch flachgründig oder vernässungsgefährdet) können die Sicherheitsreserven gegen Kippversagen allgemein geringer sein. Die für die Standsicherheit wichtige Tiefenausbildung von Wurzeln hängt von mechanischen Widerständen (zunehmende Lagerungsdichte im Unterboden), von den



Durchlüftungsverhältnissen (Bodenluft) und den hydrologischen Bedingungen ab. Daher kann die nur oberflächennahe Verankerung (sogenanntes Tellerwurzelsystem) von Fichten auf physiologisch flachgründigen Standorten unzureichend sein (ABETZ 1991). Die Stützfunktion des Tellerwurzelsystems ist nur sehr begrenzt, der Biegedruck unter Windbelastung kann nur 2 - 3 m vom Stamm fort übertragen werden (ABETZ 1991).

Bei Douglasien zum Beispiel wurde beobachtet, daß bei tiefer Wurzelsystemausbildung (auf physiologisch tiefgründigen Sandböden) eine doppelt so große Zugkraft (= 1384 kg) zum Umreißen des Baumes aufgebracht werden muß, als bei nur oberflächennaher Wurzelsystemausbildung (auf physiologisch flachgründigen Tonböden). Auf diesen war nur eine Zugkraft von 704 kg zum Umreißen notwendig (MITSCHERLICH 1981).

Ähnliche Ergebnisse brachten Umzugversuche von Sitkafichten auf tiefgründiger Braunerde im Vergleich zu flachgründiger Braunerde mit Felsunterlage (FRASER 1964 und FRASER u. GARDINER 1967; zitiert in MITSCHERLICH 1981).

Leider fehlt diesen Umzugversuchen der Bezug zur Windlast der untersuchten Bäume. Ein Beispiel hierfür läßt sich auch aus der eigenen Praxis berichten. In Berlin waren während verschiedener Sturmereignisse mehrere Pappeln unter relativ geringem Windeinfluß umgestürzt. Die Überprüfung der Standsicherheit der stehengebliebenen Bäume wies einen hohen Grad an Kippgefährdung nach. Ursache hierfür war vor allem der physiologisch flachgründige Standort bei gutem Nährstoffangebot (eine gute Versorgung mit Nährstoffen bewirkt allgemein eine verminderte Wurzelbildung, das heißt in Bezug auf die Standsicherheit ein ungünstiges Wurzel- zu Sproßbiomassenverhältnis). An den gut ausgebildeten Baumkronen ließ sich dieser Defekt nicht erkennen.

MITSCHERLICH (1981) unterscheidet je nach der physiologischen Gründigkeit daher zum Beispiel für Fichten in labile Standorte (physiologisch flachgründig, Tellerwurzelsystem) und stabile Standorte (physiologisch tiefgründig, Wurzelsystemausbildung bis zu 2,50 m Tiefe). Die Untersuchungen beziehen sich allerdings auf Bäume in einem Waldbestand. Solitärbäume und insbesondere Laubbäume entwickeln in der Regel auf flachgründigen Böden ein horizontal weit ausgebreitetes, stabiles Wurzelsystem mit hoher Widerstandskraft gegen Windwurf.

So konnte von G. SINN (1981) bei der Untersuchung von etwa 10 m hohen Robinien auf Tiefgaragen-Dachstandorten (Nord-Weststadt Frankfurt/M.) mit geringer Bodenaufgabe zwischen 0,31 m und 0,64 m Tiefe eine radiale Wurzelverbreitung von 8 - 10 m festgestellt werden. Die geringe Baumhöhe (niedriger Schwerpunkt) und das Gegengewicht der Wurzel-Bodenmatrix gewährleisteten auch unter hohem Windeinfluß eine hohe Kippsicherheit. Dies kann durch Gleichgewichtsbetrachtungen zwischen Windlast und Gewichtskraft des Baumes einschließlich seines statisch wirksamen Wurzelraumes nachgewiesen werden (G. SINN 1981).

Der Boden als Widerlager gegen windinduzierte Wurzelbewegungen

Die Frühjahrsstürme 1990 machten deutlich, wie bedeutsam für die Standsicherheit eines Baumes auch die mechanische Stabilität des Bodens sein kann. Vor allem die Vernässung feiner texturierter Böden während dieser Stürme setzte vielfach deren Gefügestabilität und damit die Festigkeit stark herab, so daß diesem Umstand ebenfalls eine bedeutsame Rolle am Windwurf vieler Bäume auf unversiegelten Standorten beigemessen werden muß. Der Boden ist keine durchgehend feste und hochgradig steife Masse wie zum Beispiel Beton. Er setzt sich vielmehr aus einer Vielzahl kleiner Bodenteilchen zusammen, die mehr oder weniger



locker aneinanderliegen. Durch die Art dieser Teilchen, die zwischen Ihnen wirksamen Kräfte und die auf sie einwirkenden Umwelteinflüsse wird deren Zusammenhalt im Verband (Gefügestabilität) und damit die Festigkeit eines Bodens gegen Verformung bestimmt.

Seine Konsistenz kann sich daher im jahreszeitlichen Verlauf ändern, im Extremfall bei feiner texturierten Böden von betonartiger Konsistenz bis zu der einer weichen Paste. Die Gefügestabilität eines Bodens und damit die Stabilität des Widerlagers für die Wurzeln wird vor allem durch den Scherwiderstand, das heißt den Widerstand von Bodenteilchen oder Aggregaten gegen eine Bewegung, bestimmt. Er läßt sich durch die Coulomb-Gleichung beschreiben: -4- Dabei ist die Kohäsion, der Winkel der inneren Reibung und die Normalspannung. Der Scherwiderstand ist von großer Bedeutung für die Standsicherheit eines Baumes. Je fester der Zusammenhalt und damit der Widerstand gegen windinduzierte Bewegungen des Wurzel-Bodensystems (sowohl vertikal als auch horizontal wirkende Kräfte), um so standsicherer ist der Baum. Kräfte, die in die Coulomb-Gleichung eingehen, sind:

A: Kohäsion und Adhäsion:

Kohäsions- und Adhäsionskräfte sind Anziehungskräfte zwischen den Bodenteilchen, die mit deren abnehmender Größe und zunehmender Dichtlagerung an Bedeutung für die Gefügestabilität gewinnen, das heißt in Tonböden sind sie am größten. In nichtbindigen Böden sind diese Kräfte für die Bodenstabilität fast ohne Bedeutung. Sie hängen außer von der Körnung und Dichtlagerung vom Wassergehalt des Bodens ab.

B: Winkel der inneren Reibung x Normalspannung:

Bei grober Textur, zum Beispiel Sand, wird der Widerstand gegen Verformung vor allem vom Winkel der inneren Reibung und der Normalspannung bestimmt. Die relativ grobe Körnung zeichnet sich dadurch aus, daß die Einzelkörner nicht von separierenden Wasserfilmen getrennt werden, das heißt die Körner berühren sich direkt. Der Reibungswiderstand der Bodenteilchen untereinander bestimmt den Winkel der inneren Reibung, der von der Korngröße, -verteilung, -form und -oberfläche abhängt (ZOLLER u. KÖHLER 1982). Die Reibungskräfte zwischen sich bewegenden Bodenteilchen werden zudem von der Lagerungsdichte, das heißt dem festen oder lockeren Widerlager der umgebenden Bodenteilchen (Normalspannung) bestimmt. Außer von den zuvor genannten Komponenten, die zur Bestimmung des Scherwiderstandes eines Bodens herangezogen werden, bestimmen vor allem folgende Eigenschaften die Stabilität eines Bodens gegen Verformung:

C: Lagerungsdichte:

Mit zunehmender Lagerungsdichte nimmt die Bodenstabilität zu. Mit zunehmendem Tongehalt steigt die Verdichtbarkeit bindiger Böden, nichtbindige Böden sind nur relativ gering verdichtbar. Eine Erhöhung der Dichtlagerung der Bodenteilchen bewirken die Schwerkraft, die Auflast (aufliegender Boden, Wegebelaag etc.), auf die Auflast einwirkende Kräfte wie Betreten, Befahren etc., Verdrängung von Bodenteilchen durch Wurzelwachstum, Vibration zum Beispiel durch Fahrzeuge und der Strömungsdruck des im Boden auf- und absteigenden Wassers (Verlagerung von Feinmaterial). Eine Lockerung und damit Verminderung des Scherwiderstandes bewirken die Auswaschung von Stoffen, grabende Tiere, menschliche Tätigkeiten, windinduzierte Bewegungen der Wurzeln und Prozesse der Bodenbildung (Aggregierung). -5-



D: Wassergehalt:

Mit zunehmender Austrocknung nimmt in bindigen Böden (bis zu einer gewissen Grenze) die Bodenstabilität zu (ZOLLER u. KÖHLER 1982). In Tonböden wirkt dieser Mechanismus demnach am stärksten, während er in Sandböden fast ohne Bedeutung ist. In bindigen Böden ist jedes Bodenteilchen von einem Wasserfilm umgeben. Mit zunehmender Austrocknung (bis zu einem gewissen Grad) nimmt die Dicke dieser Wasserfilme ab, die Bindungskräfte (Kohäsion) und mechanische Stabilität gegen Verformung nehmen dafür zu (ZOLLER u. KÖHLER 1982). Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt in bindigen Böden daher die Gefügestabilität ab. Dieser Effekt wird durch das Quellen der Bodenkolloide noch verstärkt. In Tonböden kann bei Wassersättigung der Zusammenhalt zwischen den Bodenteilchen und damit das Gefüge regelrecht aufgelöst werden. Der Boden verhält sich dann unter Krafteinwirkung wie eine nicht verdichtbare Flüssigkeit, er wird ohne Volumenänderung bewegt (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) 1992).

SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL (1979) beschreiben für manche Tone die Eigenschaft der Thixotropie: Werden diese bei hohen Wassergehalten intensiv gerüttelt, gehen sie in eine flüssige Phase über. Reine Tone kommen natürlicherweise allerdings nur sehr sporadisch vor und sind aufgrund ihrer Eigenschaften für ein Pflanzenwachstum äußerst ungeeignet. Mit zunehmendem Feinkornanteil an der Sieblinie eines Bodens verstärken sich jedoch die zuvor genannten Eigenschaften. So maßen EICHKORN u. WOLFART (1991) zitiert in ABETZ (1991) an Fichten-Waldbäumen bei feuchtem Bodenzustand eine um 10 % erhöhte Schwingungsamplitude gegenüber dem Schwingungsverhalten bei trockenem Boden. Der Scherwiderstand und damit die Bodenstabilität wird desweiteren von stabilisierenden Stoffen, wie organischen Stoffen (vor allem in Sand), Al- und Fe-oxiden sowie hohen Ca-Gehalten erhöht. Außer der Windlast und den bodenphysikalischen Eigenschaften bestimmen auch das Eigengewicht des Wurzel-Bodenkörpers und das Baumgewicht sowie dessen Exzentrizität zum Lastschwerpunkt (Stammneigung) den Grad der Standsicherheit eines Baumes. Das Eigengewicht des Wurzel-Bodenkörpers wird von der Masse der Wurzeln und deren Gesamtgewicht sowie dem Gewicht des Bodens (je nach Körnung, Material und Lagerungsdichte) einschließlich des Bodenwassers in den Hohlräumen bestimmt.

Externe Einflüsse auf das Pflanzenwachstum

Die Bodeneigenschaften und -bedingungen sowie die klimatischen Faktoren modifizieren das Pflanzenwachstum innerhalb einer Art und damit die Wurzel- zu Sproßbiomassenverhältnisse, die Morphologie vor allem des Wurzelsystems und die Standsicherheit von Bäumen. -6- Ein Beispiel hierfür ist das allgemein zu beobachtende Phänomen, daß bei mangelhafter Nährstoff- und Wasserversorgung, wie z.B. auf Sandböden, das Wurzelwachstum im Verhältnis zum Sproßwachstum allgemein zunimmt (TH. SINN 1987, 1991). Klimatische, das Pflanzenwachstum beeinflussende Faktoren sind:

- * Licht,
- * Wärme,
- * Wind,
- * Niederschlag.

Die wichtigsten, das Pflanzenwachstum beeinflussende Bodenbedingungen und -eigenschaften sind:

- * Bodenwasser (in Abhängigkeit von Körnung, Grundwasserstand, Niederschlägen und Infiltrationsrate etc.),
- * Bodenluft (in Abhängigkeit von Körnung, Lagerungsdichte, Bodenwassergehalt etc.),
- * Nährstoffe (in Abhängigkeit von chemischen Verhältnissen, Bodenwasser etc.).



Hier sind nur die bedeutendsten, das Pflanzenwachstum beeinflussenden Umwelteinflüsse genannt, modifizierend wirken ebenfalls Schadstoffe, mechanische Widerstände im Boden, das Edaphon, die Mykorrhiza, der Humusgehalt, usw. Nicht zu vergessen die soziale Stellung der Pflanze, zum Beispiel dominant oder unterdrückt im Bestand. Der jeweilige Einfluß ist je nach Pflanzenart und deren Lebensraumsprüchen unterschiedlich. Die Bodeneigenschaften und -bedingungen werden von den klimatischen Faktoren mehr oder weniger beeinflußt oder sind durch diese bedingt.

Zum Einfluß des Wurzelwerkes auf den Boden

Ebenso wie der Boden das Wurzelwachstum modifiziert, beeinflußt das Wurzelwerk den umgebenden Boden. HARTGE u. BOHNE (1985) beschreiben diese Interaktion zusammengefaßt wie folgt: Durch Wachstumsvorgänge wird Material verdrängt, das Porenvolumen vermindert und der Boden verdichtet. Mit zunehmender Verdichtung weicht das Material in Richtung des geringsten Widerstandes, also zur Bodenoberfläche aus. Im stammnahen Bereich der größten Wurzelkonzentration kann so regelrecht eine Aufwölbung entstehen.

Unter Windeinfluß werden auf der zugbelasteten Luvseite die stärksten (stammnahen) Wurzeln angehoben, sie verbiegen sich dabei kaum. Dünnere und weiter vom Stamm entfernte Wurzeln werden dabei in Form von axialem Zug belastet, dies führt zu einem "Losrütteln" der nächsten Wurzelumgebung und damit zu einer Bodenlockerung. Auf der druckbelasteten Leeseite kommt es zu einer vertikalen Pressung und Verdichtung des Bodens, die mit einer zunehmend horizontalen Ausprägung des Wurzelwerkes zunimmt. So kann es zur Bildung regelrechter Verdichtungshorizonte unter dem Wurzelsystem kommen.

Fazit

Die Ausbildung eines Wurzelsystems ist auch innerhalb einer Baumart auf unterschiedlichen Standorten stets mehr oder weniger unterschiedlich und die Eignung des Bodens als Widerlager gegen windinduzierte Bewegungen der Wurzeln ändert sich zudem im jahreszeitlichen Verlauf. Die Komplexität des Zusammenspiels aller beteiligten Parameter ist praktisch nicht zu quantifizieren, daher ist die Messung der tatsächlichen Haltekraft eines Wurzel-Bodenverbundes durch Zugversuche als Fortschritt gegenüber den Rechenverfahren der Anfänge zu sehen. Die Sicherheitsabstände konnten dadurch vermindert werden.

Allgemein besteht bei hoher Windlast auf unversiegelten, physiologisch flachgründigen und vernässungsgefährdeten, bindigen Böden, zum Beispiel in Senken und über Stauwasserhorizonten, eine erhöhte Kippgefährdung von Bäumen bei Starkregenereignissen und unter hoher Windbelastung. Auf solch einem Standort ist es denkbar, daß die Messung der Standsicherheit bei sommerlicher Trockenheit und bei niedrigen Bodenwassergehalten (hohe Festigkeit des Boden-Widerlagers) einen sicheren Baum ergibt, der dann trotz der in die Messung einbezogenen Sicherheitsabstände bei Vernässung des Standortes zum Beispiel in einem Herbststurm umstürzt. Allerdings gibt es auch bestimmte Baumarten, die in Überschwemmungsgebieten (zum Beispiel Auewäldern) ständiger extremer Wechselfeuchte ausgesetzt und trotzdem sicher verankert sind.

So war eine im Kurpark von Bad Homburg v.d.H. als Problembaum angesehene, aber als standsicher gemessene Silberpappel während eines Orkans am 20.08.92, mit Windgeschwindigkeiten bis 160 km/h (Windstärke 14 nach Beaufort), trotz Vernässung des Bodens in einer Senke nicht umgefallen, während eine ungeprüfte Linde mit arttypischer



Wurzelentwicklung in der Nachbarschaft aus ihrer flachen Bettung ausgehoben wurde. Bäume auf versiegelten Standorten, die in der Regel nicht vernässen (zum Beispiel im Straßenraum der Städte), sind solchen Gefahren nicht ausgesetzt. Schäden an Personen und Sachen, die infolge orkanartiger Stürme in Verbindung mit Starkregen durch umstürzende Bäume mit weitgehend intaktem Wurzelwerk verursacht werden, müssen als höhere Gewalt bezeichnet werden. Unter diesen Begriff fallen beispielsweise auch Tornados, wie der vom 09.08.1992 in Buchholz/Nordheide. In solch einer Windhose können Windgeschwindigkeiten bis zu 500 km/h erreicht werden (WHIPPLE 1985). Im Orkan, das heißt Windstärke 12 nach Beaufort, sind es "nur" 132 km/h. Der Gewalt eines Tornados ist in der Regel kein Baum mehr gewachsen.

Bei der beschriebenen Bodenvernässung in Senken oder bei starkem Frost (gefrorener Boden mit betonartiger Konsistenz) sollten Standsicherheitsmessungen nicht durchgeführt werden. Die Standfestigkeit von Bäumen hängt in erster Linie von den Umgebungsbedingungen (exponierte Lage, gedeckt im Bestand), der Anströmfläche und Höhe der Baumkrone, dem Baumeigengewicht, der Morphologie des Wurzelsystems, dem Massenverhältnis Wurzel zu Krone, der Zug- und Druckfestigkeit des Wurzelholzes, den Wurzelquerschnitten und dem Boden und seiner Eignung als Widerlager für die Wurzeln ab. Dies ist äußerst komplex miteinander verwoben, so daß für jeden Baum auch immer eine andere Standfestigkeit zu erwarten ist. Dies äußert sich an seiner individuellen "Lebenslinie" (Kraft-Neigungskurve unter Zugbelastung).

Abbildung 1

Die morphologische Anpassung an einen physiologisch flachgründigen Standort mit verminderter Verankerungsmöglichkeit für den Baum äußert sich an dieser Linde am Ufer des Schwielowsees bei Werder/Havel durch deutliche Brettwurzelbildung, die die Standsicherheit des Baumes erhöht. Foto: Thomas Sinn

Abbildung 2

Kiefer auf physiologisch tiefgründigem Standort mit der arttypischen Ausbildung einer Pfahlwurzel. Foto: Günter Sinn

Abbildung 3

Umgestürzte Kiefer auf physiologisch flachgründigem Moorstandort (hoher Grundwasserstand). Das arttypische Wurzelsystem ist hier modifiziert zum Tellerwurzelsystem, eine Pfahlwurzel konnte nicht ausgebildet werden. Foto: Günter Sinn

LITERATUR

ABETZ, PETER: Sturmschäden aus waldwachstumskundlicher Sicht. Allgemeine Forstzeitschrift (AFZ), 12 (1991) S. 626 - 629.

HARTGE, K.H. u. H. BOHNE: Zur gegenseitigen Beeinflussung von Baum und Bodengefüge. Allgemeine Forstzeitschrift (AFZ) 11 (1985) S. 235 - 237.

HERBIG, ASTRID; GÜNTER SINN; LOTHAR WESSOLLY: Zur Standsicherheit von Bäumen im städtischen Bereich. Mitteilungen des Sonderforschungsbereich 230 - Natürliche Konstruktionen - der Universitäten Stuttgart und Tübingen, Heft 1. Selbstverlag, Stuttgart 1988.



KOLLMANN, F.: Die Esche und ihr Holz. Erster Band aus der Schriftenreihe "Eigenschaften und Verwertung der deutschen Nutzhölzer". Verlag von Julius Springer, Berlin 1941.

Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF): Bodenbelastung durch Befahren. 11. KWF-Tagung 1992. Allgemeine Forstzeitschrift (AFZ) 9 (1992) S. 495 - 497.

MITSCHERLICH, GERHARD: Wald, Wachstum und Umwelt - 2. Band (Waldklima und Wasserhaushalt). 2. überarbeitete Auflage. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main 1981.

RENGER, M. u. G. WESSOLEK: Vorlesungsskript für das Wahlpflichtfach Bodenökologie. Technische Universität Berlin, Fachbereich 14, Institut für Ökologie, Fachgebiet Bodenkunde (1990).

SCHEFFER; F. u. P. SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. 10. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1979.

SINN, GÜNTER: Berechnungen zur Statik von Parkbäumen. Heft G 4, SVK-Verlag, Wilnsdorf 1982.

SINN, GÜNTER: Baumstatik und Standsicherheit. Garten + Landschaft 4 (1986) S. 54.

SINN, GÜNTER u. THOMAS SINN: Kippversuche an Bäumen. Das Gartenamt 40 (1991) November, S. 706, 707.

SINN, GÜNTER u. THOMAS SINN: Weitere Kippversuche an Bäumen. Das Gartenamt 40 (1991) Dezember, S. 777, 778.

SINN, THOMAS: Zur Ausbildung des Wurzelwerkes bei Bäumen nach morphologischen Gesichtspunkten und die verschiedenen Einflüsse darauf. Studienarbeit an der Technischen Universität Berlin, Fachbereich 14, Institut für Ökologie, Fachgebiet Botanik (1987).

SINN, THOMAS: Ökologische Untersuchungen zur Ausbildung der Wurzelsysteme von Pflanzen arider Gebiete (Diplomarbeit). Referent: Prof. Dr. R. BORNKAMM. Technische Universität Berlin, Fachbereich 14 (Landschaftsentwicklung), 1991.

WHIPPLE, A.B.C.: Stürme. Aus der Reihe der Time-Life Bücher "Der Planet Erde", Amsterdam 1985.

ZOLLER, WILHELM u. KLAUS KÖHLER: Fachstufen Bau - Tiefbau. Verlag Handwerk und Technik GmbH 1982.