

Alterungs- und Degenerationsmechanismen bei Wald- und Landschaftsbäumen

Verfasser: Christian Nørgård Nielsen

(Center für Forst und Landschaft, der Landwirtschafts Universität in Copenhagen)

Glücklich der Mensch, der Bäume liebt.
Besonders die Grossen, die wild Wachsenden an der Stelle,
wo die unendliche Kraft sie gepflanzt hat, und die unabhängig
geblieben sind von der Fürsorge der Menschen.

Prentice Mulford (Freidenker, 1834-1891)

Wir Menschen werden immer bewusster, dass ein gesunder Lebensstil wichtig ist.
Könnte auch der "Lebensstil" eines Baumes für die Langlebigkeit wichtig sein? Aber durchaus!
Bäume, die in "Freiheit" und ohne Einschränkungen aufwachsen,
und die nicht durch Menschen beeinträchtigt werden, können lange leben.
Bäume, die in engen Kollektiven unterdrückt werden, unterernährt werden oder darin verhindert werden ihre
Wurzeln auszubreiten, werden frühzeitig erkranken oder vom Wind geworfen.
Der Verfasser.

Zusammenfassung

Die Tatsache, dass Bäume altern und lediglich sterben, ist uns allen intuitiv bewusst. Jedoch sind die Ursachen des Älterwerdens weitgehend eine "ziemlich unklare Geschichte". Dieser Artikel versucht einen dynamischen Model zum Verstehen der Baumdegeneration darzustellen. Der Model systematisiert die Degenerationsmechanismen in vier Gruppen, die jeweils die Baumarchitektur, der Stoffhaushalt, der Wasserhaushalt und die Bodenentwicklung umfassen. Die beschriebenen Degenerationsmechanismen sind ontogenetisch in ihrer Natur, das heißt, dass sie in ihre Wirkung mit zunehmendem Alter zunehmen. Die Mechanismen werden kurz zusammengefasst: Das Blattmasse/Holzkörper-Verhältnis nimmt immer mit steigender Baumhöhe ab. Die Wartungsatmung der Holzmasse nimmt somit einen zunehmenden Anteil der von den Blättern produzierten Zucker in Anspruch, wobei relativ weniger Baustoff für das Wachstum und für die Resistenzmechanismen übrig bleibt. Somit nimmt die relative Wachstumsrate und damit die Anpassungsfähigkeit von Bäumen generell exponentiell mit der Baumhöhe ab. Das Wurzel/Spross-Verhältnis nehmen mit zunehmendem Alter in der Regel auch ab. Diese Abnahme hat zur Folge, dass auch die Resistenz gegen Sturmschäden abnimmt. Nur bei Solitärbäumen scheint das Strukturwurzel/Stamm-Verhältnis sich wenig zu ändern. Die abnehmende Sturmfestigkeit führt häufig zu Wurzelbrüchen oder sogar zu Wurzelballenloslösung, was immer den Wasserhaushalt negativ beeinflusst. Der Wasserhaushalt wird nicht nur von der ansteigenden Höhe des Baumes, sondern auch von Rückgang der tiefen Strukturwurzeln im höheren Alter beeinträchtigt. Die vertikalen Strukturwurzeln im Wurzelballenbereich können durch Wurzelbrüche oder durch Wurzelballenloslösung absterben, oder sie können in ihrem Gaswechsel mit der Atmosphäre durch Bodenverdichtung unter den Stützwurzeln behindert werden. Versauerung des Unterbodens durch Kation-Aufnahme und Protonen-Austausch könnte auf sauren Standorten auch zu Rückzug der tieferen Wurzeln führen. Die Degenerationsmechanismen entwickeln sich unterschiedlich stark, je nach Bodentyp, Baumart und Behandlung. Die Mechanismen wechselwirken auch mit einander; z.B. beeinflussen sich Stoff- und Wasser-Haushalt immer gegenseitig. Dieser Artikel beleuchtet auch einige Einflüsse des Managements auf die Degeneration von Bäumen.

Einleitung

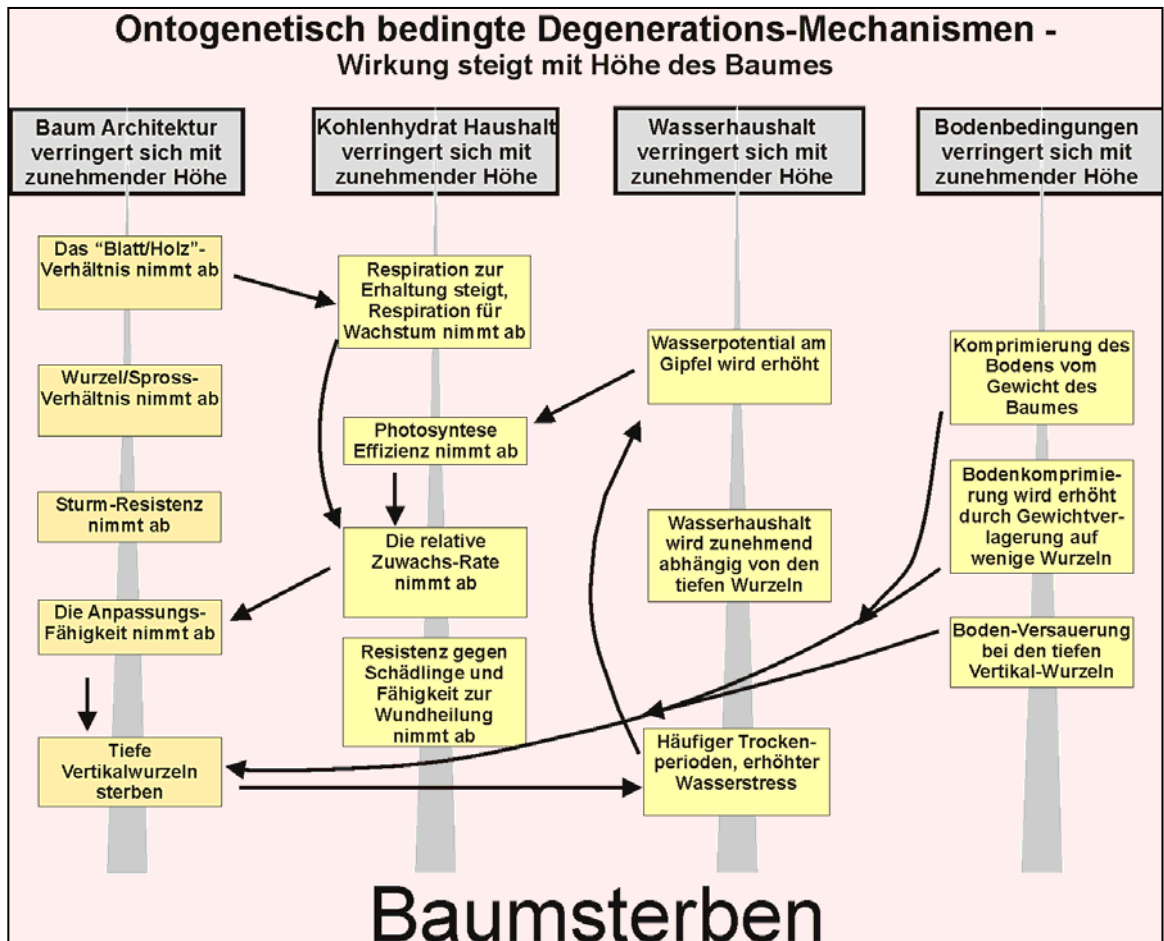
Ziel dieses Artikels ist es, ein grundlegendes Verständnis der Baumalterung zu vermitteln, wobei auch einige generelle Möglichkeiten der langfristigen Baumerhaltung diskutiert werden.

Wir Menschen lieben Bäume. Unter anderem, weil sie genau so alt oder noch älter als wir Menschen werden können. Wir haben deswegen auch ein intuitives Verständnis für das Älterwerden der Bäume, aber dieses Wissen ist eben auch nur intuitiv – selbst unter Wissenschaftlern. In der Forstwirtschaft hat man Erfahrungswerte für die optimale Umtriebszeit erarbeitet, und wir haben erkannt, dass die Umtriebszeiten ganz erheblich zwischen Baumarten und Standorten variieren. Der Frage, warum es nun mal so ist, ist wenig Aufmerksamkeit gewidmet worden. Ein weiterer guter Grund um sich mit der Langlebigkeit bzw. Degeneration von Bäumen zu beschäftigen ist, dass die Betriebsverwaltung einen sehr großen Einfluss auf die Gesundheit von Bäumen hat – nur ist dies oft nicht bewusst. Es ist keinen Zufall, dass gerade forstlich behandelten Bäumen unter "Waldsterben" und Sturmschäden leiden, während freistehende Landschaftsbäume eine weit höhere Resistenz gegen solche Schadfaktoren aufweisen. Um das Waldbauverständnis meinen Forstkollegen eine neuen Dimension zuzufügen, bezeichne ich jetzt die traditionelle Waldbau als "Zuchthaus-Waldbau". Ich werde diesen Begriff später erläutern, aber es ist Ausdruck für die Tatsache, dass Bäume unter den Zentraleuropäischen Waldbau Traditionen einer schnelleren Alterung/Degeneration ausgesetzt sind als ungestörte, solitäre Landschaftsbäume.

Ein Modell der ontogenetischen Degeneration von Bäumen

In dieser Arbeit verstehe ich unter Alterung der Bäume den Fortschritt der ontogenetischen Degenerationsmechanismen. Hiermit möchte ich behaupten, dass die Langlebigkeit der Bäume vom Fortschritt der vier Gruppen von Degenerationsmechanismen und deren Interaktionen abhängt. Ich teile somit die Degenerationsmechanismen in vier Gruppen ein (Figur 1):

1. Degeneration der Baumarchitektur mit zunehmender Baumhöhe
2. Degeneration des Stoff-Haushaltes mit zunehmender Baumhöhe
3. Degeneration des Wasser-Haushaltes mit zunehmender Baumhöhe
4. Degeneration des Bodens mit zunehmender Baumhöhe



Figur 1: Vier Gruppen von Degenerationsmechanismen ontogenetischen Charakters. Nach Nielsen 2004

Diese vier Gruppen von Degenerationsmechanismen sind ontogenetisch in Ihrer Natur. Damit wird gemeint, dass sich die Wirkung mit zunehmendem Alter verstärkt. Ich bin jedoch der Meinung, dass nicht das Alter, sondern vielmehr die Größe des Baumes von Bedeutung ist. Dies wird vor allem deutlich, wenn man die abnehmende Sturmstabilität, die zunehmende Bodenkomprimierung, das steigende Wasserpotential am Gipfel mit zunehmender Baumhöhe betrachtet.

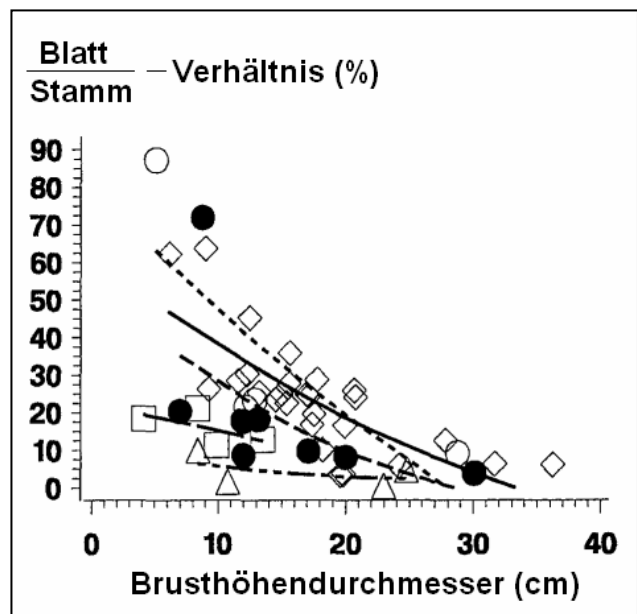
Die ontogenetischen Degenerationsmechanismen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie im jungen Alter schon wissenschaftlich nachweisbar sind, aber das sie

erst im höheren Alter praktische Bedeutung gewinnen. Im Folgenden werden die Degenerationsmechanismen der Figur 1 vereinfacht dargestellt. Die Zahlen in Klammern weisen auf die Kästchen in Figur 1 hin.

Die Blätter, die die Baumaterialien des Baumes (Zuckerstoffe) produzieren, steigt in absoluter Masse mit zunehmender Baumhöhe. In Verhältnis zu dem Holzkörper des Baumes nimmt die Blattmasse jedoch mit zunehmender Höhe drastisch ab (1) – siehe auch Figur 2. Das Blattmasse/Holzmasse-Verhältnis nimmt von ungefähr 100 Prozent in Jungbäumen auf unter 10 Prozent in Altbäumen ab.

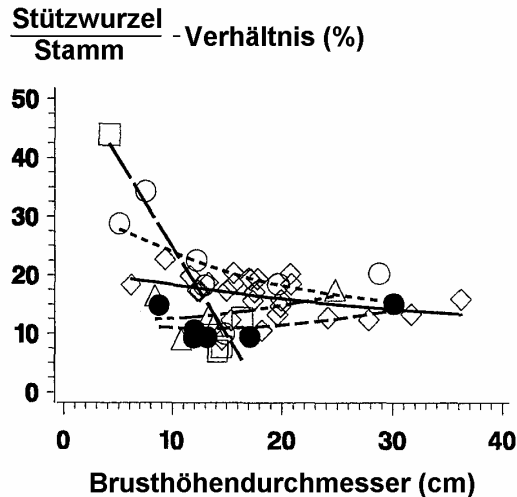
Somit muss die Blattmasse die "Wartungs-Atmung" einer ständig steigenden Holzkörper befriedigen, wobei relativ weniger Zucker fürs Wachstum (2) und Resistenzmechanismen (15) in alten Bäumen übrigbleiben. Dies ist einer der wichtigsten Alterungsmechanismen. Er hat schließlich zu folge, dass die relative Wachstumsrate von über 100 Prozent in Sämlingen bis auf 0-2 Prozent in Altbäumen abnimmt (3). Die

wachstumsmäßige und architektonische Anpassungsfähigkeit hängt nämlich von der relativen Wachstumsrate ab (4). Nielsen (2005b) schätzt, dass die in einer 5-jährigen Periode erfasste Anpassung des Wurzel/Spross-Verhältnisses in 16 Meter hohen freigestellten Fichten, erst nach 10 bzw. 47 Jahren erreichte wäre, wenn die Bäume 20 bzw. 25 Meter hoch gewesen wären. Die Anpassungsfähigkeit an Stress und an Veränderungen in der Umwelt nimmt also mit Baumhöhe exponentiell ab. Das Wurzel/Spross-Verhältnis nimmt in Bestandesbäumen mit Alter auch generell ab (5) – siehe Figur 3 und 4, wobei die

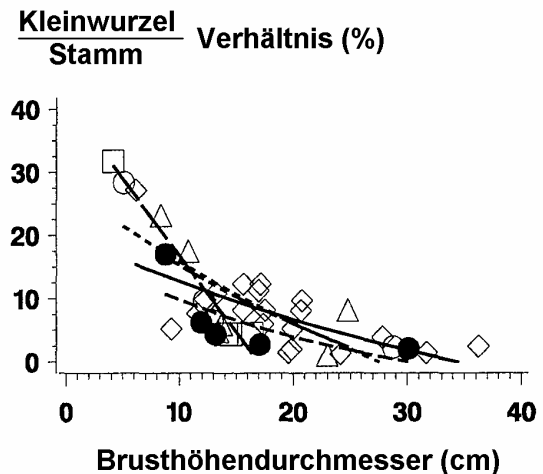


Figur 2: Das Blatt/Stamholz-Verhältnis von Waldbäumen. Das Verhältniss beruht auf Trockenbiomasse. Von Nielsen und Hansen 2005a. Symbole der Baumarten: Rhumbe=Fichte, Cirkel=Sitka Fichte, Gefülter Cirkel=Kiefer, Viereck=Eiche, Dreiech=Buche.

Sturmstabilität auch mit dem Alter verringert wird (6). Dies ist mitwirkend, dass Bäume nicht "in den Himmel hineinwachsen".



Figur 3: Das Stützwurzel/Stamholz-Verhältnis von Waldbäumen. Das Verhältniss beruht auf Trockenbiomasse. Beide Figuren von Nielsen und Hansen 2005

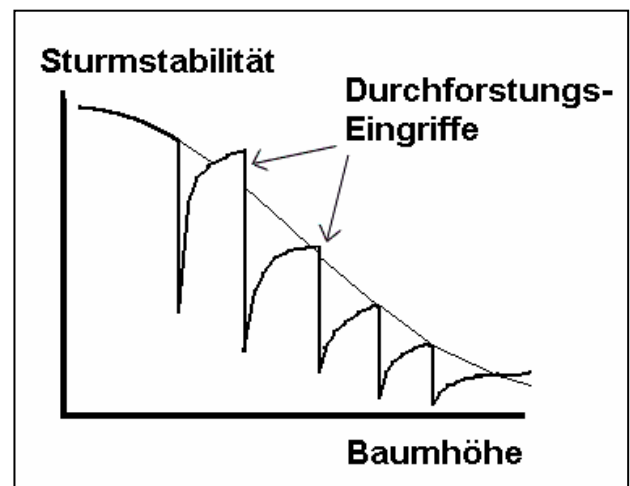


Figur 4: Das Kleinwurzel/Stamholz-Verhältnis von Waldbäumen. Die „Kleinwurzeln“ sind zwischen 1 und 10 mm. Die Daten beruhen auf Trockenbiomassen.

Symbole der Baumarten: Rhumbe=Fichte, Cirkel=Sitka Fichte, Gefülter Cirkel=Kiefer, Viereck=Eiche, Dreiech=Buche

Mit zunehmender Baumhöhe verringert sich auch der Wasserhaushalt. Mit zunehmender Höhe müssen die Blätter einen zunehmenden Unterdruck (Wasserpotential) entwickeln, um Wasser hochzusaugen (7). Dies ist eine weitere Ursache, warum die Bäume nicht in den Himmel hineinwachsen. Ab einer Baumhöhe von ungefähr 10 Metern entwickeln sich die tiefgehenden Vertikalwurzeln besonders stark und schließen während des folgenden 5-10 Meter Höhenzuwachses ganz den tieferen Bodenhorizonten. Somit ändert sich auch die Hydrologie der Bäume. In der Jugend wird das Wasser aus den oberen 20-40 cm Bodenschichten bezogen, während im mittleren (und hoffentlich auch im hohen) Alter die tiefgehenden Wurzeln zunehmend an Bedeutung gewinnen (8). Dies geht mit dem mit zunehmender Baumhöhe exponentiell steigenden Wasserkonsum überein – 23 Meter hohen Bestandesbuchen können während der Wachstumsperiode durchschnittlich 150 Liter Wasser pro Tag verbrauchen (Nielsen 2005c), welches nur bei Erschließung des Unterbodens möglich ist.

Das Absterben der tiefen Strukturwurzeln ist häufig der Prozess, der die Degeneration in älteren Bäumen ernsthaft beschleunigt. Der Verlust der tiefen Wurzeln initiiert einen bösartigen Kreislauf mit häufigeren und längeren Perioden mit Trockenstress (10), was wiederum die Photosynthese negativ beeinflusst (11), wobei die relative Zuwachsratesinkt (3). Somit verringert sich auch die Möglichkeiten des Baumes, einen weiteren Rückzug der Tiefwurzeln zu verhindern (4), wobei die Trockenstressperioden wiederum länger werden.



Figur 5: Die Entwicklung der Sturmstabilität von Waldbeständen mit zunehmender Baumhöhe. Einflüsse von Durchforstungseingriffen sind skizziert. Der Figur ist eine qualitative Zusammenfassung von Erfahrungen des Verfassers aus den Stürmen der letzten 20 Jahren.

Verschiedene Mechanismen können sich auf die Vitalität der tiefen Wurzeln negativ auswirken: 1) Der Boden unter den großen horizontalen Stützwurzeln wird durch das Gewicht des Baumes und durch Baumschwingungen eventuell verdichtet (12 und 13), wobei der Gaswechsel zwischen der Atmosphäre und den Tiefwurzeln verringert wird („Sauerstoffmangel“). Dies blockiert die Respiration der Wurzeln und führt zu „Rückzug“ der Tiefwurzeln. 2) „Versauerung“ des Unterbodens nahe der Senkerwurzeln durch Exploitation der Kat-Ionen und Freigabe von H^+ könnte auf „sauren“ Böden auch zu einem Rückzug der Tiefwurzeln führen (14). 3) Häufiger als wir glauben, führen Stürme zu Wurzelabrissen und eventuell zu Wurzelballen-Loslösung, was immer zu Verlust der Wurzeln führt, die aus dem Wurzelballenboden herausreichen (Nielsen 1990, 1991). Zusammenfassend passiert es in der Regel, dass die Vertikalwurzeln, die der Baum in der virilen Jugendphase tief runterschickten, nicht im höheren Alter erhalten werden können. Durch die Abnahme des relativen Zuwachses und der Anpassungs- und Reparations-Kraft muss der alte Baum die tiefen und ausgesetzten Wurzeln häufig „im Stich“ lassen.

Somit fängt die Degeneration häufig in den tiefen Teilen des Wurzelwerkes an. Häufig degeneriert das Wurzelwerk langsam über viele Jahren (bis Jahrzehnte) hinweg, ohne dass Schäden oberirdisch sichtbar werden. In vielen Fällen erleidet der Baum jedoch plötzlichem starken Stress (Dürre, Insekten- und Pilzbefall, subletale Sturmschäden und Wurzelballenlösung), wobei die schon degenerierten Stoff- und Wasser-Haushalte eventuell zum Innehalten gebracht werden können. Der Baum stirbt somit – schnell oder langsam. Sturmwurf ist eine andere mögliche Folge eines degenerierten Wurzelwerkes.

Der Verfasser vertritt soeben den Standpunkt, dass die oben beschriebenen ontogenetischen Degenerationsmechanismen einen starken prädisponierenden Effekt auf die generelle Resistenz der Bäume gegen kurzfristige Stressfaktoren ausüben. Ältere Bäume leiden nur unter Stürme, Dürre, Stammwunden, Insekten- oder Pilz-Befall, wenn die ontogenetische Degeneration fortgeschritten ist. Das lange Überleben von ungestörten Solitärbäumen zeugt davon.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Daten der Figuren 2-5 von Waldbäumen stammen. Es gibt nur wenige Daten zu Solitärbäumen, aber alles deutet darauf hin, dass die ontogenetischen Degenerationstrends in freistehenden Bäumen der ungestörten offenen Landschaft sich sehr viel langsamere entwickeln als in Bäumen, die in ein geschütztes soziales Gefüge eingebunden sind. Es soll letztlich erwähnt werden, dass die hier beschriebenen ontogenetischen Degenerationsmechanismen zwar generellen Charakter haben, jedoch wird die Bedeutung der einzelnen Mechanismen und die Wechselwirkung zwischen Mechanismen stark von Baumart, Bodenzustand und "Management" abhängen.

Einflüsse des Verwalters auf die Degeneration der Bäume

Es kann von dem oben dargestellten Degenerationsmodell eine Reihe genereller Gegenmaßnahmen abgeleitet werden. Zum Beispiel:

1. Der Stoff-Haushalt kann durch große und tiefe Baumkronen verbessert werden. Dadurch kann (wenn es der Wasser-Haushalt zulässt) die Photosynthese und der Zuckerproduktion erhöht werden. Dies bewahrt die Anpassungsfähigkeit und eine aktive Resistenz gegen Schadfaktoren.

2. Je freiständiger die Bäume stehen, desto mehr passen sich die Bäume dem Winddruck mit höheren Wurzel/Spross-Verhältnissen an (Nielsen 1990, 1991). Bäume im engen sozialen Verbund entwickeln schwache Stützwurzeln und kaum Zugwurzeln (Nielsen 2005b) und überwiegend Wasser- und Nährstoffversorgende Wurzeln. Daten von Honer (1971) zeigen, dass das Strukturwurzel/Spross-Verhältnis in Solitärbäumen doppelt so hoch ist wie in Waldbäumen.
3. Auch der Bodenverdichtung unter Stützwurzeln und der Degeneration der tiefgehenden Wurzeln kann z.B. durch ein passendes Unterbodensubstrat (siehe Schröder 2004) vorgebeugt werden.
4. Plötzliche Störungen und Änderungen der Umweltfaktoren (z.B. Grundwassersenkung, Schließung von Dränagen, Entfernung von Windschutzkörpern, Durchforstungen in Altbeständen) werden häufig die Vertikalwurzeln ungünstig beeinflussen und den Wasserhaushalt verringern.

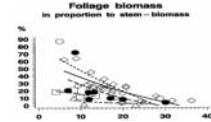
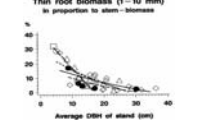
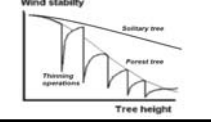
Es geht schon aus diesen vier Punkten hervor, warum Solitärbäume der offenen Landschaft eine weit höhere Lebenserwartung haben als Waldbäume (siehe auch Tabelle 1).

Die europäischen Waldbau Traditionen streben vor allem eine gute Holzqualität an. Diese wird in Bäumen mit hohen, geraden und astfreien Stämmen mit geringer Abschalung verwirklicht. Solche Stämme mit hohem Wert für die Holzindustrie werden vorwiegend durch einen engen Pflanzverband und schwache Durchforstungen erzeugt. Der Waldbau erzeugt dann eben Bäume mit verhältnismäßig kleinen und angehobenen Kronen. Die Krone ist selten auf den untersten 50 Prozent des Stammes am Leben. Weiterhin stehen die Bäume vor allem in den Jungendjahren sehr dicht beieinander, wobei sie kaum Resistenz gegen Windexponierung entwickeln. Nach einer solchen Jugend mit "starker Unterdrückung" der Individualität setzen wir in der Forstwirtschaft mit kontinuierlichen Durchforstungen auch im höheren Alter fort. Das Kronendach in älteren Beständen schließt sich nach üblichen Durchforstungen nicht wieder. Dadurch wird den Altbäumen, deren Anpassungsfähigkeit ja auch sehr gering ist, ganz der angewöhnte soziale Schutz entnommen. Diese Kombination aus "Unterdrückung des Individuums" in der Jugend und Entnahme der sozialen

Stützfunktion im hohen Alter habe ich "Zuchthaus-Waldbau" genannt (Tabelle 1). Ergebnis des üblichen Waldbetriebs ist somit eine auf vielen Standorten erzwungene kurze Umtriebszeit und sehr regelmäßiges Auftreten von Insekten- und Sturmschäden. Es ist wichtig zu betonen, dass die Bodenverhältnisse eine große Rolle nicht nur für die Wurzelentwicklung, sondern auch für die spätere Degeneration der Wurzeln spielen (Tabelle 2). Ein stabiler und "gesunder" Wurzelraum, der sowohl Luft- und Wasserdurchlässigkeit aber auch eine hohe Wasserspeicherkapazität aufweist, wird eine Erhaltung des Wurzelwerkes und des Wasserhaushaltes fördern.

Dass Baumbestände auch mit hoher Sturmstabilität und hoher Lebenserwartung erzeugt werden können (für andere Zwecke als Holzproduktion) geht auch aus Tabelle 1 hervor.

Tabel 1. Degenerationsmechanismen bei 3 verschiedenen "Behandlungen". Nach der Einschätzung des Verfassers.

Degenerationsmechanismen		Europäische Walbau-Tradition	Weite Gründung + Durchforschungsfrei	Solitärbaum
Abnehmender Stoff-Haushalt		--	-	+++
Abnehmendes Wurzel/Spross-Verhältnis		---	+	+++
Abnehmender Sturmstabilität		---	++	+++
Boden-komprimierung		-	+	---
Abnehmender Wasser-Haushalt		---	++	?
Zusammenfassender Schätzung der Lebenserwartung		---	+	++

Während die Ursachen einer schnellen Degeneration von Waldbäumen jetzt einigermaßen gut verstanden werden können, ist die Alterung von Solitärbäumen schon schwieriger zu erklären. Wie in Tabelle 1 vorgeschlagen, könnte die

Bodenverdichtung unter großen Altbäumen eventuell eine sehr wichtige Rolle für die Degeneration des Wurzelwerkes spielen. Wir wissen eben zu wenig über die Architektur und Entwicklung von Solitärbäumen.

Die Degenerationsverläufe von Stadt- und Straßenbäumen hat der Verfasser noch nicht ausreichend untersucht. Die häufig starken Einschränkungen der Wurzelentwicklung unter städtischen Bedingungen wird allgemein zu ernsthaften Störungen des Wasserhaushaltes führen (z.B. Nielsen et al. 2005c). Somit werden viele Stadtbäume unter sehr häufigem Wasserstress leben, was sich wiederum negativ auf Stoffhaushalt, Resistenzmechanismen und auf die Anpassungsfähigkeit auswirkt. Die Forderungen des Arbeitskreises "Stadtbäume" der GALK nach 8-14 m² große Baumscheiben (persönliche Mitteilung), muss als ein großer Fortschritt im Vergleich zur bisherigen Städtepraxis anerkannt werden.

Diagnose der Baumdegeneration

Zum einen ist es ein Fortschritt, dass ein kausales Erklärungsmodell entwickelt worden ist, zum anderen fehlen noch viele Daten und Werkzeuge zur praktischen Anwendung des Modells. Tabelle 1 zeigt eben beispielhaft wie groß die Rolle des Managements ist, und Tabelle 2 stellt beispielhaft den vermuteten Einfluss von Bodenverhältnissen auf ausgewählte Degenerationsmechanismen dar.

Tabelle 2: Bedeutung des Bodentyps für die "Wirkung" ausgewählter Degenerations-Mechanismen. Nach Einschätzung des Verfassers.

SYMBOLE: (): sekundäres Effekt + : weniger Bedeutend ++: wichtig +++: sehr wichtig	Degenerationsmechanismen							
	Degenerierter Stoffhaushalt	Meristem-Alterung	Abnehmendes Wurzel/Sproß-Verhältnis	Abnehmender Sturmstabilität	Degenerations der Wurzelumgebung			Degenerierter Wasserhaushalt
					Wurzelballen-Lösung	Bodenverdichtung	Bodenchemie	
Staunässe - sauerstoffarm	+	?		+++	+++			(+++)
Stark podzolierte Sande	(++)	?		+++	+++	+	++	+++
Tief durchwurzelbaren Moränböden	+	?						
Komprimierte Tonböden	(++)	?	++?	+	++?	++	++?	++
Straßenbäume	(+++)	?	+++		?		+++	(+++)
Stadtbäume mit befäßigtem Boden	+	?	?			++?		?
Solitäre Parkbäume	+	?			?	+++	?	(+)

Während oberirdische Schäden, wie Stammwunden und Abrisse von Ästen, relativ einfach zu erkennen und diagnostizieren sind, können Schäden am Wurzelwerk dagegen nur von ganz wenigen Fachleuten eingeschätzt werden. Zudem muss erkannt werden, dass nicht-destruktive Beurteilungen des Wurzelzustandes auch immer mit Unsicherheit verbunden sind. Dies ist um so viel bedauerlicher, weil die Degeneration von Bäumen häufig im unterirdischen Bereich anfängt. Es gibt viele destruktive Wurzeluntersuchungsmethoden (eg. Bolte 2003), aber sehr wenige Wurzel-Diagnose-Werkzeuge. Die Entwicklung solcher Methoden wird künftig eine wichtige Aufgabe für Forschung und Technik sein.

Bis dahin, hoffe ich, dass diese Arbeit zum vertieften Verständnis des erfahrenen Baumpflegers beitragen kann.

Literatur

- Bolte A, Hertel D, Ammer C, Schmid I, Nörr R, Kuhr M, Redde N. (2003): Freilandmethoden zur Untersuchung von Baumwurzeln, Forstarchiv 74, p. 240-262.
- Honer, T.G. (1971): "Weight relationships in open- and forestgrown Balsam fir trees", Forest Biomass Studies, Symposium for Working Group on forest Biomass studies. Life Sci. and Agric. Exp. Station, Univ. of Maine at Orono,
- Nielsen, C.C.N. (1990a): 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. 259pp.
- Nielsen, C.C.N. (1991): "Zur Verankerungsökologie der Fichte. Ökologische und waldbauliche Einflüsse auf die Verankerungskomponenten und den Verankerungslösungsprozess", Forst und Holz, Jg. 46, S. 178-182
- Nielsen, C.C.N (2003): "Adaptive physiology and tree management". Compendium for the course of the same name at KVL. DSR book store at the Royal Vet. & Agric. University, Copenhagen.
- Nielsen, C.C.N. & Hansen, J.K. (2005a): "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, pp. 297. Submitted to the "The Research Series" Danish Forest and Landscape Research Institute and the Royal Vet. & Agric. University". Status: in international referee.
- Nielsen, C.C.N. & Knudsen, M.A: (2005b): A Danish shelterwood trial I: Adaptive growth and architecture in semi-mature Norway spruce after sudden release. Under Submission to "Trees".
- Nielsen C.C.N, Bühler O, Kristoffersen, P (2005c): Soil water dynamic and growth of street and park trees. Submitted to Journal of Arboriculture
- Schröder K. (2004): Rooting Zones underneath traffic lanes. Replacing substrate at the rooting zones of trees. Examples of the City of Osnabrück. Seminarunterlagen zu den Osnabrücker Baumpflegetage 2004. [www. Baumpflegetage.de](http://www.Baumpflegetage.de).