



Das Lebensministerium



Ermittlung des Stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen im Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen

Endbericht

vorlegt dem

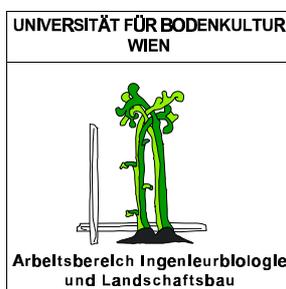
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft

Gruppe VC, Schutz vor Wildbächen, Erosion und Lawinen

von

Dipl.Ing. Stephan Vollsinger und Franz Doppler

Projektleitung: o.Univ.Prof. Dr. Florin Florineth



Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie
Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Leiter: o.Univ.Prof. Dr. Florin Florineth

WAS PFLANZEN HALTEN.

Endbericht

**Ermittlung des Stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen im
Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen**

gemäß Werkvertrag GZ: 58.110/ 09 - VC7/ 98

IMPRESSUM

Verfasser

Dipl. Ing. Stephan VOLLSINGER

Franz DOPPLER

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie

Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Hasenauerstraße 42

A - 1190 Wien

Vorstand: O. Univ. Prof. Dr. Florin FLORINETH

Herausgeber

Min. Rat. Dipl. Ing. Hubert SIEGEL

Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und

Wasserwirtschaft

Leiter der Abt.VC7 / Wildbach- und Lawinenverbauung (Projekte, Budget)

Marxergasse 2

A - 1030 Wien

Satz, Grafik, Layout und Druck

Dipl. Ing. Stephan VOLLSINGER

Sabine MAYER

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie

Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Hasenauerstraße 42

A - 1190 Wien

Vervielfältigung

MultiCopy GmbH

Muthgasse 42-46

A - 1190 Wien

Ausgabe © 09 / 2000

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und

Wasserwirtschaft

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	.8
ABSTRACT	.10
EINFÜHRUNG	.12
1. Allgemeines	.12
1.1 Fließgewässerpflanzung	.12
1.2 Ufervegetation	.12
2. Uferschutz	.13
2.1 Versagen und Bestehen	.13
2.2 Entscheidungsgrundlagen zur Wahl des Schutzmechanismus	.14
3. Das Vorgängerprojekt WLVI	.15
4. Grundlagen und Ziele des Projekts	.15
4.1 Zwei ausgewählte Schutzmechanismen	.16
FESTIGUNG DES BODENS DURCH WURZELN VON UFERPFLANZEN	17
1. Einführung: Bodenbewehrung durch Pflanzenwurzeln	.17
2. Der Auszugwiderstand	.18
3. Der Versuchsgarten in Wien Eßling	.19
3.1 Klima	.19
3.2 Geologie und Boden	.20
3.2.1 Geologie	.20
3.2.2 Der autochthone Boden	.20
3.2.3 Die allochthonen Böden	.21
4. Versuchsanordnung	.23
4.1 Gruppengrößen nach Boden und Baumart	.23
4.2 Lastfall	.25
4.3 Messtechnik	.25
4.4 Erhobene Daten	.26
5. Messergebnisse der Auszugversuche in Wien Eßling	.27
5.1 Auszugwiderstand	.27
5.2 Oberirdisches Volumen	.28
5.3 Wurzelhalsflächen	.28
5.4 Länge der Triebe	.29
5.5 Das Wurzelwachstum der Pflanzen	.30
6. Zusammenhänge und Interpretation	.32
6.1 Auszugwiderstand und Boden	.32
6.2 Auszugwiderstand und Baumart bzw. Pflanzverfahren	.34
6.3 Vergleich des Auszugwiderstandes mit der zu erwartenden Strömungskraft	.34
7. Weitere Versuchsstandorte	.36
7.1 Der Pflanzgarten Prad am Stilfserjoch	.36
7.2 Martelltal	.37
7.3 Suldenbach	.39
8. Zusammenfassung der Ergebnisse	.41

UFERSCHUTZ DURCH DIE ABDECKUNG DES BODENS	42
1. Einführung: Verformung dichter Uferbestände	42
2. Kräftegleichgewicht in der einzelnen Pflanze	42
2.1 Belastung einer Pflanze (actio)	42
2.1.1 Strömungskraft	42
2.1.2 Änderung der Angriffsfläche	42
2.1.3 Geometrie der Belastung	43
2.2. Widerstand der Pflanze (reactio)	43
2.2.1 Spannung	43
2.2.2 Verformung	44
2.2.3 Geometrie-Schema einer Pflanze	45
2.2.4 Grundlegende Materialeigenschaften	45
3. Materialprüfung	46
3.1 Ziel der Untersuchungen	46
3.2 Kurzbeschreibung der Biegeprüfungen	46
3.3 Baumarten und Stichprobenumfänge	47
3.4 Die Entnahme der Probestücke	47
3.4.1 Standorte	47
3.4.2 Vorgangsweise bei der Gewinnung der Proben	47
3.5 Vermessung und Beschreibung der Probestücke	47
3.5.1 Durchmesser und Auflagerlänge	47
3.5.2 Astigkeit	48
3.5.3 Dokumentation	48
3.6 Feuchtigkeit	48
3.7 Dichte	50
3.8 Versuchsanordnung bei der Biegeprüfung	52
3.9 Erhebungen bei der Biegeprüfung	52
3.10 Berechnungen nach der Biegeprüfung	52
3.10.1 Aufsuchen des linearen Bereiches	53
3.10.2 Berechnungen	53
3.11 Interpretation einer typischen Spannungs-Dehnungs-Kurve	54
3.12 Materialkennwerte verschiedener Baumarten	55
3.13 Materialeigenschaften nach Durchmessern	56
3.14 Interpretation der Ergebnisse und Folgerungen	57
4. Die Finite Elemente Methode	58
4.1 Einführung in die Finite Elemente Methode (FEM)	58
4.2 Die Anwendung der Finite Elemente Methode zur Beschreibung des Material- verhaltens	58
4.3 Die Eckdaten des Finite Elemente Modells	59
4.4 Modellierung der Probestücke	59
4.5 Ergebnisse der Finite Elemente Simulation	61
4.6 Umrechnung auf andere Pflanzengeometrien und Lastfälle	61
4.7 Resümee der Finite Elemente Simulation	62
SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS	63
RESÜMEE UND AUSBLICK	65
DANK	66
LITERATUR	67

ANHANG .....	.72
1. Das Visual Basic-Programm P-LASTIC .....	.72
1.1 Data Post-Processing .....	.72
1.1.1 Glättung .....	.72
1.1.2 Aufsuchen des linearen Bereiches .....	.72
1.1.3 Einlesen der Probengeometrie .....	.72
1.1.4 Berechnungen .....	.72
1.1.5 Datenablage .....	.73
2. Die Programme PATRAN und ABAQUS .....	.73
2.1. Features .....	.73
2.2. Analyse mit Abaqus .....	.74
3. Biegeproben .....	.76
3.1 Baumarten, Geometrie, Materialkennwerte .....	.76
4. Die Messungen des Auszugwiderstandes in Wien Eßling .....	.90
4.1 Die Korngrößenverteilungen der autochthonen und allochthonen Böden .....	.90
4.2 Die Daten der im Versuchsgarten ausgezogenen Pflanzen .....	.92
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	.106
TABELLENVERZEICHNIS .....	.107

VORWORT DES PROJEKTL EITERS

O.Univ.Prof.Dr. Florin Florineth
Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Universität für Bodenkultur Wien
1190 Wien, Hasenauerstraße 42

Gewässerpflege hilft, Schäden an Fließgewässern vorzubeugen. Vor allem an engen und steilen Wildbächen ist es wichtig, durch Maßnahmen an den Ufergehölzen, den Schutz der Böschungen zu stärken, die Bildung von Wildholz zu vermeiden und den notwendigen Durchfluss zu ermöglichen.

Solche Pflegeeingriffe sind das Auf - den - Stock - Setzen starker Einzelgehölze, die Schlägerung ganzer Bachabschnitte, die Änderung von Uferbeständen durch ein selektives Herausnehmen von Bäumen und Sträuchern, das Entfernen von Totholz, das Pflanzen neuer Arten, die Pflege dieser Jungpflanzungen, das Ausmähen und einiges mehr.

Ab welcher Stärke sind Gehölze auf den Stock zu setzen? Wann nimmt deren Flexibilität so stark ab, dass sie nicht mehr verformbar sind und damit die Bodenoberfläche nicht schützen? Ab welcher Stärke brechen die Gehölze und werden zu schädlichem Wildholz? Welche Ufergehölze sind für Wildbäche am geeignetsten, welche bleiben am längsten elastisch? Welche Arten zeigen das schnellste Wurzelwachstum und halten bereits im Jugendstadium starken Strömungskräften stand?

Die Beantwortung dieser Fragen ist das Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes, das wir im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion V, Gruppe VC, Schutz vor Wildbächen, Lawinen und Erosion durchgeführt haben und als Fortsetzung der 1998 abgeschlossenen Arbeit "Untersuchungen über die Wirksamkeit von Pflanzen in Einzugsgebieten des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung" (WEITZER et al.) gilt.

Jede Forschungsarbeit kostet Geld; durch gezielte Eingriffe und vorbeugende Maßnahmen an Wildbächen können größere Schäden vermieden und damit ein Mehrfaches wieder eingespart werden.

Ich danke für die sehr gute Zusammenarbeit mit den betreffenden Personen der genannten Sektion und hoffe, dass wir unser gemeinsam gestecktes Ziel erreicht haben.

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Min. Rat. Dipl. Ing. Hubert SIEGEL
Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Abt.VC7 / Schutz vor Wildbächen, Lawinen und Erosion (Projekte, Budget)
Marxergasse 2
A - 1030 Wien

Im Rahmen der Intensivierung von Planungsaufgaben des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung zur effektiven Sanierung von Einzugsgebieten von Fließgewässern, insbesondere von Wildbächen, gewinnt die Kenntnis um das Wirkungsgefüge der Uferbegleitvegetation als alternativer Möglichkeit zur Sicherung von Gerinneufeln im Hinblick auf die Notwendigkeit der Einbeziehung der Uferbewuchsstreifen und ihres Zustandes in die Beurteilung des naturräumlichen Gefahrenpotentials zunehmend an Bedeutung. In diesem Zusammenhang erfährt vor allem die Ableitung des Schutzerfüllungsgrades eine besondere Relevanz; die stark schwankende Vitalität von Uferwald - Beständen infolge vielfältiger Beeinträchtigung erfordert insbesondere eine systematisierte Beurteilung der einzelnen Parameter des Wirkungsgefüges im Zusammenhang mit dem Abfluss- und Erosionsgeschehen in den Uferregionen.

Aus diesem Grunde bedarf es einer höchstmöglich objektivierbaren Parameterwahl, um eine konkrete Erfassung des Schutzwertes von Uferbewuchsstreifen hinsichtlich des Abfluss- und Erosionsgeschehens zu ermöglichen.

Eine derartige Wirkungs-Beurteilung erfordert einheitliche Ausgangsbedingungen, in denen die Wirkungsbeziehung Geotop - Biotop - Abfluss - Erosion in nachvollziehbaren Auszugs- und Belastungsversuchen objektiviert werden können.

Zu diesem Zweck hat das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in Fortführung von bereits im Jahre 1993 initiierten Arbeiten das Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie an der Universität für Bodenkultur mit einer Pilotstudie beauftragt, deren Ziel die Schaffung von Bemessungsgrundlagen für ingenieurbiologische Bauwerke als Entscheidungshilfe für alternative und ergänzende Bauweisen zu den technischen Verbauungen darstellt.

Die in Abstimmung mit der Praxis des Forsttechnischen Dienstes konzipierten Untersuchungen haben den Zweck, wissenschaftlich abgestützte Bemessungsgrundlagen für ingenieurbiologische Bauwerke zu liefern. Diese wird in Hinkunft den Technikern und planenden Ingenieuren eine wichtige Entscheidungshilfe sein.

In weiterer Folge läßt die geplante Pilotstudie verbesserte Antworten auf immer wieder gestellte Fragen im Zusammenhang mit ingenieurbiologischen Bauweisen erwarten, um sie als Alternativen bzw. sinnvolle Ergänzungen zu rein technischen Verbauungsmethoden einzusetzen. Gerade im Hinblick auf die im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie der EU zu erwartenden erhöhten Anforderungen an die ökologischen Standards der jeweiligen Sicherungsmaßnahmen vor dem Naturgefahrenpotential gewinnen derartige Fragestellungen zunehmend Gewicht.

In diesem Sinne bestand und besteht von Seiten des BMLFUW ein vitales Interesse an der Fortführung der bisher getätigten Untersuchungen bzw. an einer forcierten Anwendung des dabei gewonnenen Wissens zum Zwecke einer möglichst kostengünstigen Ufersanierung dafür geeigneter Wildbachsysteme.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wirkung von Ufervegetation zum Schutz der Böschung gegen Erosion ist komplex. In der vorliegenden Arbeit werden zwei Wirkungsweisen isoliert bearbeitet.

Bodenbewehrung:

Die Bewehrung des Bodens durch die Wurzeln der Pflanzen wird durch ihren Auszugwiderstand veranschaulicht und zwischen verschiedenen Gruppen unter gleichen, genau definierten Standortbedingungen verglichen.

Untersucht werden die neun Baumarten *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*, *S. caprea*, *S. eleagnos*, *S. purpurea* und *S. viminalis*.

Dabei zeigt sich:

- Weiden zeigen höhere Auszugwiderstände als gleichaltrige und selbst ältere andere Laubhölzer
- Unter gleichaltrigen Weiden, die unter strikt gleichen Standortbedingungen gewachsen sind, weist die Art *Salix viminalis* den höchsten Auszugwiderstand auf.
- Der Auszugwiderstand hängt stärker vom Boden als von der Baumart ab.
- Auch unter strikt gleichen Standortbedingungen sind keine signifikanten Zusammenhänge zwischen leicht messbaren Parametern und dem Auszugwiderstand nachweisbar.
- Der Auszugwiderstand von Weiden ist höher als die an vergleichbaren Weiden, empirisch ermittelte zu erwartende Strömungskraft. Ohne Erosion ist ein Versagen von Weiden also de facto nicht möglich.
- Zwischen gepflanzten und gesäten Grauerlen ist kein signifikanter Unterschied des Auszugwiderstandes nachweisbar.

Abdeckung des Bodens:

Die Biegsamkeit von Pflanzen, d.h. ihre Fähigkeit, sich bei Überströmung umzulegen, die Uferböschung abzudecken und so vor dem Angriff des Wassers zu schützen, wird in dieser Arbeit anhand empirisch erhobener Festigkeitseigenschaften beschrieben. Untersucht werden die fünf Baumarten *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba* und *Salix caprea*.

Dabei zeigt sich:

- Alle untersuchten Materialien verhalten sich nicht rein elastisch. Ihr Verformungsverhalten ist vielmehr elasto-plastisch mit einem sehr langen Übergangsbereich.
- Bei allen Baumarten überwiegt der plastische Verformungsanteil den elastischen deutlich.

- Die häufig angewandte Biegesteifigkeit $E \cdot I$ erscheint nicht ausreichend zu sein, um das Verformungsverhalten frischen Stammholzes zu beschreiben.
- Die Baumarten Bergahorn und Esche weisen nicht nur wesentlich höhere Bruchspannungen, sondern auch größere E-Moduln auf, als Schwarzerle, Salweide und Silberweide.
- Unter dem Aspekt des Uferschutzes bedeutet dies, dass bei Esche und Ahorn wesentlich höhere Kräfte über die Krone eingeleitet werden müssen, um ein Umlegen der Pflanzen und dadurch die Abdeckung des Bodens zu erreichen als bei den leichter verformbaren Baumarten Schwarzerle, Silber- und Salweide.

ABSTRACT

erosion is complex. This paper deals with two mechanisms of riverbank protection by plants.

Soil armouring:

The phenomenon of soil armouring by roots of plants is illustrated by their resistance against pulling up and is compared between different groups under constant, exactly defined site-conditions.

Nine tree species are examined, i.e. *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*, *S. caprea*, *S. eleagnos*, *S. purpurea* and *S. viminalis*.

It is shown:

- Willows show higher pulling-up resistances than other hardwood of the same age and even older
- Comparing willows of the same age, which grew under strictly the same site-conditions, *Salix viminalis* shows the highest pulling-up resistance.
- The pulling-up resistance depends on the soil type even more than on the tree species.
- Even under constant site-conditions no significant correlation between easily measurable parameters and the pulling-up resistance is provable.
- The pulling-up resistance of willows is higher than the expected drag-force. Thus a failure of willows without erosion is almost impossible.
- Between planted and sown grey alder no significant difference in their pulling-up resistance is provable.

Covering of the soil:

The flexibility of plants, i.e. their ability to bend down when overflowed, to cover the embankment and protect it from erosion, is described on the basis of empirically established material properties. Five tree species are examined, i.e. *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba* and *Salix caprea*.

It is shown:

- The deformation of all examined materials is not elastic. Their deformation behavior is rather elasto-plastic with a very long transient section.
- The plastic deformation section is predominating the elastic part with all tree species'.
- The commonly applied resistance to deflection ($E \cdot l$) appears to be insufficient, in order to describe the deformation behavior of young woody stems.
- The tree species' *Acer pseudoplatanus* and *Fraxinus excelsior* show higher ultimate stresses, and also higher moduli of elasticity than *Alnus glutinosa*, *Salix caprea* and *Salix alba*.
- Concerning riverbank protection that means that ductile tree species' such

as Alnus and Willow are more easily bent to the ground by the streaming water in order to cover the soil and the riverbank whereas higher loads are needed to bend ash and maple.

EINFÜHRUNG

1. Allgemeines

1.1 Fließgewässerpflege

Naturnaher Hochwasserschutz bedeutet, eine natürliche Auwalddynamik und natürliche Sukzession der Uferwaldgesellschaften zuzulassen. Dabei bedarf es keines *Uferschutzes* im herkömmlichen Sinne, weil Veränderungen der Gewässermorphologie durch Sedimentation und Erosion als Teil der Dynamik begriffen werden. Dieser naturnahe Hochwasserschutz scheitert sehr häufig an der zur Verfügung stehenden Fläche.

Unter beengten Verhältnissen gilt es in der Regel, Uferschutz unter Beibehaltung einer geforderten Abflussleistung sicherzustellen. Auch naturnaher Uferschutz unter Verwendung lebender Baustoffe muss sich in diesem Falle den hydrologischen Rahmenbedingungen und den Schutzanforderungen fügen, wodurch sich Defizite bei der Erfüllung des ökologischen Leitbildes ergeben. Je weniger Fläche dem Fließgewässer zur Verfügung steht, desto höher ist der Pflegeaufwand, der für einen möglichst naturnahen Uferschutz erforderlich wird.

1.2 Ufervegetation

Der hydraulische Einfluss von Ufervegetation ist komplex und wird in den heute gebräuchlichen Abflussformeln meist nur näherungsweise behandelt.

Vegetation stellt im Abflussquerschnitt ein Rauigkeitselement dar. Gegenüber einem unbewachsenen Profil kommt es zur Erhöhung der Reibung an Ufer und Böschung, einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit in den bewachsenen Teilen des Durchflussprofils und daher zu einer Verminderung der Abflussleistung.

Je nach Dichte und Durchmesserverteilung der Ufervegetation kann sie zu erhöhter Sedimentation von Fest- und Schwebstoffen, durch lokale Turbulenzbildung auch zu Erosion führen.

Das hydraulische Verhalten eines mehr oder weniger starren Uferbewuchses unterscheidet sich grundlegend von dem einer flexiblen Ufervegetation. Um das Rauigkeitsverhalten beweglichen Uferbewuchses beschreiben zu können, müssen grundlegende Eigenschaften des Materials von frischem, in Saft stehendem Stammholz untersucht werden. Diese Untersuchungen sind ein wichtiger Bestandteil des vorliegenden Projekts.

2. Uferschutz

2.1 Versagen und Bestehen

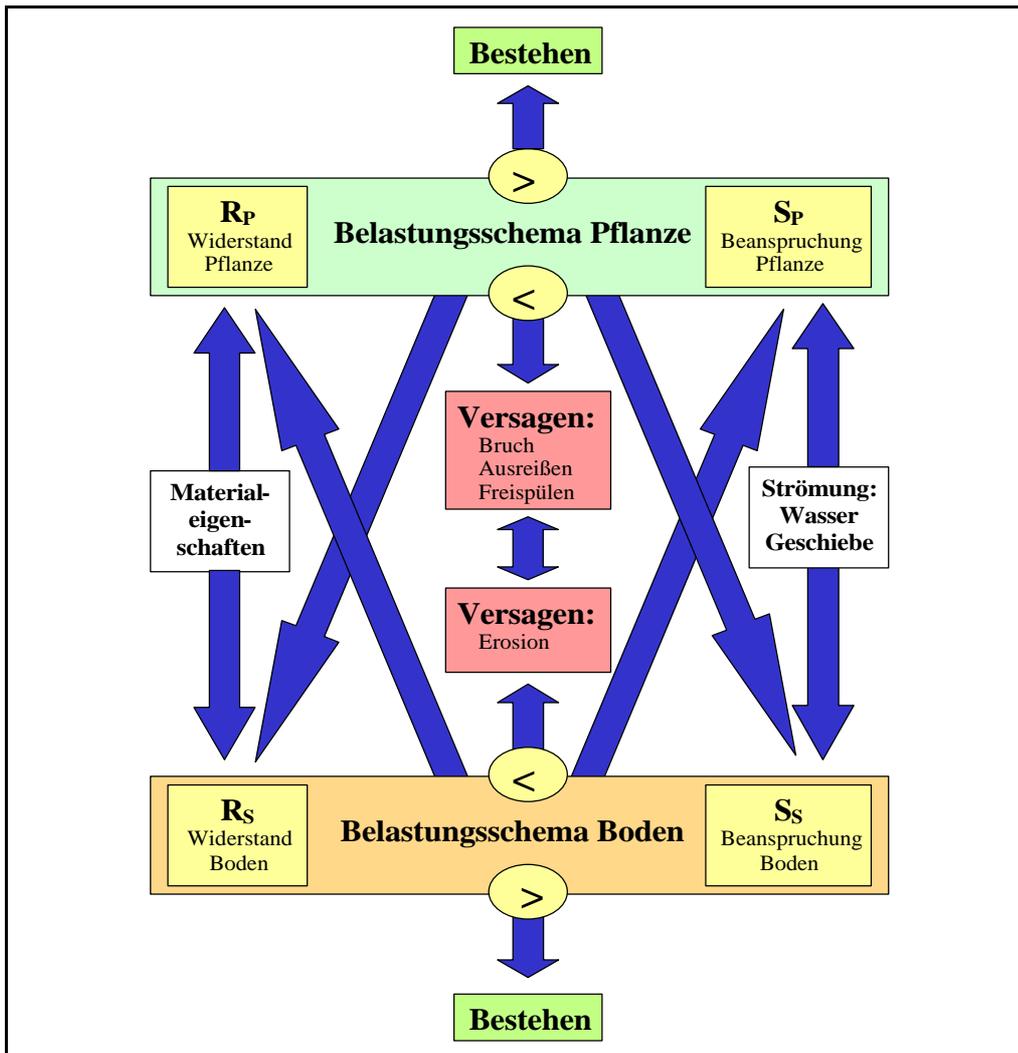


Abb.1: Belastungsschema bewachsener Uferböschungen (nach OPLATKA, 1997)

Abb.1 zeigt schematisch die Möglichkeiten, das Ufer zu schützen, das heißt, die Wahrscheinlichkeit des Versagens zu reduzieren und die des Bestehens zu erhöhen:

- den Widerstand des Bodens zu erhöhen,
- die Belastung des Bodens zu reduzieren,
- den Widerstand der Pflanzen zu erhöhen,
- die Beanspruchung der Pflanzen zu verringern.

Schutz durch flexiblen Bewuchs, durch das Umlegen der Pflanzen und die Reduktion der Fließgeschwindigkeit in unmittelbarer Bodennähe ist von mehreren Möglichkeiten des Uferschutzes eine der effizientesten.

Die höhere Widerstandsfähigkeit des durchwurzeltten Bodens gegenüber dem

undurchwurzelt ist ein positiver Nebeneffekt, der mit der Bepflanzung von Uferböschungen generell einhergeht. Diesen Schutzmechanismus bewusst zu verstärken, erfordert Kenntnis über die unterschiedlichen Eigenschaften der Pflanzen, Wurzeln zu bilden, und über den Einfluss der verschiedenen ingenieurb biologischen Bauweisen auf die Dichte des Wurzelgeflechts.

2.2 Entscheidungsgrundlagen zur Wahl des Schutzmechanismus

Die Wahl des angestrebten Schutzmechanismus sollte bewusst getroffen werden, wobei folgende Punkte zu berücksichtigen sind:

- **hydraulische und hydrologische Aspekte des Fließgewässers**

Abflussleistung, Reduktion des Fließquerschnittes: Uferschutz und Hochwasserschutz sollten einander nicht ausschließen. Sie müssen Teile eines gemeinsamen Konzeptes für das gesamte Fließgewässer sein.

- **finanzielle und rechtliche Aspekte**

Ingenieurb biologische Bauweisen sind in der Regel arbeits- und also kostenintensiv in Herstellung und Pflege.

Für die Herstellung ingenieurb biologischer Bauweisen geben EHARDT und HONSOWITZ (2000, in Arbeit) folgende Richtwerte als Kalkulationsbasis an:

Faschinen (Herstellung und Einbau): 0,6 bis 1,0 Personenstunden/lfm

Spreitlage (Materialbeschaffung und Einbau): 1,4 Personenstunden/m² als plausiblen Mittelwert

Flexibler Bewuchs bleibt nicht von alleine flexibel, der Pflegeaufwand ist erheblich und von Anfang an einzukalkulieren.

Für den Vorgang des Abstockens und Auslichtens geben EHARDT und HONSOWITZ (2000, in Arbeit) als plausiblen mittleren Kalkulationswert 0,05 Personenstunden/m² an. Diese Kalkulationshilfen sind mit starken Schwankungen behaftet.

Auch die Planung, die Bedingung für das langfristige Funktionieren ingenieurb biologischer Ufersicherungen ist, muss eingerechnet werden.

Erst die lange Lebensdauer und die einzigartige Regenerationsfähigkeit dieser Bauweisen machen sie zu einer langfristig ausgesprochen günstigen Möglichkeit des Uferschutzes - von schwer monetär zu bewertenden Effekten naturnah gesicherter Ufer, wie der Schaffung von Habitaten, Artenschutz, Naturschutz und sozialen Komponenten wie Erholung und Ästhetik ganz abgesehen.

Bei hinreichender Erfüllung der jeweiligen Schutzziele entspricht die Bevorzugung naturnaher Bauweisen der Prioritätenreihung, die im Entwurf zur Wasserrahmenrichtlinie der EU vorgenommen wird. (EUROPEAN COMMUNITIES, 1995-2000)

- **ökologisches Gewässerleitbild**

Über all diesen Aspekten sollte ein ökologisches Gewässerleitbild stehen.

Je früher ingenieurbioologische Überlegungen in das Betreuungskonzept des Fließgewässers eingebunden werden, desto leichter kann Uferschutz mit dem ökologischen Gewässerleitbild in Einklang gebracht werden.

Dennoch verursacht Uferschutz immer Defizite bei der Erfüllung des ökologischen Leitbildes.

Das Prinzip der Ufersicherung durch flexiblen Bewuchs macht es beispielsweise notwendig, mit Pflegeeingriffen die Bestandesdichte hoch und die Pflanzendurchmesser gering zu halten. Diese künstliche Unterdrückung einer natürlichen Sukzession bedeutet ohne Zweifel einen massiven Eingriff in das Fließgewässerökosystem, gerade in die empfindliche Übergangszone zwischen Gewässer und Umland.

3. Das Vorgängerprojekt WLVI

Das vorliegende Projekt Ufergehölz-Stabilität (WLVI II) versteht sich als Nachfolgeprojekt der 1998 abgeschlossenen Arbeit von WEITZER et al., (1998). Bei jenem Projekt

"Untersuchungen über die Wirksamkeit von Pflanzen in Einzugsgebieten des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung"

wurden Auszugwiderstände zehn verschiedener Baumarten jeweils an ihren natürlichen Standorten gemessen.

Die Ergebnisse aus dem Vorgängerprojekt haben aufgezeigt, dass Auszugversuche auf verschiedenen Feldstandorten wegen des großen Einflusses des Bodens kaum vergleichbar sind.

Weitzer und Doppler regten daher an, Auszugwiderstände auf einheitlichen Böden über mehrere Jahre hindurch zu untersuchen.

Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft erteilte daher dem Arbeitsbereich Ingenieurbioogie und Landschaftsbau den Auftrag zur

"Ermittlung des Stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen im Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen".

4. Grundlagen und Ziele des Projektes

Nur selten versagen Ufergehölze, indem sie vom anströmenden Wasser ausgerissen oder gebrochen werden. Weit häufiger kommt es zu Erosion und in der Folge zur Freispülung eines Teiles der Wurzeln, was zum Kippen der Pflanze führt. Die wichtigste Aufgabe von Pflanzen an Böschungen besteht also darin, Erosion zu verhindern. Somit ist das maßgebliche Ziel der Ingenieurbioogie, Pflanzen durch sinnvollen Einbau in ingenieurbioologische Bauwerke und durch gezielte Pflege ihrer Bestände bei der Erfüllung dieser Aufgabe optimal zu unterstützen.

Die vorliegenden Untersuchungen beschäftigen sich mit dem mechanischen Verhalten verschiedener Ufergehölze bei Überströmung durch Wasser und mit ihren Eigenschaften, die Böschungen zu festigen, auf denen sie stocken, so dass

diese den Angriffen durch das fließende Wasser des Wildbaches und das eventuell mitgeführte Geschiebe standhalten.

Die Wirkung von Ufervegetation zum Schutz der Böschung gegen Erosion ist komplex. Im vorliegenden Projekt "Ermittlung des Stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen im Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen" werden zwei Wirkungsweisen herausgegriffen und isoliert bearbeitet:

4.1 Zwei ausgewählte Schutzmechanismen

Zwei Schutzmechanismen von Uferbeständen sollten durch entsprechende Planung, Ausführung und Pflege gezielt angestrebt werden:

- **Bodenbewehrung**

Pflanzen bewehren den Boden mit ihren Wurzeln und festigen die Boden-Wurzel-Matrix.

- **Abdeckung des Bodens**

Pflanzen biegen sich unter dem Angriff des strömenden Wassers um, bedecken den Boden und halten dadurch das strömende Wasser von der Böschung bzw. der Sohle fern. Die Fließgeschwindigkeit in unmittelbarer Bodennähe wird reduziert.

Die Bewehrung des Bodens durch die Wurzeln der Pflanzen wird durch ihren Auszugwiderstand veranschaulicht und zwischen verschiedenen Gruppen unter gleichen Standortbedingungen verglichen.

Die Biegsamkeit von Pflanzen, d.h. ihre Fähigkeit, sich bei Überströmung umzulegen, die Uferböschung abzudecken und so vor dem Angriff des Wassers zu schützen, wird in dieser Arbeit anhand empirisch erhobener Festigkeitseigenschaften beschrieben.

FESTIGUNG DES BODENS DURCH WURZELN VON UFERPFLANZEN

1. Einführung: Bodenbewehrung durch Pflanzenwurzeln

Der Widerstand des Bodens wird von seinem Aufbau und seinen Materialeigenschaften, wie Korngrößenverteilung, Horizontierung, Chemismus, Wassergehalt etc., bestimmt.

Pflanzenwurzeln können die Stabilität des Bodens erhöhen, indem sie Zugkräfte übernehmen, denen der Boden selbst praktisch keinen Widerstand entgegenzusetzen vermag.

OPLATKA (1998) hat an Weidenwurzeln, die in Kies oder Silt gewachsen waren, festgestellt, dass Wurzeln von Durchmessern über 2 mm Zugfestigkeiten zwischen 20 und 60 N/mm² aufweisen. Dünnere, unverzweigte Wurzeln erreichten an ihren jeweils schwächsten Stellen Zugfestigkeiten von 140 N/mm² und mehr.

Für das Funktionieren des Verbundmaterials Boden-Wurzel ist die Intensität und die Verteilung der Durchwurzelung maßgeblich.

Sie wird wesentlich von der Struktur des Bodens und seinem Wasserhaushalt geprägt.



Abb.2 Wurzelgeflecht zur Bodenbewehrung

Der Einfluss der Baumart zeigt sich erfahrungsgemäß weniger in der Ausbildung artspezifischer Wurzelbilder, sondern mehr in den unterschiedlichen Fähigkeiten von Baumarten, mit ungünstigen, mitunter stark schwankenden Bodeneigenschaften fertig zu werden.

2. Der Auszugwiderstand

Auch wenn Pflanzen im Hochwasserfall gewöhnlich nicht bloß ausgerissen werden, sondern im Zusammenspiel mit Erosion auf viel komplexere Art und Weise versagen, erscheint die Messung der Auszugwiderstände verschiedener und verschiedenaltiger Pflanzen sinnvoll, weil diese als Maß für die Verankerung der Pflanzen im Boden betrachtet werden können und somit die Festigkeit der Boden-Wurzel-Matrix grob beschreiben.



Abb.3: Das Verbund-Material: Boden-Wurzel

Wegen der Verschiedenheit des tatsächlichen Versagensmechanismus an Uferböschungen und der gewählten Versuchsanordnung, sind weniger die absoluten Werte, sondern vor allem vergleichende Aussagen über die Auszugwiderstände einzelner Baumarten, auf verschiedenen Böden und die Korrelation mit leicht im Felde erhebbaren geometrischen Parametern der Pflanzen von Interesse für die Praxis.

Mehrfache Abhängigkeiten: Bereits OPLATKA (1998) und WEITZER et al. (1998) haben Auszugwiderstände verschiedener Pflanzen an Uferböschungen gemessen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind mit sehr starken Schwankungen behaftet.

- Die *zufälligen Variationen* ergeben sich aus der Komplexität der Einflussfaktoren und aus sehr kleinräumigen Unterschieden der Standorte. Auch Messungenauigkeiten bei den Feldversuchen verfälschen die Ergebnisse und erhöhen die Streuung.
- Die *systematischen Einflüsse*, wie der Boden, dessen aktuelle Feuchtigkeit, die Lage der Pflanze im Bestand u.v.m., beeinflussen den Auszugwiderstand

mindestens so stark wie die eigentlich zu untersuchenden Faktoren Baumart und Alter. Dies erfordert Versuchsanordnungen, welche diese Einflüsse quantifizieren bzw. weitgehend ausschließen.

Auch die Ergebnisse aus dem Vorgängerprojekt "WLV I" (WEITZER et al, 1998) haben aufgezeigt, dass Auszugversuche auf verschiedenen Feldstandorten wegen des großen Einflusses des Bodens kaum vergleichbar sind.

Weitzer und Doppler regten daher an, Auszugwiderstände auf einheitlichen Böden über mehrere Jahre hindurch zu untersuchen.

Spezielle Versuchsanordnung: Beiden Einflussgruppen wird in dieser Arbeit Rechnung getragen: einerseits durch hohe Stichprobenumfänge, andererseits durch die Wahl eines einzigen Standortes, auf dem alle auszuziehenden Pflanzen unter gleichen Bedingungen, lediglich mit vergleichender Variation des Bodens, heranwachsen konnten.

3. Der Versuchsgarten in Wien Eßling

3.1 Klima

Der Versuchsgarten des Arbeitsbereiches zählt klimatographisch zum Pannonikum. Das Versuchsgelände befindet sich in der Übergangszone zwischen dem Hügellandklima des Weinviertels und dem pannonischen Klima des Marchfeldes.

Die folgenden Abb.4 bis 6 enthalten die Werte der Temperaturmittel und der Niederschlagssummen der letzten 3 Jahre, skaliert nach WALTER und LIETH (1960), sowie die dazugehörigen langjährigen Mittelwerte.

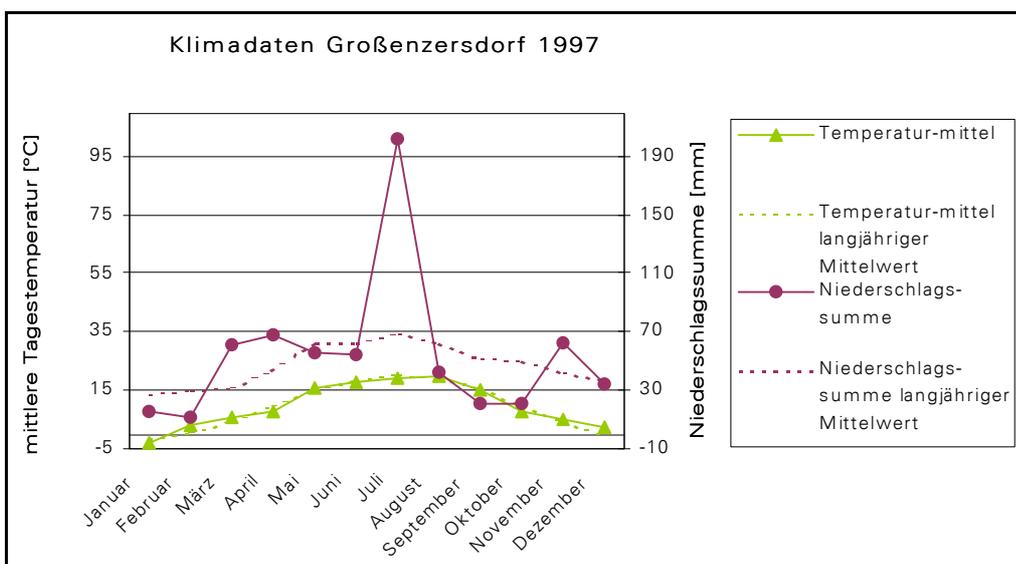


Abb.4: Temperatur und Niederschlag 1997: Monatsdaten der nahegelegenen Mess-Station Großenzersdorf

Abb.5: Temperatur und Niederschlag 1998: Monatsdaten der nahegelegenen Mess-Station Großenzersdorf

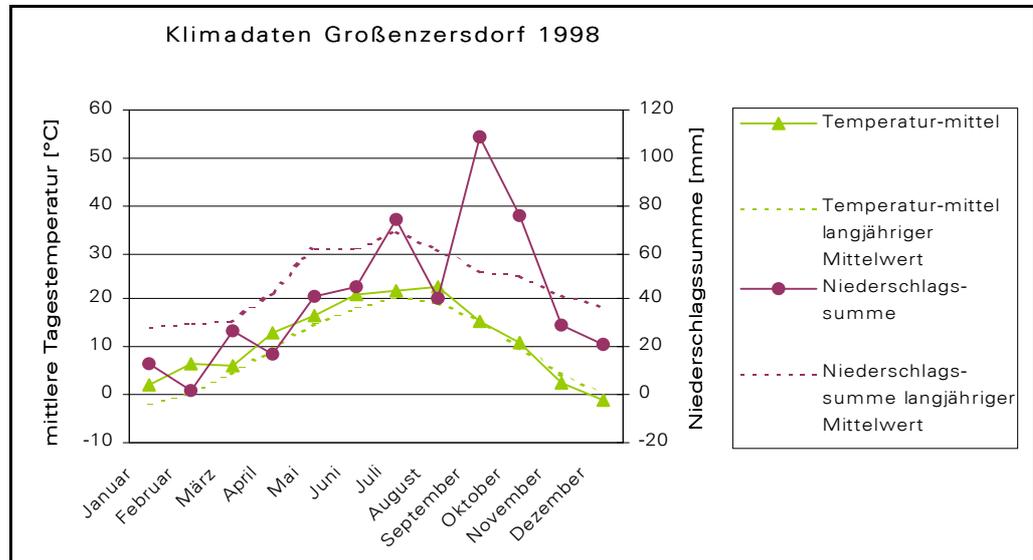
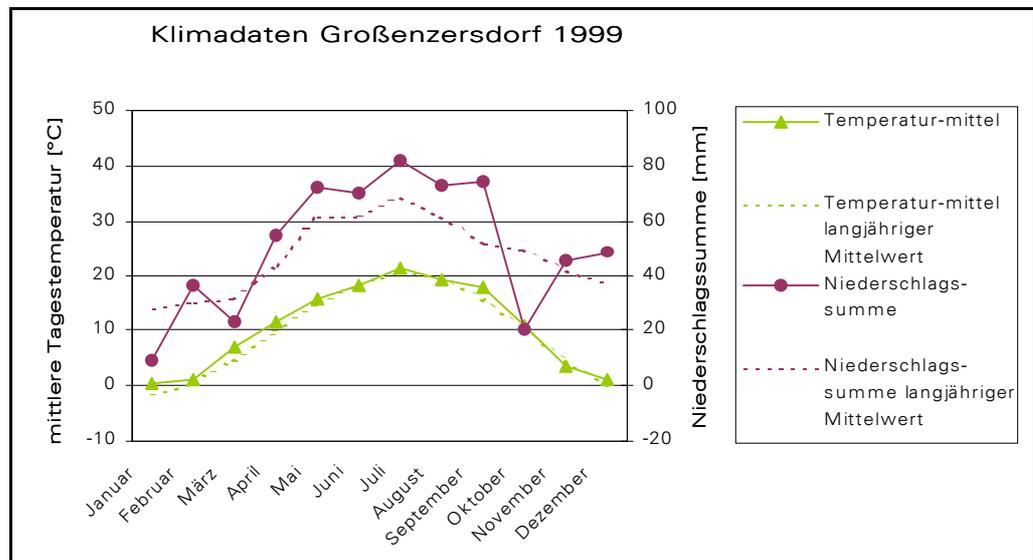


Abb.6: Temperatur und Niederschlag 1999: Monatsdaten der nahegelegenen Mess-Station Großenzersdorf



3.2 Geologie und Boden

■ 3.2.1 Geologie

Der Versuchsgarten Wien Eßling des Arbeitsbereichs Ingenieurbiologie und Landschaftsbau liegt im Bereich trockengefallener Donauauen im östlichen Abschnitt der Praterterrasse.

Die Terrassenschotter der Würmeiszeit aus dem Jungpleistozän sind von Flussalluviationen des rezenten Mäanderbereiches des Holozän überlagert.

■ 3.2.2 Der autochthone Boden

Die Bodenentstehung im Versuchsgarten basiert auf fluvialer Sedimentation von

feinem Schwemmmaterial. Daraus entwickelte sich ein grauer Auboden. Der durch die Donauregulierungen gefallene Grundwasserspiegel und dadurch fehlende regelmäßige Überschwemmungen bewirken eine beginnende Verbraunung des Aubodens.

Die Horizontierung ist A-C, wobei der Humushorizont deutlich ausgeprägt ist. Der C-Horizont besteht aus feinem Schwemmmaterial (MARGELIK, 1997).

Die Bodenart ist als sandiger Lehm zu bezeichnen. Seine Kornverteilung zeigt ein Maximum im feinsandig-grobschluffigen Bereich. Der Tongehalt beträgt ca. 15% (vgl. MARGELIK 1997, S. 9). Die Bodenschwere liegt daher im Übergangsbereich von "leicht" zu "mittel". Der Boden ist weiters tiefgründig, gut bearbeitbar und weist eine hohe Wasserdurchlässigkeit auf.

Zur Bodenanalyse wurde eine Mischprobe des Oberbodens bis zu einer Tiefe von 30 cm herangezogen.

Folgende Werte wurden erhoben:

- pH-Wert
- Karbonatgehalt (nach SCHEIBLER)
- Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt
- Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat und Kali

Die Untersuchungsmethode ist im Skriptum zur landwirtschaftlichen Bodenkunde (MENTLER et al., ohne Jahresangabe) nachzulesen.

pH-Wert (H ₂ O)	% CaCO ₃	% C	% Corg
7,88	27,31	5,18	1,90
% N	C/N-Verhältnis	P ₂ O ₅ mg/100g	K ₂ O mg/100g
3,88	10,31	4,10	10,87

Tab.1: Nährstoffgehalte des Bodens A

Der Kalkgehalt liegt mit 27% sehr hoch, daraus ergibt sich auch ein hoher pH-Wert (ca. 7,9).

Die Werte für pflanzenverfügbares Phosphat sind als sehr niedrig, die Kaliversorgung ist als ausreichend einzustufen (nach den "Richtlinien für die sachgerechte Düngung" vgl. BMLF 1996, S. 6f).

■ 3.2.3 Die allochthonen Böden

Auf drei Probeflächen wurde der autochthone Boden bis in eine Tiefe von etwa 1,5 m abgegraben und durch allochthone Böden verschiedener Korngrößenverteilungen und Horizontierungen ersetzt.

Die Abb.7 zeigt den Abtrag des vorhandenen Bodens und die Einbringung der künstlichen Böden B, C und D.



Abb.7: Die allochthonen Böden im Versuchsgarten Großenzersdorf

Der Austausch des anstehenden Bodens wurde vorgenommen, um einheitliche Bodenverhältnisse in vier Variationen, (den autochthonen Boden miteingerechnet) zu schaffen.

Die drei eingebrachten Flächen wurden mit insgesamt 360 Steckhölzern - jeweils zur Hälfte *Salix alba* und *Salix purpurea* - bepflanzt.

Diese Anlage ermöglicht die Durchführung vergleichender Untersuchungen an diesen beiden Weidenarten unter gleichen Wuchsbedingungen auf vier verschiedenen Bodenarten (zur Auswahl des Standortes siehe auch Kap. 2, Seite 18, zufällige Variationen, systematische Einflüsse).

Boden B

Die Fläche B wurde mit Grobschotter in einer Mächtigkeit von 1,5 m befüllt. Das Material stammt von pleistozänen Alluvionen aus den Schotterabbaugebieten in Norden Wiens.

Das gewählte Material soll die Standort- und Wachstumsbedingungen an natürlichen Flußufern möglichst nachbilden.

Die Kornverteilung und Nährstoffverhältnisse sind im Anhang angeführt.

Boden C

Hier wurde auf den Grobschotter (Höhe 1,2 m) zusätzlich eine Feinsandauflage in der Stärke von ca. 30 cm aufgebracht.

Boden D

Bei Boden D bedeckt eine 30 cm starke Feinkiessschicht den darunterliegenden Grobschotterkörper.

Die Kornverteilungskurven und Nährstoffverhältnisse sind im Anhang Seite 90 f. einzusehen.

Die Feinkies- und die Feinsandauflage wurden gewählt, um die Bewurzelungsstrategien der Pflanzen in unterschiedlichen Verhältnissen untersuchen zu können.

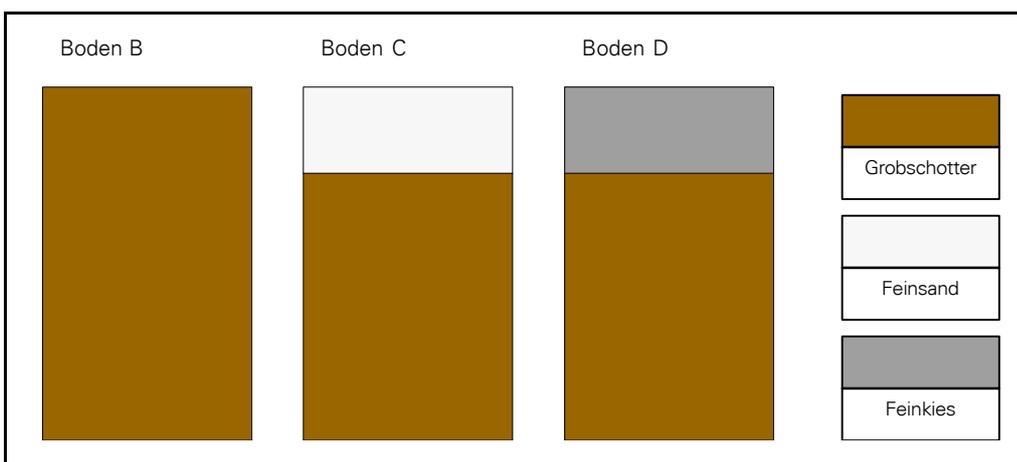


Abb.8: Schematische Darstellung der eingebrachten Böden

4. Versuchsanordnung

4.1 Gruppengrößen nach Boden und Baumart

Unter strikt gleichen Standortbedingungen wurden im Versuchsgarten des Arbeitsbereiches Ingenieurbiologie und Landschaftsbau in Wien Eßling ca. 1400 Pflanzen neun verschiedener Baumarten (siehe Tab.1) herangezogen.

Die fünf Weidenarten wurden aus Steckhölzern vermehrt, die direkt in den Boden des Versuchsgartens gesteckt wurden, lediglich die Salweide (*Salix caprea*) war im Pflanzgarten des Sonderbetriebes für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung Südtirol in Prad am Stilfserjoch, aus Steckhölzern vorgezogen worden.

Die restlichen vier Laubholzarten wurden im Jahre 1997 als 2/1 Pflanzen auf die Probeflächen versetzt.



Abb.9: Die Versuchsfelder im Herbst 1999

Auf den drei künstlich geschaffenen allochthonen Böden wurde an zwei Baumarten (*Salix alba* und *Salix purpurea*) der Einfluss des Bodens unter sonst gleichen Bedingungen beobachtet.

Zusammenfassend ergaben sich für die 9 Baumarten und die 4 Bodentypen laut Tab.2 folgende Gruppengrößen zum Zeitpunkt der Pflanzung bzw. des Steckens:

Baumart	A	B	C	D	Summe
	Autochthoner brauner Aueboden	Grobkies	Feinsand auf Grobkies	Feinkies auf Grobkies	
<i>Salix alba</i> (Silberweide)	61	60	59	56	236
<i>Salix caprea</i> (Salweide)	134				134
<i>Salix eleagnos</i> (Lavendelweide)	90				90
<i>Salix purpurea</i> (Purpurweide)	203	60	60	60	383
<i>Salix viminalis</i> (Korbweide)	100				100
<i>Acer pseudoplatanus</i> (Bergahorn)	110				110
<i>Alnus glutinosa</i> (Schwarzerle)	112				112
<i>Alnus incana</i> (Grauerle)	118				118
<i>Fraxinus excelsior</i> (Gem. Esche)	110				110
Summe	1038	120	119	116	1395

Tab.2: Probenanzahlen in den Untersuchungsgruppen

Durch konkurrenzbedingte Ausfälle und das Ausgraben mancher Pflanzen zur Beobachtung des Wurzelwachstums reduzierten sich die Individuenzahlen jeder Gruppe um ca. 2 bis 15%. Von den verbleibenden wurden bis Oktober 1999 50 bis 70% ausgerissen, der Rest steht für weitere Messungen zur Verfügung, in denen die Entwicklung des Auszugwiderstandes mit zunehmendem Pflanzenalter ermittelt werden soll.

Alle Böden wurden unmittelbar vor dem Auszugversuch bis zur Sättigung

bewässert. So sollten annähernd hochwasserähnliche Verhältnisse, jedenfalls aber für alle Versuche gleiche Bedingungen geschaffen werden.

4.2 Lastfall

Gemessen wurde der Verlauf der beim Vorgang des Ausreissens wirkenden Kraft in horizontaler Richtung. Der Kraftangriffspunkt lag knapp über dem Boden.

Relevant erscheint primär der Maximalwert der beim Ausreißen einer Pflanze wirkenden Kraft.

Die Versuchsanordnung bestand aus einem Druckabnehmer (0 bis 25 kN), der verbunden mit Drehgelenken an Gurten befestigt wurde. Der Gurt, eine Rundschlinge aus reissfester Polyesterfaser, oder eine Chokerkette, wurde an der auszuziehenden Pflanze am Wurzelhals (Stammanlauf) befestigt. Die andere Seite des Sensors war, ebenfalls mit Drehgelenken verbunden, an einem Stahlseil (\varnothing 8,4mm; 6-litzig) an einer Motorseilwinde befestigt.

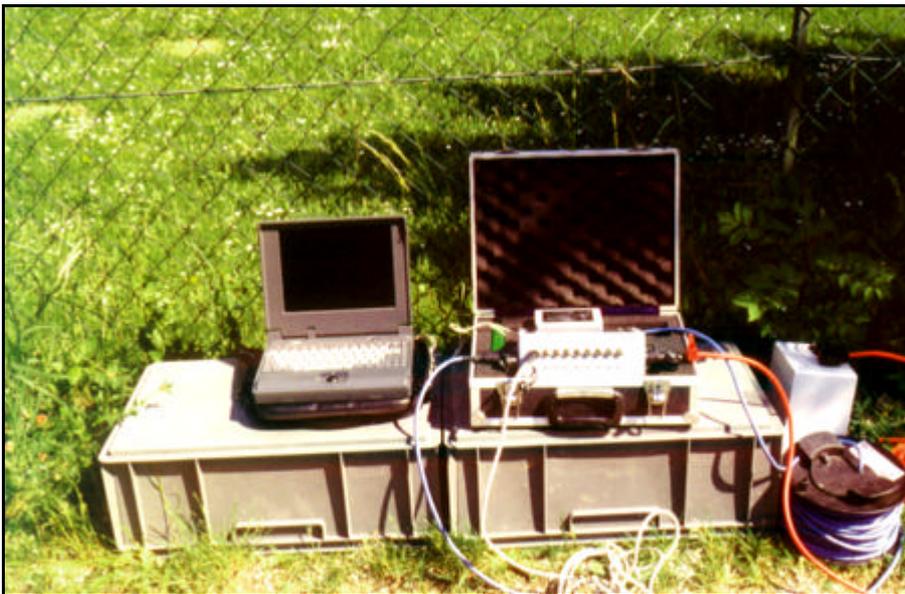


Abb. 10: Die Messanlage zur Bestimmung des Auszugwiderstandes

4.3 Messtechnik aus WEITZER et al., 1998

Die zu messenden Kräfte wurden über diese Anordnung in eine Messzelle eingeleitet. Diese ermöglichte aufgrund ihrer speziellen Konstruktion unter Anwendung einer Brückenschaltung aus Dehnungsmessstreifen die Umsetzung der Kräfte in ein proportionales elektrisches Signal hoher Genauigkeit.

Ein Dehnungsmessstreifen besteht aus einer auf ein Trägermaterial (z.B.: Acetatfolie) aufgedampften Leiterbahn, typischerweise in Mäanderform. Der Dehnungsmessstreifen wird dann auf einen geeigneten Deformationskörper geklebt (Alu- oder Stahlblock besonderer Form). Wird nun dieser Deformationskörper im Sensor durch eine Kraft gedehnt oder gestaucht, dehnt

sich auch der Dehnungsmessstreifen, also auch die Leiterbahn. Diese Leiterbahn stellt einen sehr kleinen Ohm'schen Widerstand R dar.

Diese Längenänderung dL bewirkt nach

$$dR = dL/A$$

eine Widerstandsänderung dR ,

wobei A Querschnitt der Leiterbahnen

d spezifischer Widerstand des Leitermaterials

Die zur Längenänderung proportionale Spannung beträgt nur einige wenige $\mu V/100$ kN. Um die Empfindlichkeit des Systems zu erhöhen, verwendet man nicht nur einen, sondern vier Widerstände in einer Brückenschaltung. Trotzdem muss das Signal um einen Faktor > 800 (temperaturunabhängig) verstärkt werden, bevor es digitalisiert werden kann.

Das digitalisierte Messsignal wird über einen Messverstärker (DMSV 200) und einen Konverter aufbereitet und über die Busschnittstelle an ein Notebook gesendet.

Das Messprogramm "Tension" zeichnet die Messdaten auf und speichert sie.

4.4 Erhobene Daten

Für jede der im Versuchsgarten ausgerissenen Pflanzen wurden folgende Eigenschaften bestimmt bzw. nachträglich im Labor erhoben oder abgeleitet:

- Koordinaten der Pflanze im geometrischen Raster des Versuchsgartens
- Auszugwiderstand [N] der Pflanze : Verlauf bis zum Versagen und Maximum
- Baumart
- Boden
- Trockenmasse der vorhandenen Wurzeln [g]
- Volumen aller oberirdischen Triebe [l]
- Summe der Wurzelhalsflächen aller oberirdischen Triebe [cm²]
- Anzahl der Triebe
- Volumen aller oberirdischen Triebe [cm³]
- Länge des längsten Triebes (Höhe der Pflanze) [cm]
- Summe aller Triebelängen [cm]

Für die aus Steckhölzern vermehrten Weiden wurden zusätzlich die folgenden Parameter angesprochen:

- Länge des Steckholzes [cm]
- Länge des aus dem Boden herausragenden Teils [cm]
- Mittendurchmesser des Steckholzes [mm]
- Trockenmasse des Steckholzes [g]

- Beschädigung des Steckholzes bzw. des Wurzelkörpers beim Auszug
- Anzahl der vorhandenen Wurzeln mit einem Basaldurchmesser größer 0,5 mm
- Anzahl der Wundwurzeln am Steckholzende mit einem Basaldurchmesser größer 0,5 mm
- Volumen des Steckholzes, abzüglich des herausragenden Teiles [cm³]
- Dichte des Steckholzes [g/cm³]

5. Messergebnisse der Auszugversuche in Wien Eßling

Die folgenden Abb.11 bis 17 zeigen beschreibende Werte der wichtigsten beobachteten Pflanzenparameter. Angegeben sind jeweils das arithmetische Mittel sowie die Standardabweichungen (Vertrauensintervall).

5.1 Auszugwiderstand

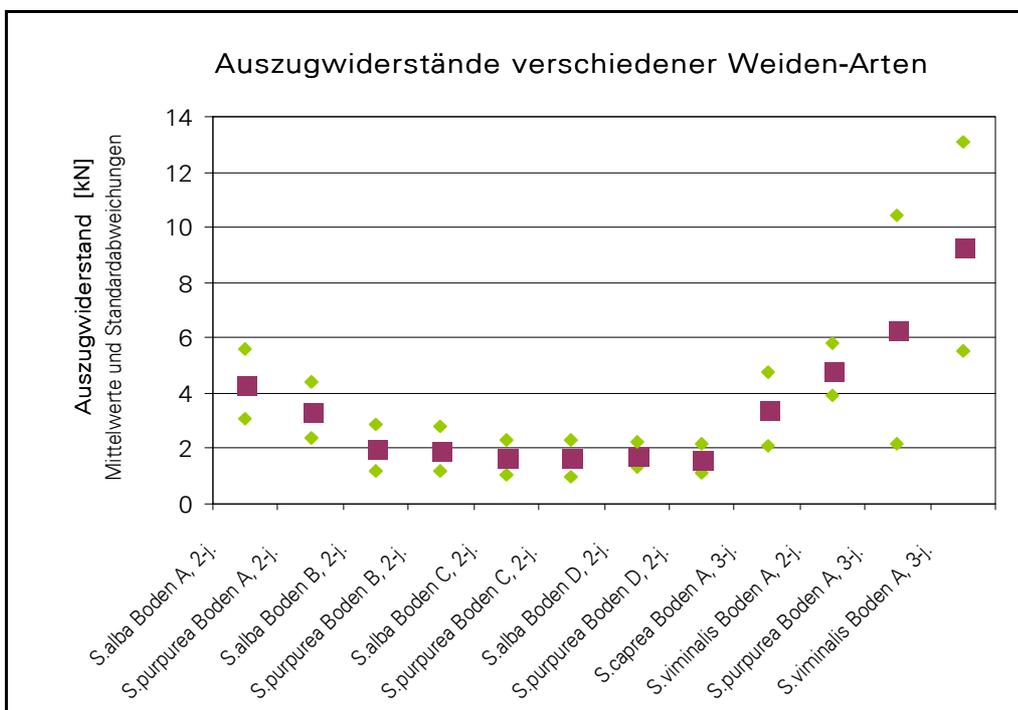


Abb.11: Die mittleren Auszugwiderstände [kN] der Versuchsgruppen

5.2. Oberirdisches Volumen

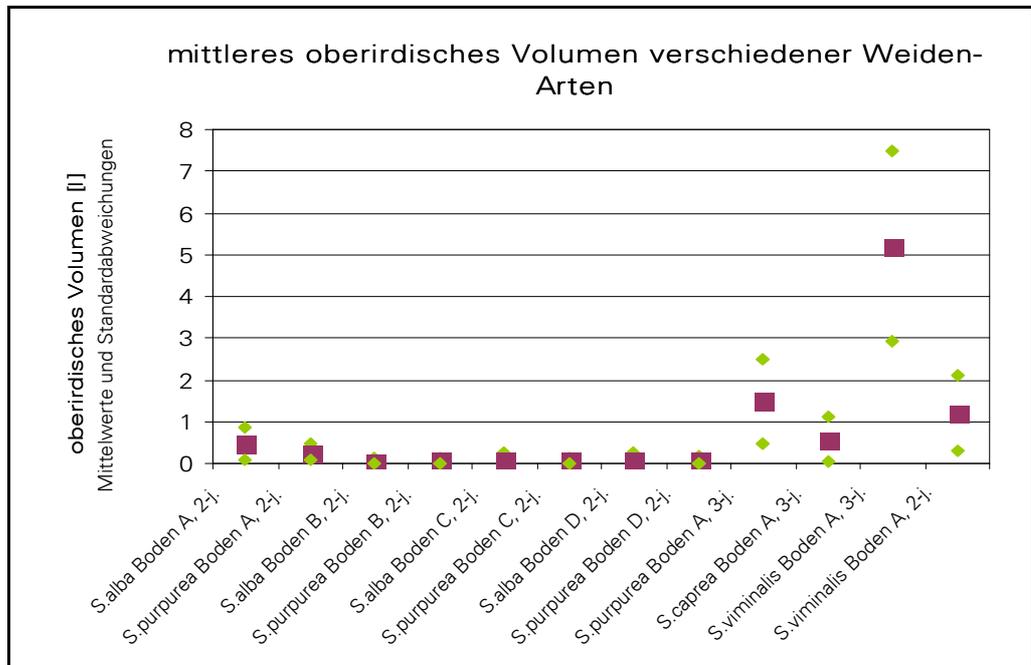


Abb. 12: Die mittleren oberirdischen Volumina [l] der Versuchsgruppen

5.3. Wurzelhalsflächen

Die Wurzelhalsflächen wurden bei den bewurzelten Pflanzen, d.h. den Nicht-Weiden, nach dem Ausziehen in der Höhe des Bodens berechnet. Gemessen wurde der kleinste Durchmesser in Bodenhöhe und der normal darauf stehende. Die Wurzelhalsfläche ergibt sich aus

$$WHA = \frac{p \cdot d_x \cdot d_y}{4} \quad [cm^2]$$

wobei WHA Wurzelhalsfläche [cm²]

d_x kleiner Durchmesser in Bodenhöhe

d_y Durchmesser normal auf d_x

Im Falle der aus Steckhölzern gezogenen Weiden erschien die Messung der Wurzelhalsflächen in Bodenniveau nicht sinnvoll, weil die Triebe meist in dieser Höhe dem Steckholz entspringen und dort folglich sehr stark gekrümmt und verdickt sind. Die Messung der normal aufeinander stehenden Durchmesser erfolgte daher über diesen typischen Verformungen am Beginn eines weitgehend geraden Triebwachstums. Die gesamte Wurzelhalsfläche ergibt sich aus der Summe der Grundflächen aller Triebe einer Pflanze.

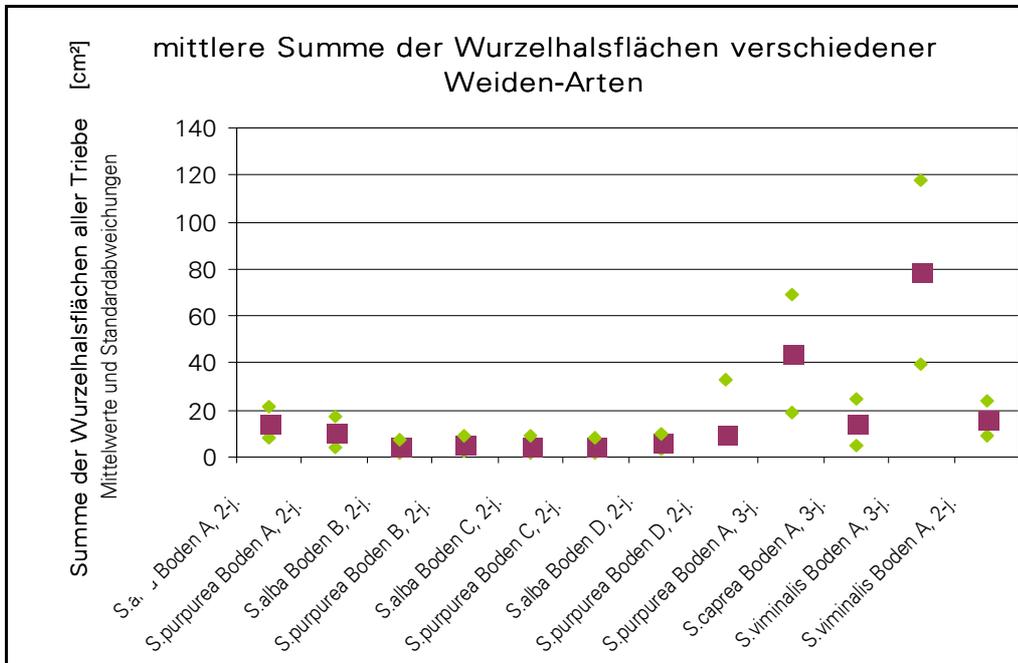


Abb.13: Die mittleren Summen der Triebgrundflächen (Wurzelhalsflächen) [cm²] der Versuchsgruppen

5.4 Länge der Triebe

Die folgende Abb.14 zeigt Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Trieblänge, d.h. der Höhe der Pflanzen. In Abb.15 sind die Summen der Längen aller Triebe einer Pflanze dargestellt.

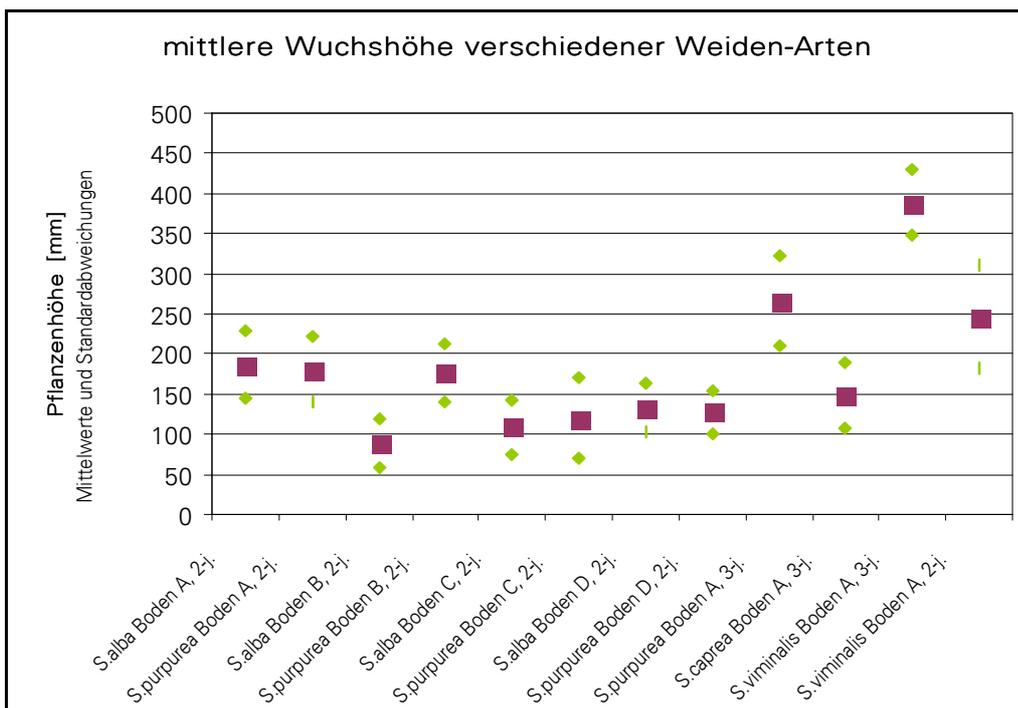


Abb.14: Die mittleren Pflanzenhöhen [mm] der Versuchsgruppen

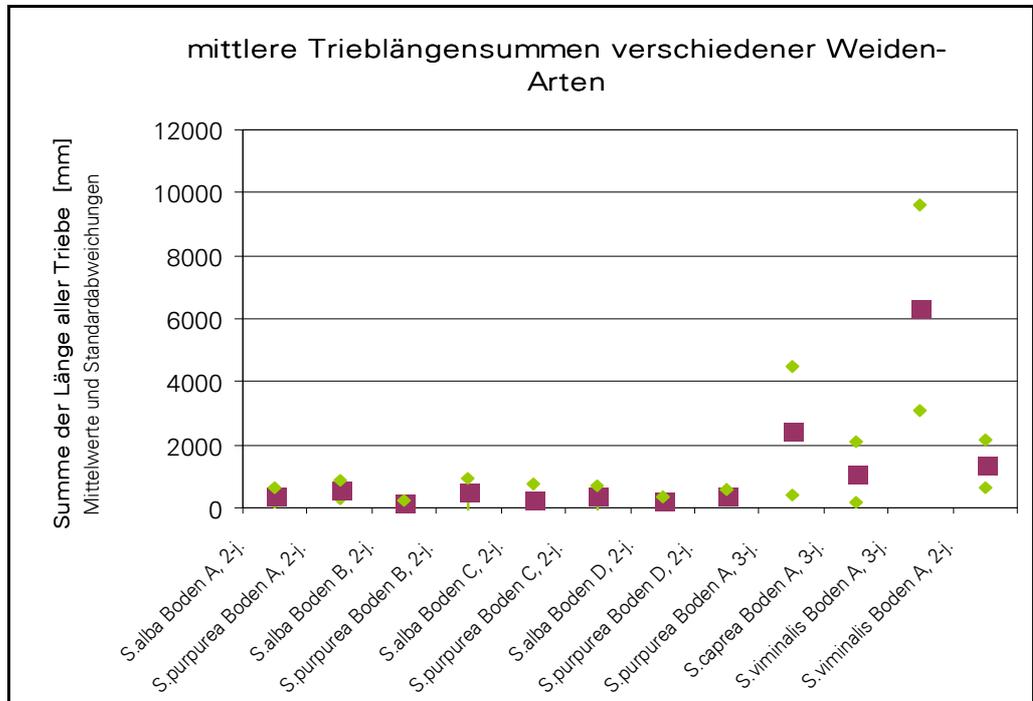


Abb. 15: Die mittleren Summen der Triebgrößensummen [mm] der Versuchsgruppen

5.5 Das Wurzelwachstum der Pflanzen

Abb. 16 zeigt für die aus Steckhölzern vermehrte Weiden die mittlere Anzahl der Wurzeln mit einem Basaldurchmesser von mehr als 0,5 mm. Für alle Gruppen sind in Abb. 17 die Mittelwerte der Wurzelmassen dargestellt. Im Falle der Weiden verstehen sich diese Werte als die Massen der Wurzeln ohne Steckholz.

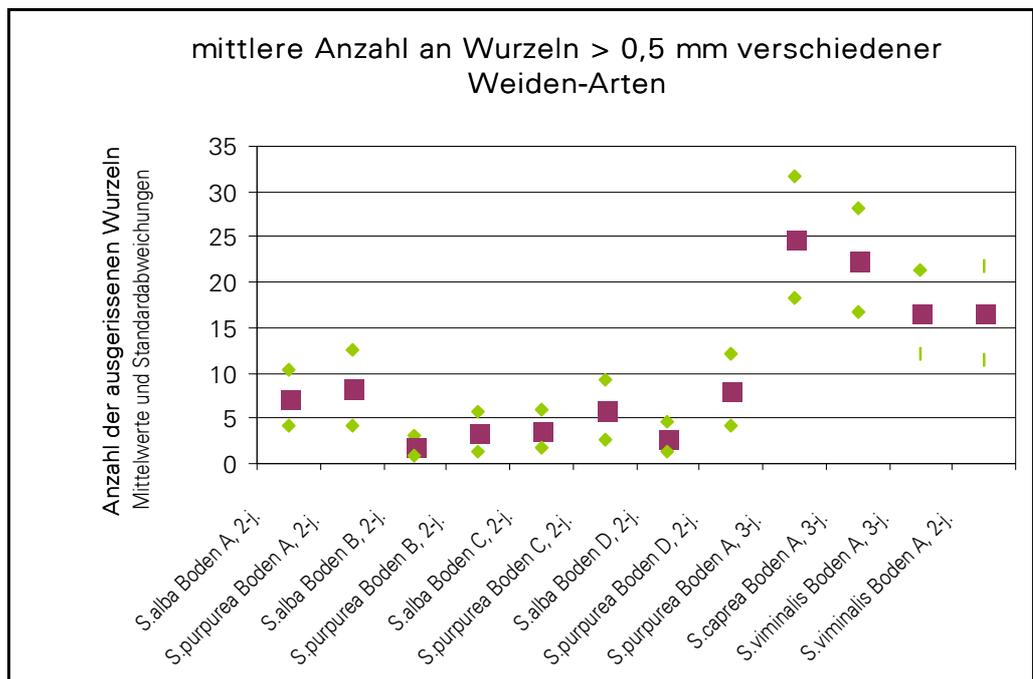


Abb. 16: Die mittleren Anzahlen an Wurzeln der Weiden

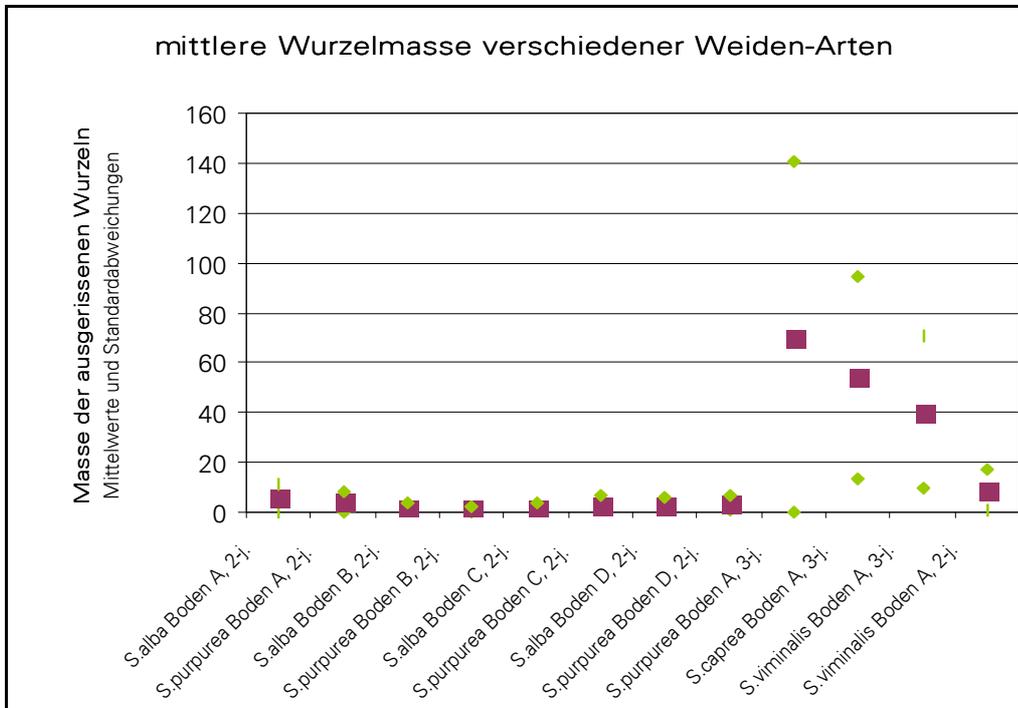


Abb.17: Die Mittelwerte der Wurzelmassen [g] der Versuchsgruppen



Abb.18: Wurzelkörper einer drei-jährigen Purpurweide (links) und einer fünfjährigen Esche (unten)



6. Zusammenhänge und Interpretation

Die festgestellte Tatsache, dass in den verschiedenen Untersuchungsgruppen jeweils andere Parameter am straffsten mit dem Auszugwiderstand korreliert sind, legt den Schluss sehr nahe, dass sich bei den beobachteten Korrelationen zufällige mit systematischen überlagern.

- Tendenziell ist die Beziehung zwischen dem oberirdischen Volumen der Pflanzen und ihrem Auszugwiderstand jene mit der höchsten Bestimmtheit. Von zwei Ausreißern abgesehen beträgt das Bestimmtheitsmaß R^2 dieser Korrelation 0,27 bis 0,83, im Mittel 0,45.
- Ähnlich verhält es sich mit dem im Feld problemlos zu erhebenden Parameter "Wurzelhalsfläche": von zwei (anderen!) Ausreißern abgesehen, beträgt die Straffheit des Zusammenhanges zwischen der Wurzelhalsfläche und dem Auszugwiderstand im Mittel 0,46.
- Weniger straff, nämlich mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von durchschnittlich 0,36 bzw. 0,37 sind die Eigenschaften "Pflanzenhöhe" und "Gesamt-Trieblänge" mit dem Auszugwiderstand korreliert.
- Erstaunlicherweise ist die Größe des Steckholzes weniger direkt mit dem Auszugwiderstand der Pflanze verknüpft: Die Länge und der Durchmesser des Steckholzes korrelieren mit dem Auszugwiderstand mit einem Bestimmtheitsmaß von unter 0,3.

Die Streuung des Auszugwiderstandes, auch innerhalb der Gruppen ist selbst unter gleichen Standortbedingungen sehr hoch, eine statistische Auswertung trotz relativ großer Stichprobenumfänge daher nicht unproblematisch.

6.1 Auszugwiderstand und Boden

Der massive Einfluss des Bodens auf den Auszugwiderstand der Pflanzen ist aus der folgenden Tab.3 und aus Abb.19 ersichtlich, in der die Auszugwiderstände [kN] zweier Baumarten auf vier verschiedenen Böden unter sonst gleichen Standortbedingungen gegenübergestellt werden.

Baumart		A	B	C	D
		autochthoner brauner Auboden	Grobkies	Feinsand auf Grobkies	Feinkies auf Grobkies
Salix alba (Silberweide)	Probenumfang	23	28	25	35
	Mittelwert	4,325	2,153	1,661	1,757
	Standardabw.	1,323	1,026	0,641	0,453
Salix purpurea (Purpurweide)	Probenumfang	41	32	35	33
	Mittelwert	3,422	1,970	1,647	1,620
	Standardabw.	1,029	0,833	0,669	0,506

Tab.3: Auszugwiderstände [kN] zweier Weidenarten auf vier verschiedenen Böden

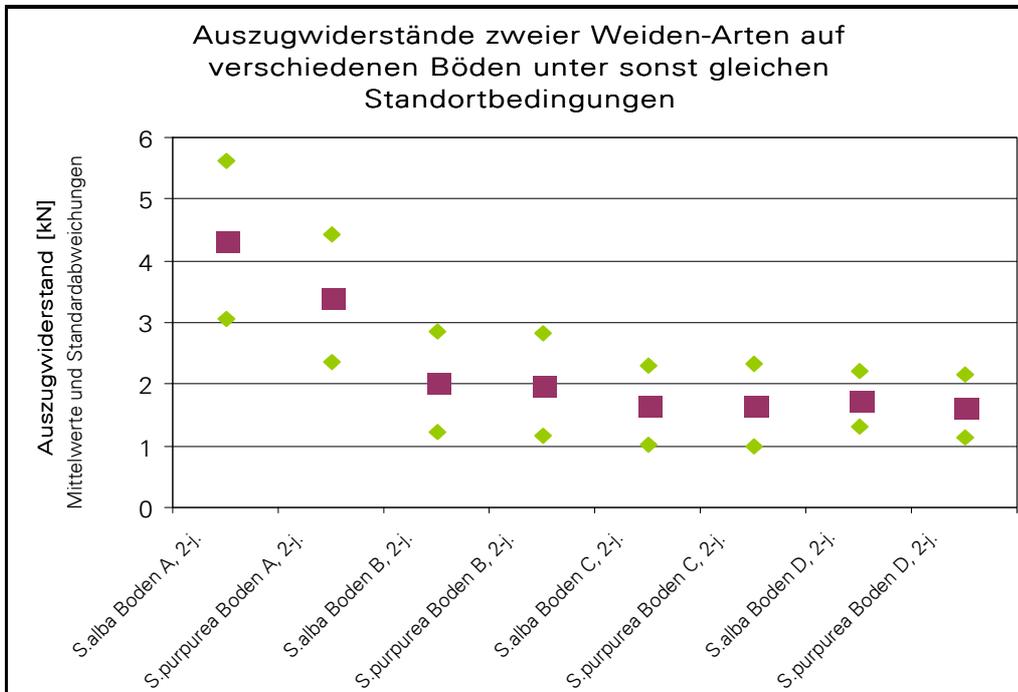


Abb. 19: Auszugwiderstand: gleiche Weidenarten auf verschiedenen Böden

6.2 Auszugwiderstand und Baumart bzw. Pflanzverfahren

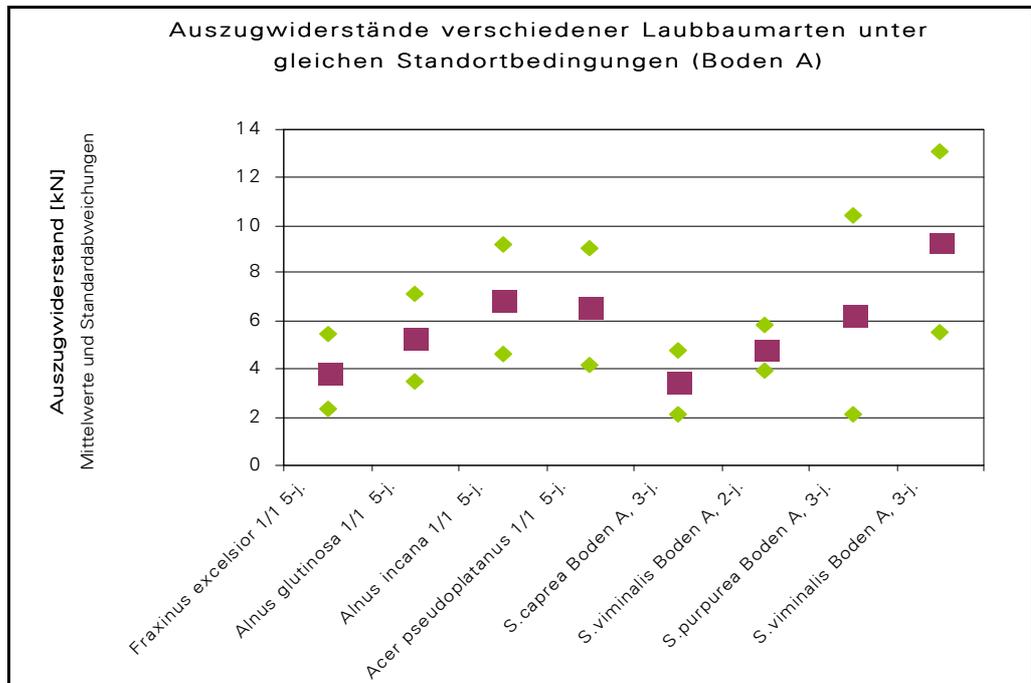


Abb.20: Auszugwiderstand: Verschiedene Laubholzarten unter exakt gleichen Standortbedingungen

Unter gleichaltrigen Weiden, die unter strikt gleichen Standortbedingungen gewachsen sind, weist die Art *Salix viminalis* den höchsten Auszugwiderstand auf. Dreijährige Weiden der Art *Salix purpurea* und *Salix viminalis*, die aus Steckhölzern gezogen wurden, weisen unter gleichen Standortbedingungen tendenziell höhere Auszugwiderstände auf als die untersuchten fünfjährigen Nicht-Weiden.

6.3 Vergleich des Auszugwiderstandes mit der zu erwartenden Strömungskraft

Matthias Oplatka hat empirische Untersuchungen zur Belastung strauchförmiger Weiden durchgeführt (OPLATKA, 1997). Ergebnis dieser Versuche sind wertvolle Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen der mittleren Fließgeschwindigkeit und der in die Krone von Weiden eingeleiteten Kraft.

Oplatka konnte nachweisen, dass zwischen der auf die Pflanze wirkenden Strömungskraft und der mittleren Fließgeschwindigkeit ein annähernd linearer Zusammenhang besteht. Dieses Phänomen erklärt Oplatka mit der beobachteten starken Verformung der Weidenkronen.

Die Anordnung und Ergebnisse dieser Anstrengungen werden auf Seite 38 dieser Arbeit näher beschrieben.

Die gemessene Strömungskraft stieg bis 4 m/s linear mit der Strömungsgeschwindigkeit und betrug zwischen 0,6 und 1,2 kN.

Im bewachsenen Fließquerschnitt kann davon ausgegangen werden, dass die mittlere Fließgeschwindigkeit unter 4 m/s liegt. Geschwindigkeitsmessungen am Wienfluss (RAUCH, 2000) mit einem Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) und am

Rhein bei Breisach (Tracer-Messungen) bestätigen diese Annahme (DITTRICH et al., 2000).

In den folgenden Abb.21 und Abb.22 werden die gemessenen Werte des Auszugswiderstandes den von Oplatka beobachteten Strömungskräften gegenübergestellt. Verglichen werden dabei Individuen gleichen oberirdischen Volumens bei einer Fließgeschwindigkeit von 4 m/s.

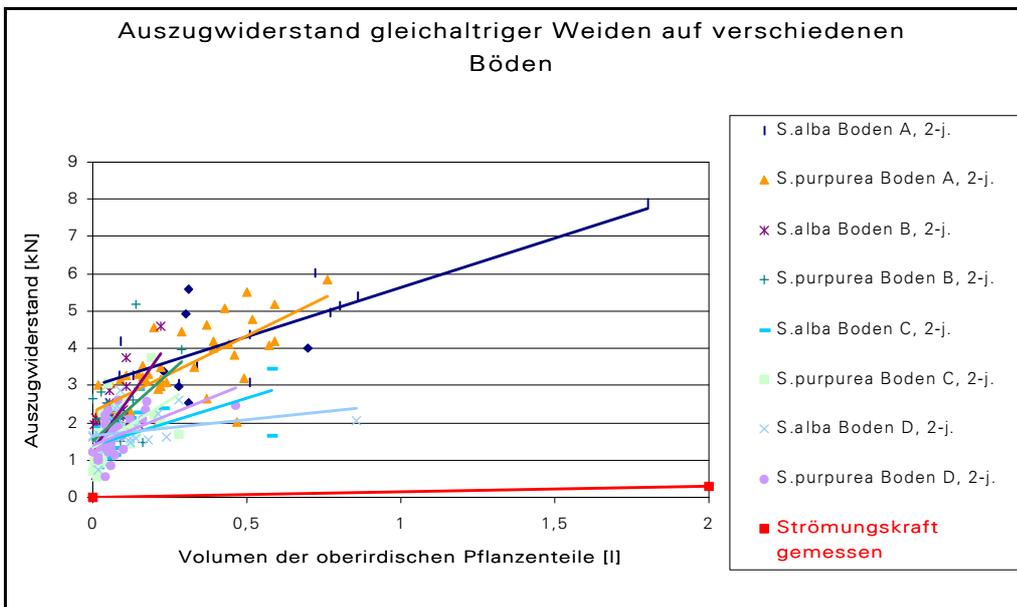


Abb.21: Der Auszugswiderstand zweier Weidenarten auf verschiedenen Böden und die an vergleichbaren Individuen gemessene Strömungskraft

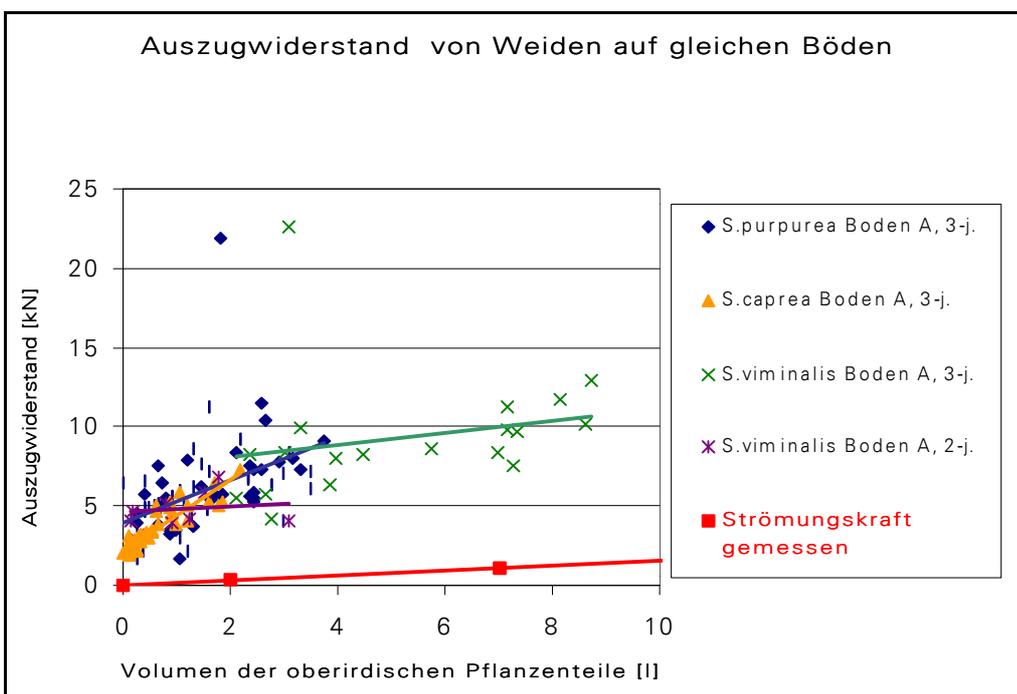


Abb.22: Der Auszugswiderstand verschiedener Weidenarten auf gleichen Böden und die an vergleichbaren Individuen gemessene Strömungskraft

7. Weitere Versuchsstandorte

7.1 Der Pflanzgarten Prad am Stilfserjoch

Auch im Pflanzgarten des Sonderbetriebes für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung Südtirol in Prad am Stilfserjoch wurden Messungen des Auszugwiderstandes an ein- und zweijährigen Pflänzchen fünf verschiedener Baumarten durchgeführt.

Die Untersuchungen wurden an *Salix caprea* (Salweide), *Salix purpurea* (Purpurweide), *Fraxinus excelsior* (Gemeine Esche), *Myricaria germanica* (Deutsche Tamariske) sowie *Alnus incana* (Grauerle) vorgenommen.

Ziel dieser Untersuchungen war es, sehr junge, ebenfalls unter gleichen Standortbedingungen herangewachsene Pflanzen hinsichtlich ihres Auszugwiderstandes miteinander zu vergleichen und so in Verbindung mit den in Wien Eßling gewonnenen Daten alle wichtigen Altersstufen zu berücksichtigen.

Als problematisch erwies sich in diesem Falle allerdings die Tatsache, dass an den 1/2 - Pflänzchen (1 Jahr vorgezogen, 2 x verschult) der Baumarten *Fraxinus excelsior* und *Alnus incana* in ihrem 2. Lebensjahr ein Pfahlwurzelschnitt durchgeführt worden war.

Auch der lockere, geschüttete Braunerdeboden entsprach nicht natürlichen Verhältnissen.

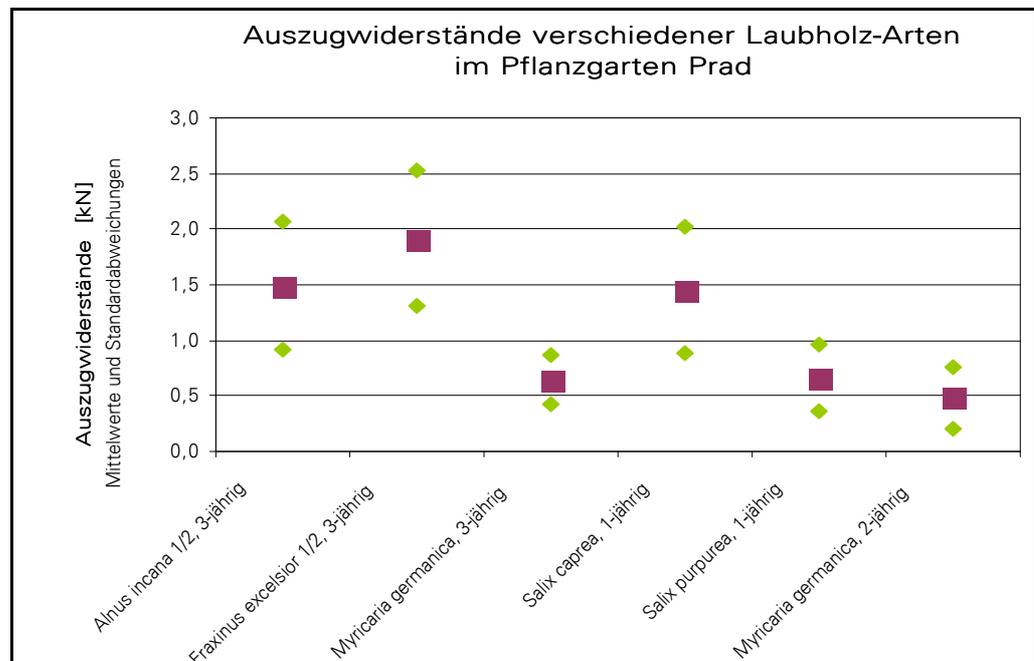


Abb.23: Der Auszugwiderstand verschiedener Laubholz-Arten im Pflanzgarten Prad am Stilfserjoch

Die Salweide (*Salix caprea*) entwickelt schon nach einem Jahr ein dichtes Wurzelgeflecht, das selbst auf dem extrem lockeren Boden des Pflanzgartens dem Ausreißen einen Widerstand von durchschnittlich 1,5 kN entgegenstellt. Diese

Kraft dürfte bei weitem höher sein als jene, die im Hochwasserfalle vom fließenden Wasser in die spärliche Krone eingeleitet wird (siehe dazu auch Seite 31). Allerdings ist *Salix caprea* bekanntlich schwierig aus Steckhölzern zu vermehren. Daher ist der Einsatz vorgezogener Pflanzen für die Ingenieurbiologie zu erwägen.

Das langsame Wurzelwachstum der Deutschen Tamariske spiegelt sich in generell sehr geringen Auszugwiderständen dieser Art wider, die auch im zweiten Jahr nicht zunahmten, sondern sogar - innerhalb der statistischen Schwankungsbreite - sanken.

7.2 Martelltal

Grauerle: Im Südtiroler Martelltal wurden im August 1999 insgesamt 40 Grauerlen (*Alnus incana*) ausgerissen, die zum einen Teil vor Ort gesät und zum anderen Teil im Pflanzgarten Prad vorgezogen und erst nach einem Jahr auf die Uferböschung versetzt worden waren.



Abb.24: Die Messung der Auszugwiderstände im Südtiroler Martelltal

An diesen sechs- und siebenjährigen Pflanzen wurde untersucht, ob sich - je nach Pflanzverfahren - Unterschiede bezüglich ihres Auszugwiderstandes nachweisen ließen.

Die folgende Abb.25 zeigt in den Boxplots für die beiden Gruppen jeweils den Median, die Quartile (Box) und die Extremwerte des 95%-Vertrauensintervalles. Aus dieser Darstellung geht hervor, dass sich die Mediane (Rangmittelwerte) der Auszugwiderstände nicht deutlich voneinander unterscheiden, sondern dass lediglich die Streuung bei der Gruppe der vorgezogenen, gesetzten Grauerlen eine wesentlich höhere ist.

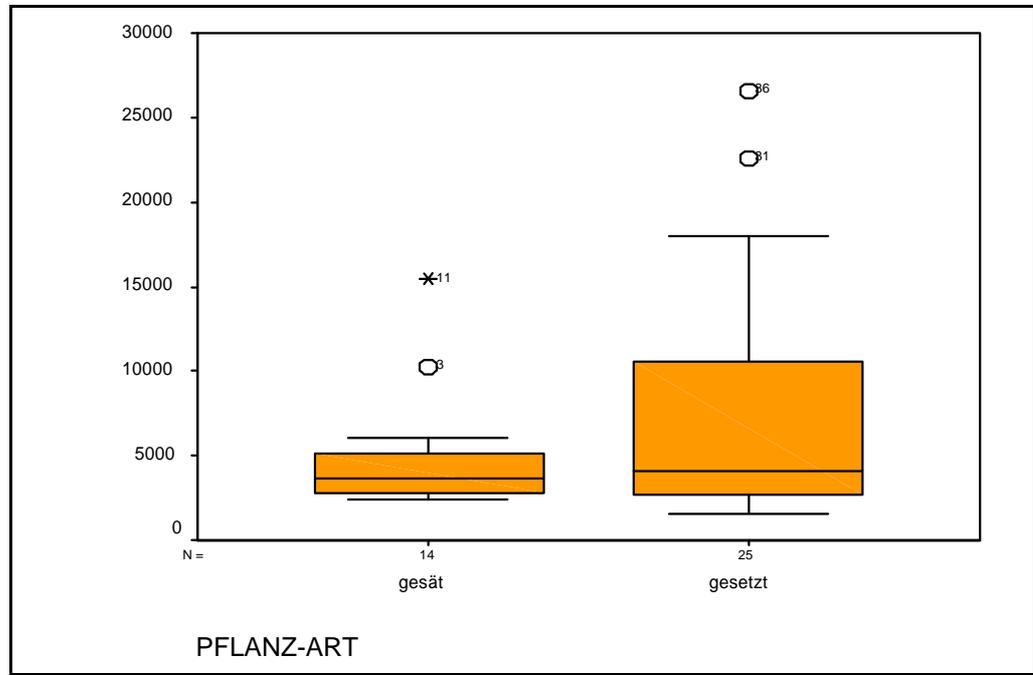


Abb.25: Auszugwiderstände gesäter und gepflanzter Grauerlen: Mediane, Quartilen, Extremwerte

In einem geeigneten statistischen Testverfahren wurde die Gruppe der gesäten Erlen mit jener der gesetzten verglichen.

Da die Werte der Auszugwiderstände in diesem Falle nicht normalverteilt waren, musste ein nicht-parametrischer Test zum Vergleich der Mediane durchgeführt werden.

Der U-Test nach Mann und Whitney ergab eine exakte Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,592. Das bedeutet, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Auszugwiderständen beider Gruppen nicht nachweisbar ist (BÜHL und ZÖFEL, 1998).

Die erstaunlich straffen Zusammenhänge zwischen dem Auszugwiderstand und den geometrischen Parametern "Wurzelhalsfläche" und "oberirdisches Volumen" sind in den Abbildungen 26 und 27 dargestellt.

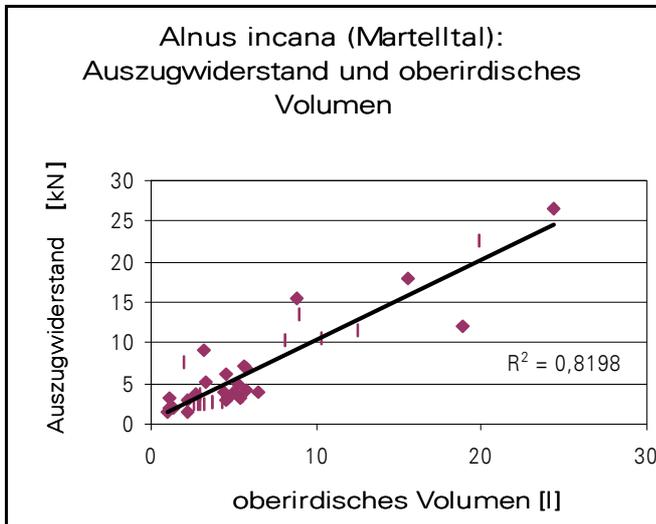
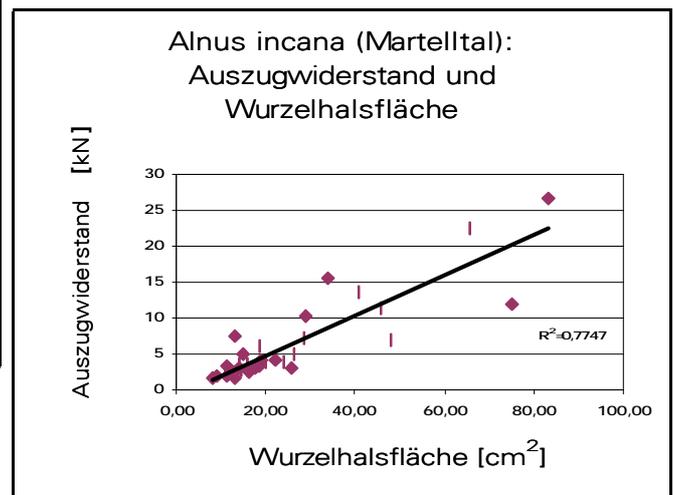


Abb.27: Die Korrelation des Auszugswiderstandes der Grauerle mit ihrer Wurzelhalsfläche

Abb.26: Die Korrelation des Auszugswiderstandes der Grauerle mit ihrem oberirdischen Verdrängungsvolumen



7.3 Suldenbach

Deutsche Tamariske: Am Suldenbach bei Prad am Stilfserjoch (Südtirol) wurden im Juli 1999 einige Pflanzen der Art *Myricaria germanica* (Deutsche Tamariske) ausgezogen und dabei ihr Auszugswiderstand gemessen.

Am Suldenbach im Vinschgau finden sich noch Bestände dieser selten gewordenen, ökologisch bedeutenden Pflanze.

Als Pionierart eines frühen Sukzessionsstadiums (PRACH, 1994) ist die Deutsche Tamariske massiver Konkurrenz v.a. durch Weiden ausgesetzt.

Sie ist charakteristisch auf Sand- und Kiesbänken in unmittelbarer Wassernähe, wo sie jene Überflutungs- und Überschotterungsdynamik vorfindet, auf die sie angewiesen ist. Diese Pflanzenart ist als gefährdet zu bezeichnen (STAFFLER, 1999).

Beobachtungen der Autoren am Suldenbach bestätigen diese Aussage:

Jene Pflanzen, die mehrere Meter von der Niederwasseranschlaglinie entfernt waren, befanden sich in schlechtem Zustand, waren zum Teil absterbend, während jene in unmittelbarer Wassernähe als etwas vitaler zu bezeichnen waren.

Daraus ergaben sich gewisse Probleme bei der Untersuchung des Auszugswiderstandes:

- Die verschiedenen Zustände hinsichtlich ihrer Vitalität erschweren den Vergleich der Pflanzen.
- Alle ausgezogenen Tamarisken bestanden aus mehreren - bis zu 11 - unabhängigen Einzelpflanzen, die in einem sehr engen Rottenverband gemeinsam den für die Tamariske typischen, strauchförmigen Habitus

bildeten. Als maßgeblicher Auszugswiderstand im Sinne der Bodenbewehrung ist wohl jener der gesamten Rotte anzusehen.

Diese in einem Versuch gemeinsam auszureissen ist technisch problematisch und in diesem Falle aus ökologischen Gründen nicht vertretbar.

- Sowohl das oberirdische als auch das unterirdische Holz der Tamariske ist ausgesprochen dicht und spröde: Alle ausgezogenen Pflanzen brachen in etwa 1/3 der Tiefe der stets deutlich ausgeprägten Pfahlwurzel. Interessant wäre in diesem Zusammenhang die Untersuchung des Biegeverhaltens dieser Pflanzenart, um die Vermutung zu bestätigen, dass die Deutsche Tamariske für den Uferschutz durch Bodenabdeckung nicht geeignet sei.
- Die folgenden Abb.28 und Abb.29 zeigen die statistischen Lagemaße der Auszugswiderstände der Deutschen Tamariske und ihre Korrelation mit dem oberirdischen Verdrängungsvolumen.

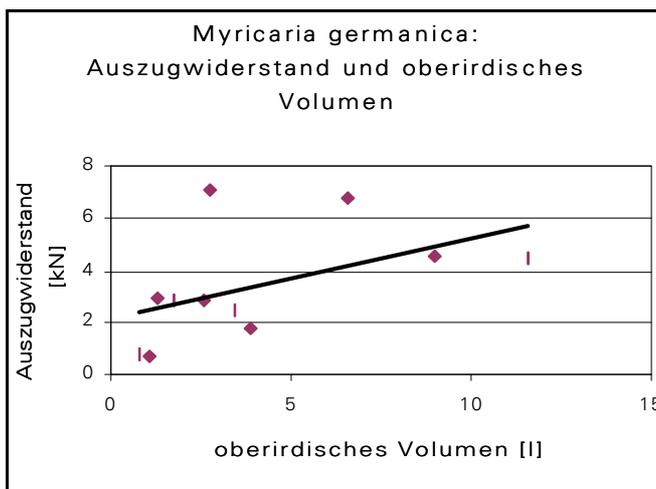
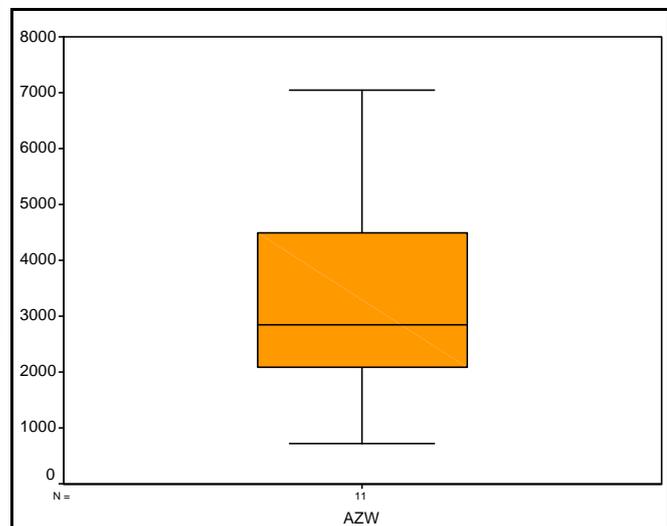


Abb.28: Die Korrelation des Auszugswiderstandes der Deutschen Tamariske mit ihrem oberirdischen Verdrängungsvolumen

Abb.29: Auszugswiderstand [N] der Deutschen Tamariske am Suldenbach: Median, Quartilen, Extremwerte



Aus den oben angeführten Gründen und wegen des Stichprobenumfangs, der aus ökologischen Überlegungen klein gehalten wurde, sind die angegebenen Werte der Auszugswiderstände als nicht gesichert zu betrachten.

Dennoch ist festzustellen, dass die Deutsche Tamariske bei gleichen oberirdischen Volumina wesentlich geringere Auszugswiderstände aufweist, als alle anderen untersuchten Baumarten: 5-jährige Tamarisken mit einem oberirdischen Volumen von ca. 2 Liter wiesen Auszugswiderstände von knapp 3 kN auf. Werte dieser Größenordnung wurden von Weiden auf vergleichbaren Böden (z.B. Boden B im Versuchsgarten) bereits im Alter von 2 Jahren mit einem Verdrängungsvolumen

von unter 0,2 Liter erreicht.

Wegen ihres langsamen Wachstums ist die Eignung der Tamariske für den mechanischen Uferschutz durch Bodenbewehrung daher sehr fraglich.

Ein - in der Literatur als besonders hoch beschriebenes - Potenzial der Tamariske, nach Überschotterung Adventivwurzeln auszubilden, konnte bei den Versuchen am Suldenbach nicht festgestellt werden.

Nichtsdestotrotz ist die Deutsche Tamariske aus ökologischen Gründen förderungswürdig und sollte nach Prüfung der StO - Tauglichkeit verstärkt zum Einsatz gelangen.

Bei dieser Baumart ist ein Vorziehen der Pflanzen in Baumschulen dringend zu empfehlen.

8. Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Einfluss des Bodens

- Der Einfluss des Bodens auf den Auszugwiderstand ist beträchtlich. Er ist größer als andere Parameter wie Baumart, Steckholzgröße etc.
Auf bindigen, humushaltigen Böden entwickeln alle untersuchten Baumarten höhere Auszugwiderstände als auf nicht bindigen: auf diesen sind flächenhafte ingenieurbioologische Bauweisen, wie Spreitlagen, Astpackungen oder Faschinenreihen jedenfalls zu bevorzugen.
- Auch unter strikt gleichen Standortbedingungen sind die Variationen innerhalb der jeweiligen Gruppen noch so hoch, dass keine signifikanten Zusammenhänge zwischen leicht messbaren Parametern und dem Auszugwiderstand nachweisbar sind.

Der Einfluss der Baumarten

- Unter gleichaltrigen Weiden, die unter strikt gleichen Standortbedingungen gewachsen sind, weist *Salix viminalis* den höchsten Auszugwiderstand auf.
- Dreijährige Weiden der Art *Salix purpurea* und *Salix viminalis*, die aus Steckhölzern gezogen wurden, weisen unter gleichen Standortbedingungen tendenziell höhere Auszugwiderstände auf, als die untersuchten fünfjährigen Nicht-Weiden.

Auszugwiderstand versus Strömungskraft

- Zweijährige Weiden, die auf verschiedenen Böden unter sonst strikt gleichen Standortbedingungen gezogen wurden, weisen Auszugwiderstände auf, die durchwegs höher sind, als die zu erwartende Strömungskraft. Diese wurde empirisch gemessen und war auch bei Weiden mit sehr großen Kronen (Kraftangriffsflächen) stets noch geringer als der Auszugwiderstand.
- Ohne Erosion ist ein Versagen von Weiden also de facto nicht möglich.

Pflegende Eingriffe sollten daher vorrangig auf Erosionsschutz abzielen.

UFERSCHUTZ DURCH DIE ABDECKUNG DES BODENS

1. Einführung: Verformung dichter Uferbestände

Dieser Wirkungsmechanismus des Uferbewuchses setzt voraus, dass die einzelnen Pflanzen ausreichend verformbar sind, um von der in den überströmten Stamm- und Kronenteil eingeleiteten Kraft bis zum Boden umgebogen zu werden. Ob es sich dabei nun um elastische, plastische oder auch um eine Verformung durch die teilweise Zerstörung einzelner Fasern handelt, scheint für das Überleben des Bestandes und damit den Erhalt der Schutzfunktion von sekundärer Bedeutung zu sein.

2. Kräftegleichgewicht in der einzelnen Pflanze

Bis zum eventuellen Versagen einer Einzelpflanze herrscht Gleichgewicht zwischen Belastung und Widerstand, actio und reactio.

2.1 Belastung einer Pflanze (actio)

Zum Schema der Belastung von Weiden gibt Matthias Oplatka wertvolle Hinweise (OPLATKA, 1997).

Bei seinen Versuchen hat Oplatka verschiedene strauchförmige Weiden mit einer Geschwindigkeit von 1 bis 4 m/s aufrecht durch einen Wasserkanal gezogen.

■ 2.1.1 Strömungskraft

Messvorrichtungen an der Einspannung der Pflanzen ermöglichten die Bestimmung der auf die Weiden einwirkenden resultierenden Strömungskraft, ihres Angriffspunktes sowie des Winkels ihrer Richtung.

Die Strömungskraft beträgt gemäß dem Newton'schen Widerstandsgesetz

$$S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_D \cdot A \cdot v^2 \quad [N]$$

wobei ρ	Dichte des Wassers [kg/m ³]
c_D	dimensionsloser Widerstandskoeffizient [-]
A	angeströmte Fläche [m ²]
v	mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]

Sie ist also theoretisch dem Quadrat der mittleren Fließgeschwindigkeit proportional.

■ 2.1.2 Änderung der Angriffsfläche (OPLATKA, 1997)

Mit Hilfe zweier Videokameras wurde die Kontraktion der Krone in horizontaler und in vertikaler Richtung (Breite und Höhe) festgehalten, woraus die Flächenkontraktion der Weiden mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden konnte. Bei 1m/s reduzierte sich die Angriffsfläche der Weidenkronen bereits auf ein Viertel bis ein Fünftel der ursprünglichen Fläche, bei

einer Strömungsgeschwindigkeit von 4 m/s wurden die Kronen der Weiden um den Faktor 20 bis 40 komprimiert, d.h. die angeströmte Fläche betrug nur mehr maximal 5% der ursprünglichen.

Durch diese starke Verkleinerung der Angriffsfläche sowie die Reduktion des Widerstandsbeiwertes mit zunehmender Fließgeschwindigkeit wird der theoretisch quadratische Zusammenhang zwischen der Strömungskraft und der Fließgeschwindigkeit auf einen annähernd linearen reduziert, wie Oplatka rein empirisch feststellen konnte.

Die gemessene Strömungskraft stieg bis 4 m/s linear mit der Strömungsgeschwindigkeit und betrug zwischen 0,6 und 1,2 kN.

■ 2.1.3 Geometrie der Belastung

Die Messvorrichtung von Matthias Oplatka erlaubte neben der Messung der Strömungskraft auch die Bestimmung ihres Angriffspunktes d.h. des Hebelarmes und des Winkels ihrer Wirkungsrichtung. Der Hebelarm nahm mit zunehmender Geschwindigkeit ab, die Richtung der Resultierenden war bei geringen Fließ- bzw. Fahrtgeschwindigkeiten von 1 bis 2 m/s annähernd waagrecht und bei Geschwindigkeiten von 3 bis 4 m/s um ca. 10° bis 20° nach unten geneigt.

Der in dieser Arbeit untersuchte Uferschutz-Mechanismus des Abdeckens tritt jedenfalls erst dann auf, wenn die Krone der Pflanze untertaucht.

Zur Beschreibung und Modellierung der Verformbarkeit ist daher folgende Vereinfachung bezüglich des Belastungsschemas zulässig und sinnvoll:

Der größte Teil der Kraft wird in jenen Teil der Pflanze eingeleitet, der sich aufgrund seines niedrigen Widerstandsmoments sehr leicht umbiegt. Es wird deshalb die Strömungskraft des Wassers als Einzelkraft angesetzt, die im flexiblen Pflanzenteil in *axialer* Richtung wirkt.

2.2. Widerstand der Pflanze (reactio)

Die in die Pflanze eingeleitete Strömungskraft induziert im belasteten Material Spannungen, aus denen Verformungen resultieren.

Beide Reaktionen - Spannung und Verformung - hängen maßgeblich von der Pflanzenform, d.h. ihrer Geometrie und den Eigenschaften des Materials ab.

■ 2.2.1 Spannung

Die in der Randfaser in axialer Richtung auftretende Spannung ergibt sich aus dem Quotienten zwischen dem Biegemoment und dem Widerstandsmoment.

$$s = \frac{M}{W} \quad [N / mm^2]$$

wobei σ	Spannung [N/mm ²]
M	Biegemoment [Nmm]
W	Widerstandsmoment [mm ³]

Das Widerstandsmoment W ergibt sich dabei aus

$$W = \frac{p \cdot d^3}{32} \quad [mm^3]$$

Das Widerstandsmoment nimmt bei kreisförmigen Querschnitten mit dem Durchmesser kubisch zu. Ein Stammteil vom Durchmesser 5 cm weist daher ein 25 mal höheres Widerstandsmoment auf als 5 Äste von je 1 cm Durchmesser.

Versagen tritt ein, wenn dem rein geometrieabhängigen Widerstandsmoment W das maximale Biegemoment, d.h. das Bruchmoment M_B gegenübersteht, sodass die Bruchspannung σ_B erreicht wird.

$$\sigma_B = \frac{M_B}{W} \quad [N/mm^2]$$

wobei σ_B Bruchspannung oder Bruchfestigkeit [N/mm²]
 M_B Bruchmoment [Nmm]
 W Widerstandsmoment [mm³]

■ 2.2.2 Verformung

Im Sinne des hier diskutierten Umlegens der Pflanze und des Abdeckens des Bodens ist die Verformbarkeit der Pflanzen von besonderer Bedeutung.

Häufig wird zur Beschreibung des elastischen Verformungsverhalten die

$$\text{Biegesteifigkeit} = E \cdot I$$

herangezogen,

wobei E Biege-Elastizitätsmodul [N/mm²]
 I Trägheitsmoment [mm⁴]

Über das Trägheitsmoment

$$I = \frac{p \cdot d^4}{64} \quad [mm^4]$$

fließt die Geometrie der Pflanze ein, und zwar mit der vierten Potenz des Durchmessers.

Mit dem Durchmesser nimmt daher auch die Biegesteifigkeit der Pflanze von oben nach unten zu.

■ 2.2.3. Geometrie-Schema einer Pflanze

Die in ingenieurb biologischen Bauweisen zum Einsatz gelangenden Pflanzen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Geometrie bisweilen deutlich voneinander. Phänologische Unterschiede sind gattungsbedingt (z.B. Erle-Weide), artbedingt (baum- und strauchförmige Salix-Arten) und hängen zusätzlich sehr stark vom Standort und der Pflanzengesellschaft ab.



Abb.30: Habitus ausgewählter Uferpflanzen

Für alle in Frage kommenden Gestalten von Einzelpflanzen gilt:

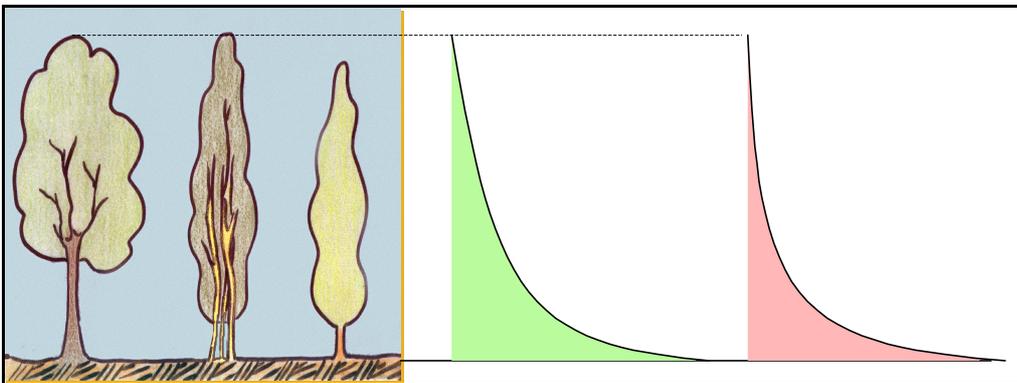


Abb.31: Geometrie-Schema und Verlauf der axialen Flächenmomente W und I

In den oberen Pflanzenteilen gleicht die Biegesteifigkeit der Verformbarkeit eines Seiles, der Wurzelanlauf des Stammes ist als starres Element zu werten, wie Abb.31 schematisch zeigt.

■ 2.2.4. Grundlegende Materialeigenschaften

Neben der Geometrie hängt das Verformungsverhalten wesentlich von den physikalischen Eigenschaften des Materials ab.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Werkstoffen ist die Anforderung an das Materialverhalten hier eine gänzlich andere:

Optimal im Sinne des Uferschutzes durch Bodenbedeckung ist der vorliegende Werkstoff "Frisches Stammholz" dann, wenn es bereits bei geringer Belastung zu möglichst hohen Verformungen kommt und der Bruch erst nach großen

Verformungen eintritt.

Der Biege-Elastizitätsmodul E ist eine rein materialabhängige Größe. Er beschreibt das Verformungsverhalten eines Materials im linearen, d.h. im elastischen Bereich.

Der Biege-Elastizitätsmodul wird aus Materialprüfungen empirisch ermittelt. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden solche Prüfungen für fünf Baumarten durchgeführt.

3. Materialprüfung

3.1. Ziel der Untersuchungen

Ziel der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Materialuntersuchungen war es, die weitgehend unbeschriebenen Festigkeitseigenschaften von frischem, in Saft stehenden Stammholz zu beleuchten.

Wegen der ungewöhnlichen Anforderungen an das Material, bei dem primär hohe Deformationen gewünscht sind, wohingegen die Bruchfestigkeit eine untergeordnete Rolle spielt, zeigte sich die detaillierte Betrachtung des plastischen Verformungsbereiches als besonders wichtig.

3.2 Kurzbeschreibung der Biegeprüfungen

Ziel:

- nicht-lineares Materialgesetz

Versuchsanordnung:

- einaxiale Biegeversuche mit Krafteinleitung in den Drittelpunkten

Sample:

- 5 Baumarten
- 295 Probestücke mit Durchmessern von 4,5 bis 14 cm

Vorgangsweise:

- geometrische Probevermessung
- Messung von Feuchtigkeit und Dichte
- Aufzeichnung von Kraft, Weg und Zeit bis zum Versagen

Ergebnisse:

- Grenzen des Hooke'schen Bereiches
- E-Modul
- Spannungsverlauf bis zum Versagen bzw. Abbruch
- Dehnungsverlauf bis zum Versagen bzw. Abbruch
- Anteil elastischer zu plastischer Dehnung

3.3 Baumarten und Stichprobenumfänge

Untersucht wurden folgende Baumarten:

Baumart	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Salix alba</i>	<i>Salix caprea</i>	<i>Acerpseudoplatanus</i>
Probenumfang	82	85	54	17	57

Tab.4 : Baumarten und Gruppengrößen bei den Biegeprüfungen

Die Baumarten *Schwarzerle (Alnus glutinosa)* und *Gemeine Esche (Fraxinus excelsior)* wurden im Sommer 1998, die übrigen drei Baumarten im darauffolgenden Sommer 1999 untersucht.

3.4 Die Entnahme der Probestücke

■ 3.4.1 Standorte

Die Prüfstücke der Baumarten *Schwarzerle (Alnus glutinosa)*, *Gemeine Esche (Fraxinus excelsior)* und *Salweide (Salix caprea)* wurden am Gruberaubach zwischen Gruberau und Gföhler (Gemeinde Wienerwald, Niederösterreich) gewonnen. Der Standort befindet sich im Besitz der Österreichischen Bundesforste, die die umfangreiche Probengewinnung freundlicherweise gestatteten.

Unweit dieses Standortes, im Großhöniggraben, wurde ein Teil der Baumart *Acer pseudoplatanus* geschnitten, deren anderer Teil am Standort "Lichteiche" gewonnen wurde. Auch diese Standorte befinden sich im Revier Breitenfurt der Österreichischen Bundesforste.

Die Probestücke der Baumart *Salix alba (Silberweide)* stammen aus Greifenstein an der Donau. Die Österreichische Donaukraftwerke AG des Verbundes gestattete dankenswerterweise die Entnahme der Stämme am rechten Donauufer bei Stromkilometer 1951,0 bis 1951,5.

■ 3.4.2 Vorgangsweise bei der Gewinnung der Proben

Aus technischen Gründen wurden möglichst gerade, jedoch bewusst nicht fehlerfreie Stämme gewählt, aus denen ein bis vier Probestücke ausgeformt und gewonnen wurden. Bei der Verteilung der Durchmesser wurde darauf Bedacht genommen, annähernd einer Normalverteilung zwischen 4,5 cm und 14 cm Mittendurchmesser in Rinde zu entsprechen.

Bei der Probengewinnung wurde die horizontale und vertikale Entfernung vom Ufer (MW-Anschlaglinie) sowie die Lage der Probe im Baum (Laufmeter über Boden) erfasst.

3.5. Vermessung und Beschreibung der Probestücke

■ 3.5.1 Durchmesser und Auflagerlänge

Vor der Biegeprüfung wurde an definierten Stellen insgesamt 14 Durchmesser gemessen, von denen wiederum die Wahl der Auflagerlänge abhing.

■ 3.5.2 Astigkeit

- Anzahl und Beschaffenheit der Äste zwischen den Krafteinleitungspunkten (fest verwachsener Ast, überwallter Ast, Schwarzast, Punktast oder Fehler im Holz)
- Basisdurchmesser des Astes
- Abstand des Astes vom Krafteinleitungspunkt C und seine Lage am Umfang des Stammes

■ 3.5.3 Dokumentation

Zur Dokumentation wurden alle Probestücke im unbelasteten und bis zum Initialbruch belasteten Zustand fotografiert.

3.6 Feuchtigkeit

Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich, alle Proben unmittelbar nach ihrer Entnahme aus dem Wald zu prüfen. Deshalb wurden manche Probestücke einige Tage in einer eigens zu diesem Zwecke angefertigten Klimakammer zwischengelagert.



Abb.32: Die Klimakammer zur Zwischenlagerung der Proben an der TU Wien

Die Lagerungszeit betrug maximal drei Tage, um den frischen Zustand der Proben einigermaßen zu wahren. Es sollte dadurch gewährleistet werden, dass die Holzfeuchtigkeit der Stammabschnitte zum Zeitpunkt der Prüfung außerhalb des hygroscopischen Bereiches lag. Im hygroscopischen Bereich (von ca. 0 bis 30% Holzfeuchtigkeit) zeigen die Materialkennwerte von Holz, wie etwa Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul etc. eine Abhängigkeit von der Holzfeuchte (TEISCHINGER, 1997). Im Bereich höherer Feuchtigkeiten kann von weitgehend gleichbleibenden Materialkennwerten ausgegangen werden.

An sämtlichen Proben wurde die Feuchtigkeit zum Zeitpunkt des Versuchs gemessen. Dazu wurden zwei Stammscheiben von ca. 2

cm Dicke entnommen, von denen eine wiederum in kleine Würfel geteilt wurde. An diesen konnte die Verteilung der Holzfeuchtigkeit und der Dichte über den Querschnitt ermittelt werden.

Sofort nach der Biegeprüfung wurden die Massen dieser Proben erfasst, die Proben benannt und archiviert. In einem weiteren Arbeitsgang wurden sämtliche Feuchtigkeitsproben - insgesamt 1580 Stück - im Darrschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und ihre Masse in darrtrockenem Zustand gemessen.

Die Holzfeuchtigkeit ergibt sich aus

$$u = \frac{m_u - m_o}{m_o} \quad [\%]$$

wobei m_u Masse der feuchten Probe [g]

m_o Masse der darrtrockenen Probe [g]



Abb.33: Stammscheiben und Würfel zur Bestimmung der Dichte und der Feuchtigkeit

Zwischen den länger in der Klimakammer gelagerten Holzproben und jenen, die unmittelbar nach ihrer Gewinnung geprüft worden waren, konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich ihrer Feuchtigkeit nachgewiesen werden.

Die Vergleichbarkeit aller Proben war somit gegeben.

Zusammenfassend ergaben sich für die untersuchten Stammproben folgende Feuchtigkeitswerte:

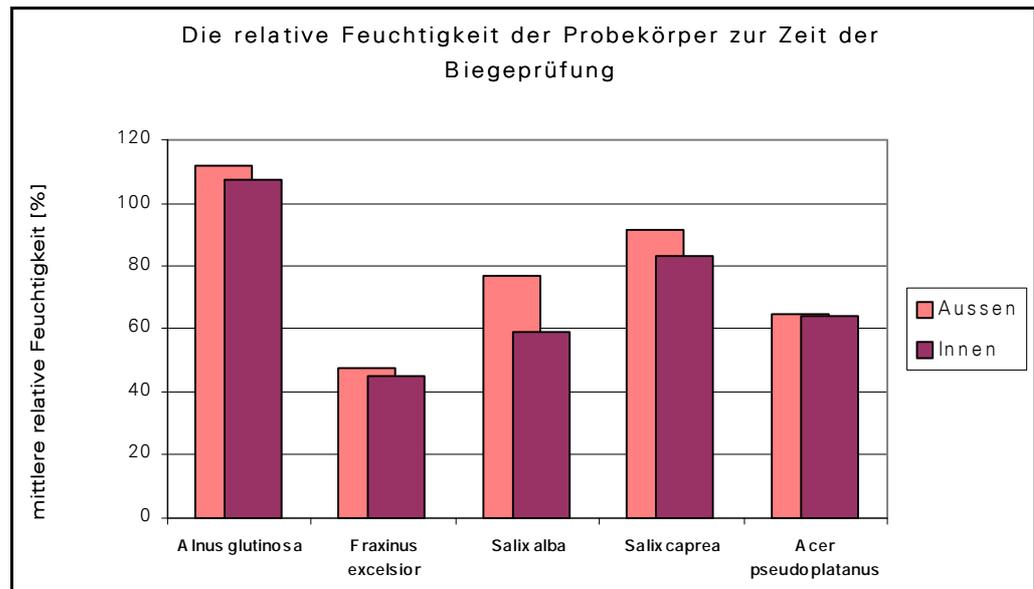


Abb.34: Feuchtigkeit der untersuchten Proben

3.7. Dichte

Die untersuchten Baumarten unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Dichte. Daher wurde auch diese erhoben. Sie ergibt sich aus der Formel

$$r = \frac{m_o}{V_o} \quad [g / cm^3]$$

wobei m_o = Masse der darrtrockenen Probe [g]
 V_o = Volumen der darrtrockenen Probe [cm³]

Das Volumen der darrtrockenen Probe wurde nach dem Archimedischen Prinzip der Flüssigkeitsverdrängung ermittelt: Gemessen wurde das Gewicht der von der Probe verdrängten Wassermenge.



Abb.35: Die Messung des Volumens nach dem Verdrängungsprinzip von Archimedes

Um eine unerwünschte Wasseraufnahme des hygroskopischen Werkstoffes zu verhindern, war jede Probe zuvor mit flüssigem Paraffin versiegelt worden.

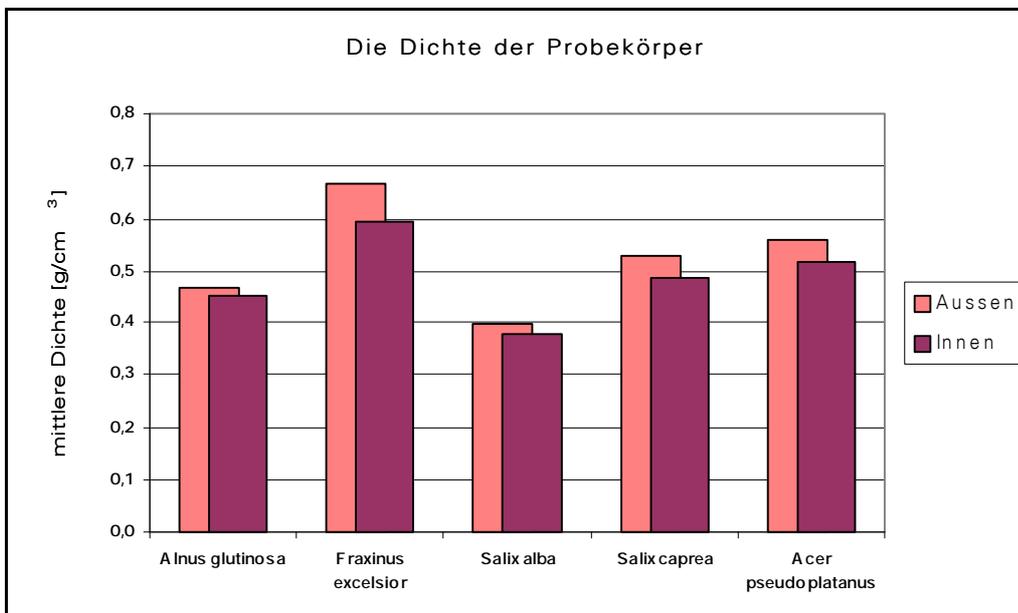
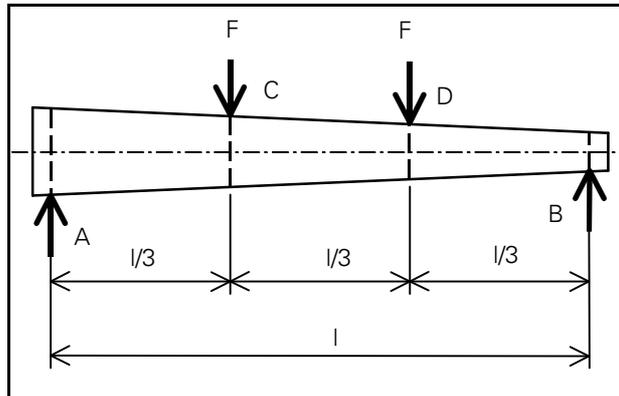


Abb.36: Dichte der untersuchten Proben

3.8. Versuchsanordnung bei der Biegeprüfung



Die Biegeversuche wurden gemäß DIN 52 186 durchgeführt. Für die Prüfung nicht fehlerfreien Holzes schreibt diese Norm eine Versuchsanordnung mit Kraftangriff in zwei Punkten vor, wie sie in Abb.37 dargestellt ist.

Um die durchmesserbezogenen Werte E-Modul und maximale Bruchspannung

berechnen zu können und der Inhomogenität des Probenmaterials Rechnung zu tragen, wurden die Prüfstücke genau vermessen und auf Fehler untersucht.

Abb.37: Versuchsanordnung bei der Biegeprüfung

3.9. Erhebungen bei der Biegeprüfung

Abb.38: Die einaxiale Biegeprüfanlage am Institut für Festigkeitslehre der TU Wien; Probestück in unbelastetem Zustand (links)

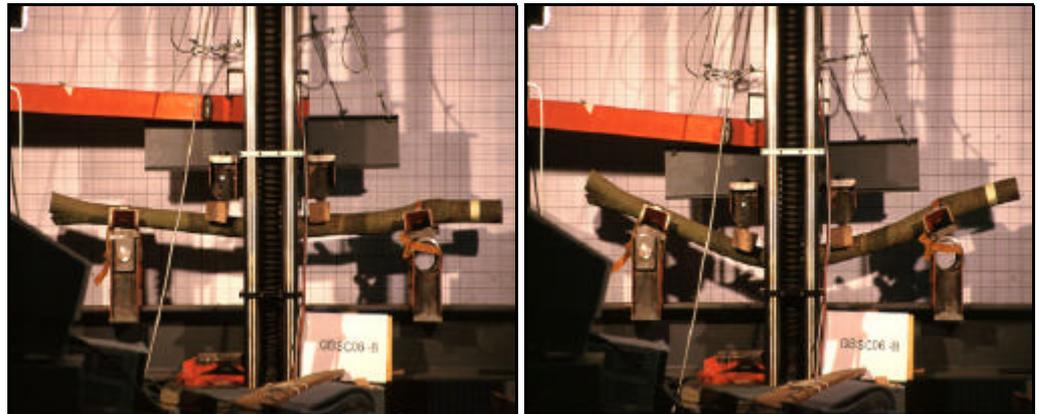


Abb.39: Probestück in belastetem Zustand (rechts)

Mit einem geeigneten Messverstärker wurden während der Prüfung online die Parameter

- Kraft [kN]
- Verschiebung (Durchbiegung) [mm] in der Mitte des Probestückes
- Zeit [ms]

aufgezeichnet und gespeichert.

Das primäre Ergebnis der Biegeprüfungen war für jede Probe die Gegenüberstellung von Kraft und Durchbiegung.

Die Messfrequenz betrug 5 Hertz.

3.10. Berechnungen nach der Biegeprüfung

Diese rohen Messdaten Kraft, Weg und Zeit wurden auf Spannungs-Dehnungs-Diagramme umgerechnet, d.h. sie wurden um die Geometrie bereinigt und stellen einen rein materialabhängigen Zusammenhang zwischen Belastung und Verformung dar. Aus diesen wurden charakteristische Materialkennwerte

abgeleitet.

Diese Nachbearbeitung der Rohdaten erfolgte automatisch durch das zu diesem Zweck angefertigte Post-Processing-Programm P-LASTIC.

Dieses Visual-Basic - Programm ist im Anhang auf Seite 64 näher beschrieben.

Unter anderem wurden von P-LASTIC folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

■ 3.10.1 Aufsuchen des linearen Bereiches

Im elastischen Verformungsbereich besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Kraft und Durchbiegung bzw. Spannung und Dehnung. Dieser wurde vom Programm P-LASTIC iterativ ermittelt, bis das Abbruchkriterium erfüllt war.

Erst bei einem Bestimmtheitsmaß der Linearität von über 0,999 wurde der gefundene Bereich als geeignet erachtet, der Berechnung des Biege-Elastizitätsmoduls zugrunde gelegt zu werden.

■ 3.10.2 Berechnungen

Über die gemessenen Geometriewerte

- vertikaler Durchmesser D_v [mm]
- horizontaler Durchmesser D_h [mm]

der jeweiligen Probe wurde das Widerstandsmoment [mm³] und das Trägheitsmoment [mm⁴] für den Querschnitt an der Bruchstelle berechnet.

Aus diesen abgeleiteten Parametern, sowie der Probenlänge l [mm] und den Datenreihen der Messwerte

- Kraft F [kN]
- Durchbiegung f [mm]
- Zeit t [ms]

wurden von P-LASTIC für jedes Probestück unter anderem die folgenden Materialkennwerte berechnet:

- maximale Kraft bis zum Bruch F_{\max} [kN]
- maximale Durchbiegung f_{\max} [mm]
- Spannung σ [N/mm²] für den gesamten Verlauf der Belastung
- Bruchspannung σ_B [N/mm²] an der Stelle der maximalen Belastung
- Dehnung ϵ [-] für den gesamten Verlauf der Belastung
- Bruchdehnung ϵ_B [-] an der Stelle der maximalen Belastung
- elastischer Anteil an der Bruchdehnung
- plastischer Anteil an derselben
- Verhältnis aus elastischem und plastischem Anteil an der Bruchdehnung
- E-Modul [N/mm²]

Die Spannung σ erhält man dabei über die Beziehung

$$s = \frac{16 \cdot F \cdot l}{D_v^2 \cdot D_h \cdot 3 \cdot p} \quad [N / mm^2]$$

Die dimensionslose Dehnung ϵ ergibt sich mit

$$e = f \frac{108 \cdot D_v}{23 \cdot l^2} \quad [-]$$

Der Biege-Elastizitätsmodul E ist im linearen Verformungsbereich mit

$$E = \frac{l^3 \cdot \Delta F}{I \cdot \Delta f} \cdot \frac{23 \cdot 1000}{1296} \quad [N / mm^2]$$

definiert.

3.11 Interpretation einer typischen Spannungs-Dehnungs-Kurve

Die folgende Abb.40 zeigt ein typisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm für frisches, in der Vegetationsperiode gewonnenes Weidenholz.

Der Hooke'sche (elastische) Bereich endet in diesem Beispiel bereits bei einer Dehnung von ca. 0,003. Das größte Verformungspotenzial der Pflanze liegt demnach im plastischen Bereich, in dem selbst starke Verformungen bis 0,035 (3,5%) de facto zerstörungsfrei möglich sind.

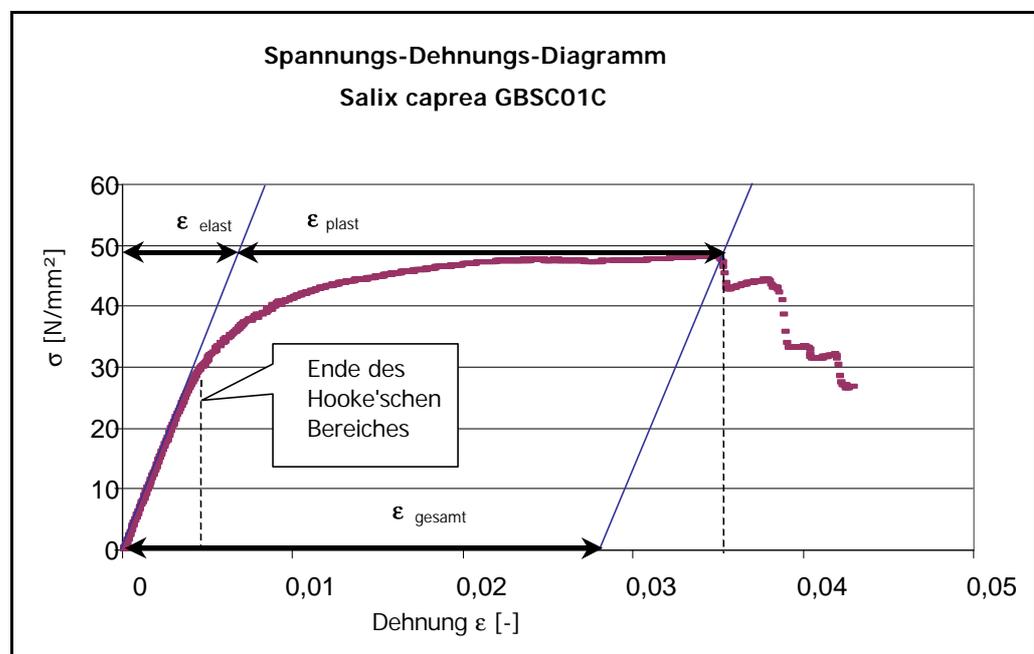


Abb.40: σ - ϵ - Diagramm
(Probe GBSC01C)

Der in der klassischen Festigkeitslehre übliche Biege-Elastizitätsmodul ($E = \sigma/\epsilon$ des Hooke'schen Bereiches) greift daher bei weitem zu kurz, wenn die Fähigkeit frischer Pflanzen, sich unter äußerer Belastung zu verformen, d.h. umzulegen, beschrieben werden soll. Es wird deshalb neben der Biegefestigkeit σ_B d.h. jener Spannung, bei welcher der Bruch einsetzt, die Verformung bis zum Bruch angegeben - aufgeteilt auf den elastischen und den plastischen Anteil.

3.12. Materialkennwerte verschiedener Baumarten

Die folgende Tab.5 zeigt Ergebnisse der Biegeprüfungen an fünf verschiedenen Laubholzarten. Zunächst fallen deutliche Differenzen zwischen den Baumarten auf. Die angeführten Quotienten aus den plastischen und elastischen Anteilen an den maximalen Dehnungen weisen auf die eminente Bedeutung der plastischen Verformung hin, wenn die Pflanze durch Umbiegung vor Erosion schützen soll.

Kennwert	Alnus glutinosa	Fraxinus excelsior	Salix alba	Salix caprea	Acer pseudo-platanus
Probenumfang	82	85	54	17	57
E-Modul E [N/mm ²]	6879,64	10237,28	6267,77	7808,40	9533,89
Bruchspannung σ_B [N/mm ²]	37,577	58,176	40,147	48,463	67,744
Bruchdehnung ϵ_B [dimensionslos]	0,018	0,023	0,018	0,025	0,022
elast. Bruchdehng. $\epsilon_{B,elast}$ [dimensionslos]	0,005	0,006	0,006	0,006	0,007
plast. Bruchdehng. $\epsilon_{B,plast}$ [dimensionslos]	0,012	0,017	0,011	0,019	0,015
Verhältnis plast./elast. Bruchdehnung	2,23	3,09	1,73	2,96	2,09

Tab.5: Mechanische Kennwerte verschiedener Holzarten (Mittelwerte)

E : Verhältnis σ/ϵ im Hooke'schen Bereich,

σ_B , ϵ_B : Spannung bzw. Dehnung zum Zeitpunkt des Bruches

$\epsilon_{B,elastisch}$, $\epsilon_{B,plastisch}$: elastischer bzw. plastischer Anteil der Dehnung beim Bruch

Die markanten Unterschiede der einzelnen Baumarten bezüglich ihrer E-Modul spiegeln die bekannte Einteilung der Laubbaumarten in Hart- und Weichhölzer wider, die sich auch in ihren verschiedenen Bruchfestigkeiten manifestiert. Die Gehölze der sogenannten harten Au, Fraxinus excelsior und Acer pseudoplatanus, versagen erst unter höheren Belastungen, als die hier untersuchten weicheren Weiden und Erlen.

Beim Versagen frischen Stammholzes aller geprüften Baumarten handelte es sich um duktile, d.h. zähe Brüche.

Die Baumarten Bergahorn (Acer pseudoplatanus) und Esche (Fraxinus excelsior) nahmen wesentlich höhere Spannungen auf ehe sie brachen, als dies bei Schwarzerle (Alnus glutinosa), bei Salweide (Salix caprea) und Silberweide (Salix alba) der Fall war.

Unter dem Aspekt des Uferschutzes bedeutet dies, dass bei Esche und Ahorn wesentlich höhere Kräfte über die Krone eingeleitet werden müssen, um ein

Umlegen der Pflanzen und dadurch die Abdeckung des Bodens zu erreichen als bei den leichter verformbaren Baumarten Schwarzerle, Silber- und Salweide.

3.13 Materialeigenschaften nach Durchmessern

Die Abhängigkeit des Verformungsverhaltens von der Geometrie ist offensichtlich. Die Bedeutung der axialen Flächenmomente Widerstands- und Trägheitsmoment, in die der Durchmesser exponentiell einfließt, wurde auf den Seiten 40 ff. erklärt.

Unabhängig davon war nicht von vornherein auszuschließen, dass auch die rein materialspezifischen Eigenschaften, Abhängigkeiten vom Durchmesser der Proben aufweisen könnten, d.h. dass jüngere Teile von Pflanzen sich deutlich anders verhalten als ältere.

Um festzustellen, ob solche Trends zwischen Materialkennwerten und Durchmessern bestehen, wurden die wichtigsten Materialparameter auf Durchmesserklassen aufgeteilt.

Bei den Kennwerten E-Modul und Bruchfestigkeit bestanden diesbezüglich keine auffälligen Zusammenhänge, wie Abb.41 veranschaulicht.

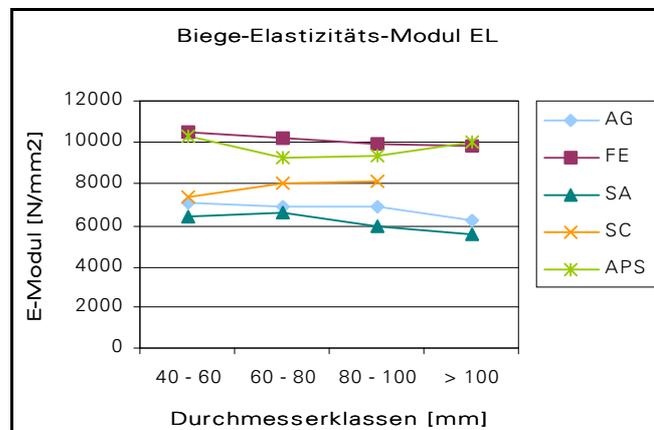
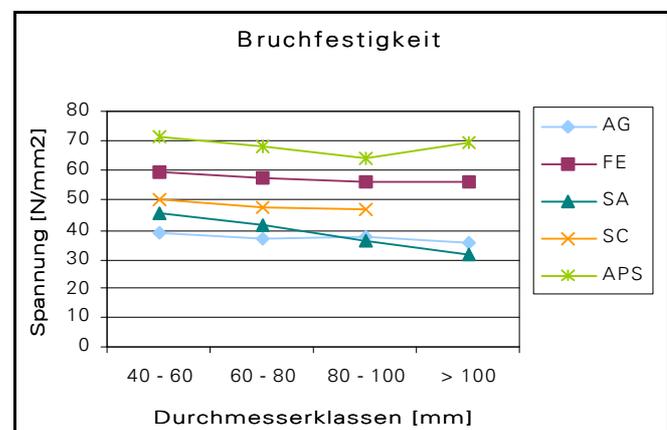


Abb.41: Der Elastizitätsmodul und die Bruchfestigkeit, aufgeteilt auf Durchmesserklassen



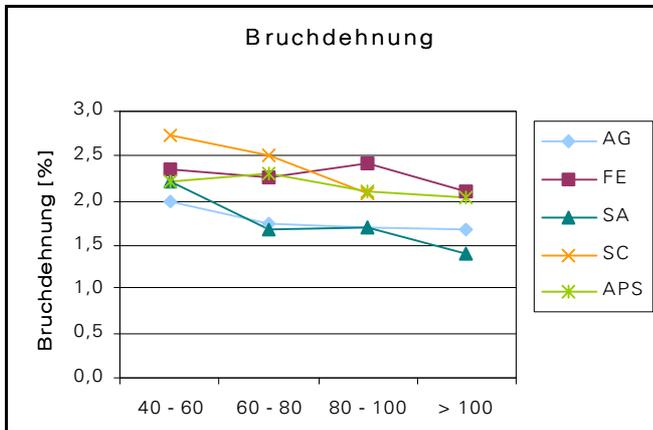
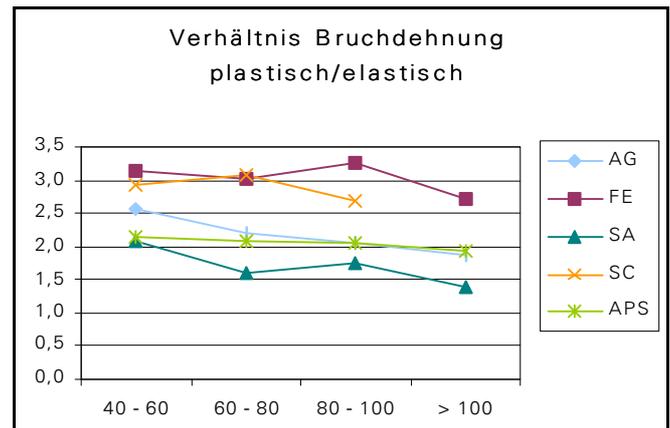


Abb.42: Die Bruchdehnung und die Anteile plastischen bzw. elastischen Verformungsverhaltens an der gesamten Bruchdehnung, jeweils aufgeteilt auf Durchmesserklassen



Die Bruchdehnung nimmt mit dem Durchmesser der Pflanze geringfügig ab, das heißt dünnere Pflanzen haben ein rein materialspezifisch höheres Verformungspotenzial als ältere, stärkere Individuen.

Der Anteil der plastischen Dehnung an der gesamten ist wiederum bei jüngeren, also dünneren Pflanzen ein noch höherer als bei älteren.

3.14. Interpretation der Ergebnisse und Folgerungen

- Alle untersuchten Materialien verhalten sich nicht rein elastisch. Ihr Verformungsverhalten ist vielmehr elasto-plastisch mit einem sehr langen Übergangsbereich.
- Bei allen Baumarten überwiegt der plastische Verformungsanteil den elastischen deutlich.
- Die häufig angewandte Biegesteifigkeit $E \cdot I$ ist nicht ausreichend, um das Verformungsverhalten frischen Stammholzes zu beschreiben.
- Das Ziel der hier durchgeführten Untersuchungen bestand darin, den Mechanismus der Abdeckung des Bodens durch flexible, sich umlegende Uferpflanzen zu beschreiben.

Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Biegeprüfungen haben gezeigt, dass derartig große Formänderungen des Stammes nur erzielt werden können, wenn die Materialdeformation weit in den plastischen Bereich hinein fortgesetzt wird.

- Zur Beschreibung des elasto-plastischen Verformungsverhaltens der vorliegenden Werkstoffe ist daher ein alternatives Materialmodell erforderlich, welches das Hooke'sche Gesetz für den linear-elastischen Bereich mit anderen Stoffgesetzen verknüpft, die ihrerseits den plastischen und den ausgeprägten Übergangsbereich beschreiben.

Simulationen mit Finiten Elementen, die im folgenden Kapitel beschrieben werden, sowie Feldversuche zum Biegeverhalten im Versuchsgarten haben gezeigt:

Der Einfluss des Durchmesser über das Widerstandsmoment bzw. das Trägheitsmoment auf das Biegeverhalten ist wesentlich größer als Unterschiede zwischen den Baumarten. Der von WEITZER et al. (1998) postulierte Bereich um ca. 4 cm, als untere Grenze für Pflanzen, die so verformbar sein sollen, dass sie von der Kraft des strömenden Wassers vollständig umgebogen werden, wurde durch diese Untersuchungen bestätigt, obgleich von Weitzer et al. ein rein elastisches Materialverhalten unterstellt wurde, von dem bei allen untersuchten Baumarten in frischem Zustand keine Rede sein kann.

4. Die Finite Elemente Methode

4.1. Einführung in die Finite Elemente Methode (FEM)

Das Prinzip der Finiten Elemente ist eine in der Festigkeitslehre erprobte Technik, um nichtlineares Materialverhalten zu beschreiben.

Ein Material, das bezüglich Spannung und Dehnung untersucht werden soll, wird geometrisch in eine hinreichende große Anzahl kleiner Elemente zerlegt. Diesen werden Materialeigenschaften zugewiesen, die man aus entsprechenden Untersuchungen oder der Literatur kennt.

In einer relativ aufwändigen Geometrie wird ein Lastfall nachgebildet, die tatsächlich eingeleiteten Kräfte, Belastungen und Auflagerreaktionen werden rechnerisch angelegt und erzeugen in den Elementen, in die sie wirken, Spannungen und Dehnungen; diese werden von einem Element ans benachbarte nächste weitergeleitet.

Diese Reaktionen werden iterativ für das gesamte Modell durchgerechnet, bis das geforderte Gleichgewicht erfüllt ist.

Das Ergebnis ist eine Verteilung von Dehnungen und Spannungen über den Probekörper.

4.2. Die Anwendung der Finite Elemente Methode zur Beschreibung des Materialverhaltens

Im vorliegenden Fall wurde mit den an der TU Wien aus Biegeprüfungen ermittelten Materialkennwerten eine Materialhypothese aufgestellt, d. h. ein Zusammenhang zwischen Kraft und Durchbiegung bzw. Spannung und Dehnung formuliert. Mit Hilfe des Finite Elemente Programmes "ABAQUS" wurde ein rohes Modell gebildet und damit die Durchbiegung simuliert.

Das Ergebnis wurde mit der tatsächlich an der Prüfanlage aufgetretenen Biegelinie verglichen, wodurch das Modell schrittweise an den durchgeführten Versuchen kalibriert wurde.

Für alle fünf untersuchten Baumarten wurden getrennte Modelle aufgestellt und

durch trial and error justiert, bis das simulierte Biegeverhalten dem tatsächlich beobachteten entsprach. Die fünf Steifigkeitsmatrizen sind demnach geeignet, die Materialien der fünf untersuchten Baumarten in frischem Zustand bezüglich ihres Verformungsverhaltens zu beschreiben.

4.3. Die Eckdaten des Finite Elemente Modells

Die Geometrie wurde exakt der Probengeometrie bei den Biegeprüfungen entsprechend nachgestellt.

Der Lastfall war statisch bestimmt, d.h. ein Auflager war frei dreh- und verschiebbar, das andere nur drehbar.

Die Form der Elemente war jeweils ein Keil, insgesamt bestanden die modellierten Probestücke aus etwa 16000 gleichen Elementen.

Beim Material wurde der Anatomie des Werkstoffes "Holz" Rechnung getragen:

Gewählt wurde ein 3-D-orthotropes Material, d.h. ein Material, das in den drei Koordinatenrichtungen verschiedene Eigenschaften aufweist.

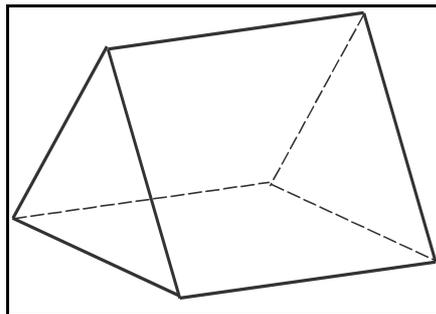


Abb.43: Schema eines
Finiten Elementes

4.4. Modellierung der Probestücke

Durch das Zusammenfügen dieser Elemente und die Zuweisung der aus den Biegeprüfungen ermittelten Materialkennwerte ergaben sich die Modelle der realen Probestücke.

Für den elastischen Bereich wurden den Elementen ihre Materialeigenschaften über die Steifigkeits-Matrix zugewiesen.

Jenseits des Hooke'schen Bereiches gilt die aus den Elastizitätsmoduln und Schubmoduln der drei axialen Richtungen bestehende Steifigkeitsmatrix nicht. Im plastischen Bereich wurde dem Programm deshalb direkt eine Tabelle als Input präsentiert, in welcher der angelegten Spannung jeweils die beobachtete Dehnung gegenüberstand. Das Materialgesetz wurde also nicht explizit über eine Formel, sondern implizit über beobachtete Werte angegeben.

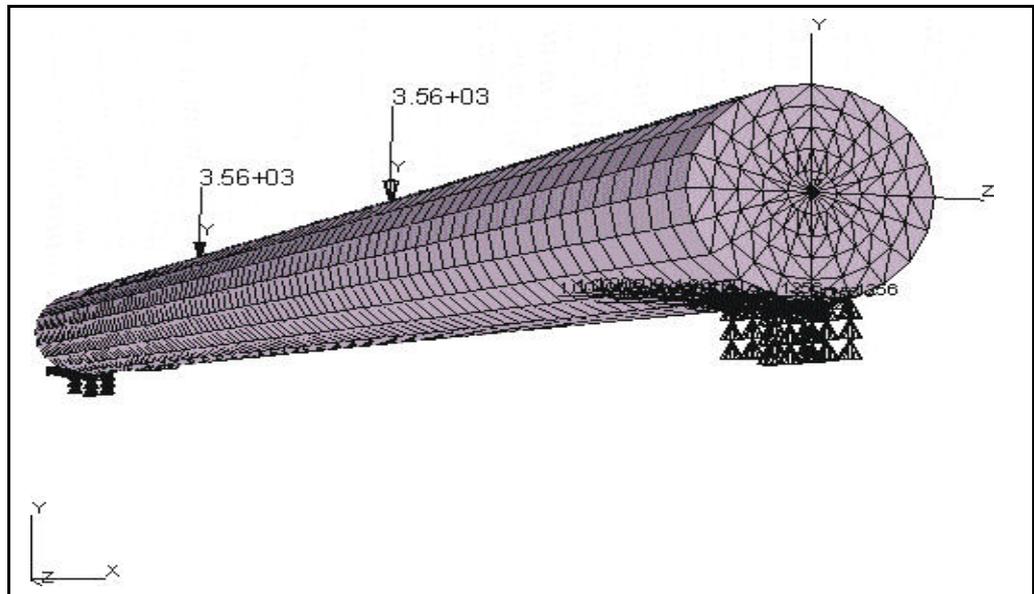


Abb.44: Finite Elemente Modell eines unbelasteten Probestückes

Die nachstehende Abb.44 zeigt ein solches Modell exemplarisch für das Probestück GBFE03A (*Fraxinus excelsior*).

Dieses Probestück brach bei der Biegeprüfung unter einer Belastung von 7,12 kN. Nach der Durchrechnung der Verformung unter dieser Last ergibt sich für das hier gewählte Probestück folgendes Bild:

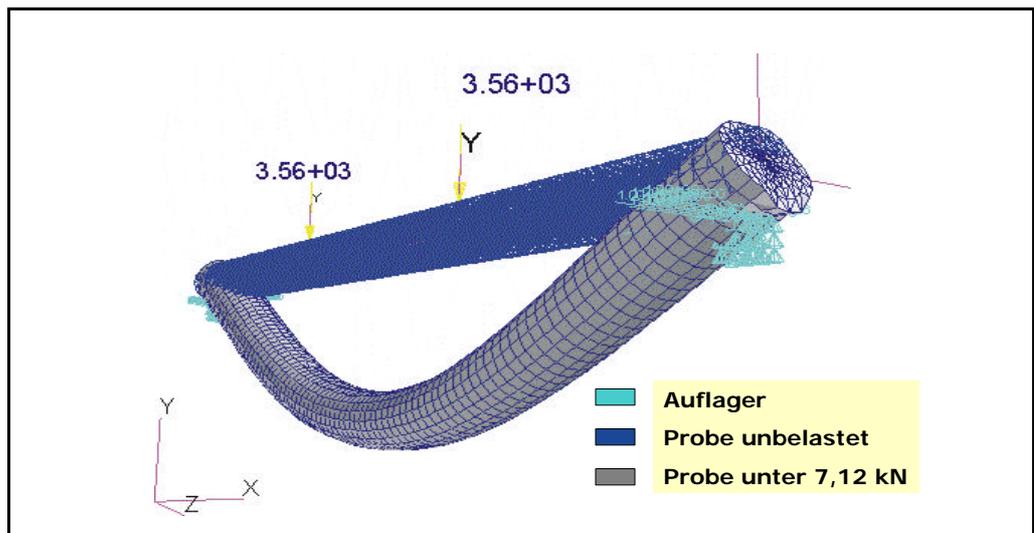


Abb.45: Finite Elemente Modell desselben Probestückes unter einer simulierten Belastung von 7,12 kN

Der Vergleich mit der tatsächlichen Biegelinie ermöglichte die Verifizierung der unterstellten Materialhypothese anhand der Biegelinie, die die folgende Abb.46 zeigt:



Abb.46: Die Verformung des Probestückes GBFE03A unter einer Belastung von 7,12 kN

4.5 Ergebnisse der Finite Elemente Simulation

Die Durchbiegung von knapp 100 mm tritt im Modell und im Versuch gleichermaßen auf. Das simulierte Biegeverhalten gleicht also weitgehend dem tatsächlich beobachteten. Die dem Modell als Input angegebene Steifigkeitsmatrix bzw. die Spannungs-Dehnungs-Werte beschreiben demnach das Verformungsverhalten des simulierten Materials mit hinreichender Genauigkeit.

Die nachträgliche Simulation der tatsächlich durchgeführten Biegeversuche mit der Finite Elemente Methode hat also gezeigt, dass die jeweils unterstellten Materialgesetze für andere Berechnungen herangezogen werden können.

4.6 Umrechnung auf andere Pflanzengeometrien und Lastfälle

Damit wird es möglich, das gefundene Materialgesetz auf andere Geometrien und andere Belastungs-Szenarien anzuwenden.

Die folgenden Abb.47 bis 49 zeigen am Beispiel der Baumart *Fraxinus excelsior* die Nachstellung von Lastfällen, wie sie in der Natur im Hochwasserfall vorkommen:

Unter der Annahme einer Baumhöhe von 3 m wurden in diesem Beispiel jeweils vier verschiedene Wasserstände und damit Belastungen simuliert (in den Bildern von rechts nach links):

- Kraft von 100 N bei $\frac{1}{4}$ der Pflanzenhöhe
- zusätzliche Kraft von 250 N bei $\frac{1}{2}$ der Pflanzenhöhe
- zusätzlich eine weitere Kraft von 500 N bei $\frac{3}{4}$ der Pflanzenhöhe
- weitere zusätzliche Kraft von 1000 N bei der Pflanzenhöhe h

Abb.47, Abb.48 und Abb.49 zeigen die Verformung von Eschen verschiedener Basisdurchmesser und vier angenommenen Belastungsfällen.

Abb.47: Modellierung einer Esche, Basisdurchmesser = 4,0 cm, 4 Lastfälle (links)

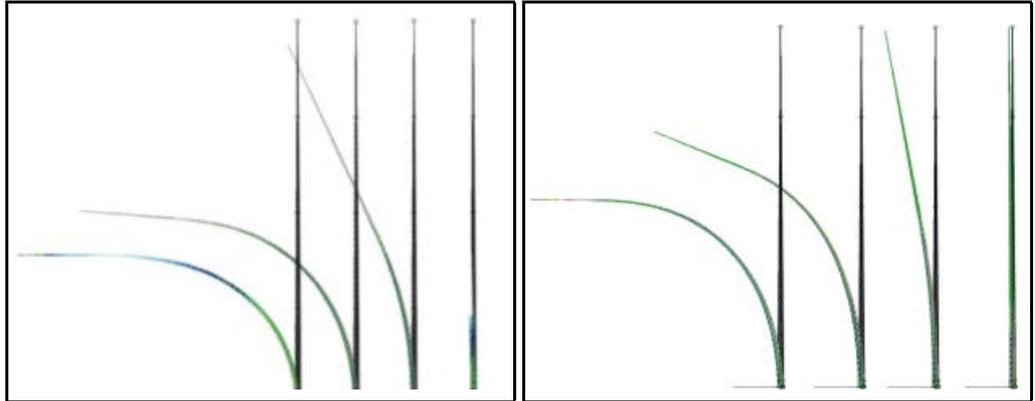


Abb.48: Modellierung einer Esche, Basisdurchmesser = 5,0 cm, 4 Lastfälle (rechts)

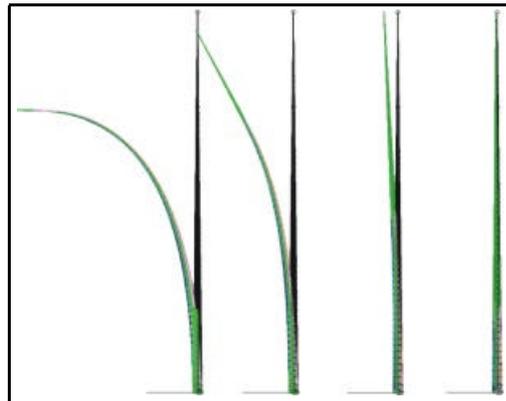


Abb.49: Modellierung einer Esche, Basisdurchmesser = 7,5 cm, 4 Lastfälle

4.7 Resümee der Finite Elemente Simulation

Die Modellierung von Pflanzen unter angenommenen Strömungsbelastungen zeigte im Vergleich zwischen den Baumarten, dass der Einfluss des Durchmessers ausschlaggebend für das Verformungsverhalten ist.

Die Simulation hat weiters erstmals bewiesen, dass die Finite Elemente Methode durchaus in der Lage ist, Belastungen, die zu extrem hohen Deformationen führen, realistisch nachzubilden. Diese Methode dürfte daher geeignet sein, auch das Zusammenspiel mehrerer Einzelpflanzen, das heißt die Wirkung von Ufervegetation als Rauigkeitselement des Fließquerschnittes zu simulieren.

Die dafür notwendigen Inputs hinsichtlich der verschiedenen Materialien stehen nunmehr zur Verfügung.

SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Generell gilt: Ohne Erosion ist ein Versagen ingenieurbioologischer Ufersicherungen de facto nicht möglich. Erosion zu vermeiden ist also oberstes Gebot des Uferschutzes durch Pflanzen.

Anlage ingenieurbioologischer Bauweisen:

Bei der Wahl der geeigneten Bauweise helfen Angaben unter anderem in

- SCHIECHTL und STERN (1992)
- SCHIECHTL (1992)
- SCHIECHTL und STERN (1994)
- FLORINETH und GERSTGRASER (1999)
- GERSTGRASER (2000)

Beim Einsatz lebender Pflanzen für Sicherungsarbeiten an Gewässern sind Pflanzen, die vor Ort zu finden sind, jenen, die antransportiert werden müssen, vorzuziehen. Das ist sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als auch unter dem Aspekt einer sinnvollen Wahl der Provenienz naheliegend.

Sind am Standort mehrere Gattungen und Arten vorhanden, so sollten im Sinne der Artenvielfalt möglichst viele davon zum Einsatz gelangen. Über die Anteile der Artenzusammensetzung ist es möglich, bestimmte technische und ökologische Eigenschaften lebender Verbauungen bewusst zu beeinflussen.

Weiden zeigen bei gleichem Volumen bzw. Wurzelhalsdurchmesser höhere Auszugwiderstände als andere Laubgehölze.

Die in dieser Arbeit untersuchten Weiden entwickelten höhere Wurzelvolumina als andere Laubgehölze gleichen Alters. Sie bewirken somit eine raschere und stärkere Durchwurzelung des Bodens und eignen sich deshalb in der Anwuchsphase besser zur Stabilisierung des Bodens.

Bei den Untersuchungen im Rahmen des vorliegenden Projekts und nach WEITZER et al. (1998) haben sich zwei Weidenarten als besonders geeignet für den Uferschutz erwiesen:

- *Salix viminalis*:

Unter gleichaltrigen Weiden, die unter strikt gleichen Standortbedingungen gewachsen sind, weist die Art *Salix viminalis* den höchsten Auszugwiderstand auf. Diese bis zu 10 m hoch werdende strauchförmige Weide kommt in Österreich vor allem in den Niederungen (kollin bis submontan) vor (HÖRANDL, 1992). Diese Weidenart zeichnet sich durch günstige Eigenschaften sowohl hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Boden mit Wurzeln zu festigen, als auch bezüglich der hohen Biegsamkeit ihrer Äste aus. Auf geeigneten Standorten des Alpenvorlandes sollte diese Baumart, die regional als gefährdet zu bezeichnen ist, bewusst gefördert werden. Wegen der Seltenheit reinrassiger Korbweiden

wird die Anlage eines Pflanzquartiers empfohlen. Pflanzenmaterial zur vegetativen Vermehrung steht im Versuchsgarten des Arbeitsbereichs Ingenieurbiologie und Landschaftsbau bis auf weiteres zur Verfügung.

■ *Salix purpurea*:

Von weitaus größerer Relevanz für die meisten Wildbacheinzugsgebiete Österreichs dürfte die Purpurweide sein. Diese ebenfalls strauchförmige, selten höher als fünf Meter werdende Weide tritt in allen Höhenlagen von der kollinen bis zur alpinen Stufe auf. Sie ist daher fast immer vor Ort zu finden und sehr gut vegetativ vermehrbar.

Der Einsatz von Weiden ist kein Allheilmittel gegen Ufer- und Böschungserosion. Fast alle Weidenarten sind Pionierarten, d.h. sie stehen am Beginn einer Sukzession. Wird diese Sukzession zugelassen, was ökologisch anzustreben ist, so verändern sich die biologisch-technischen Eigenschaften des Bestandes. Wird die Sukzession unterdrückt, was einen Eingriff in das Ökosystem bedeutet, so entsteht Zeit- und Kostenaufwand für die Pflege.

Pflege vorhandener Uferbestände:

Die Fähigkeit von Pflanzen, sich bei Hochwasser umzulegen, um so das Ufer zu schützen, hängt primär von ihrem Durchmesser ab, der das Verformungsverhalten viel stärker beeinflusst, als das Alter oder Unterschiede zwischen den Baumarten.

Wesentliches Kriterium für selektive Pflegeeingriffe bleibt deshalb der Pflanzendurchmesser:

Die in Süddeutschland bisweilen ausgegebene Faustformel "Alles entfernen, das größer als ein Fünfmack-Stück ist" bedeutet, selektiv Pflanzen zu entfernen, deren Basisdurchmesser ca. 4 bis 5 cm überschreitet.

Erlen (*Alnus incana* und *Alnus viridis*) erweisen sich als leichter verformbar als die übrigen untersuchten Baumarten. Sie weisen auch geringere Biegefestigkeiten auf. Daher kann der angegebene Richtwert bei dieser Gattung geringfügig nach oben abweichen.

RESÜMEE UND AUSBLICK

Die beiden beschriebenen elementaren Funktionsmechanismen des Uferschutzes durch Pflanzen (Bodenbewehrung und Abdeckung des Bodens) sind Teil eines komplexen Systems angreifender Kräfte (Schubspannungen) und der Widerstände des Bodens sowie der oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteile. Ein Versagen der Ufervegetation resultiert praktisch immer aus dem Versagen des Bodens, d.h. der Erosion.

Die oberirdischen Teile der untersuchten Baumarten können erstaunlich stark deformiert werden, ehe sie brechen. Hinsichtlich der dazu erforderlichen Spannung unterscheiden sich die Baumarten wesentlich.

Sowohl die Verankerung der Pflanze im Boden als auch deren elastische und plastische Biegsamkeit gestatten der Pflanze, selbst große Kräfte des anströmenden Wassers aufzunehmen und in den Boden abzuleiten. Der Einsatz von Pflanzen im Uferschutz sollte also bewusst darauf abzielen, dass bereits bei geringer Überströmung so hohe Kräfte in die Kronen eingeleitet werden, dass Uferpflanzen sich umlegen und so den Boden vor Erosion schützen.

Auszugwiderstand und Biegsamkeit von Ufergehölzen wurde in der vorliegenden Arbeit an einzelnen Pflanzen untersucht.

Gegenstand weiterführender Unternehmungen sollte es sein, mit der in dieser Arbeit geschaffenen Basis über die Deformation einzelner Pflanzen, die Verformung eines Pflanzenverbandes zu modellieren, um so das Rauigkeitsverhalten von Pflanzenbeständen zu beschreiben.

DANK

Zahlreichen Personen gebührt der Dank der Autoren:

Min.Rat. Dipl.Ing. Hubert Siegel,

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft

Verbund Österreichische Donaukraftwerke AG**Prof. Dr. Josef Eberhardsteiner,**

Institut für Festigkeitslehre der TU Wien, Abteilung für experimentelle
Festigkeitslehre

ÖBF Revier Breitenfurt**Christian Scheidl,**

Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, BOKU
Wien

Dipl. Ing. Sigrid Wieshofer,

Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, BOKU
Wien

Dr. Margarete Patzelt,

Institut für Holzforschung, BOKU Wien

Ing. Raphael Olbrich,

Institut für Holzforschung, BOKU Wien

Gerhard Emsenhuber,

Institut für Holzforschung, BOKU Wien

Dr. Matthias Oplatka,

AWEL Zürich

Johannes Maurer und seinen MitarbeiterInnen im Versuchsgarten Eßling des
Arbeitsbereichs Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien

Stephan Habicher,

Pflanzgarten des Sonderbetriebes für Bodenschutz, Wildbach- und
Lawinenverbauung Südtirol in Prad am Stilfserjoch

unseren WerkvertragsnehmerInnen:

Anna Beran

BSc Clair Firth

Dipl.Ing. Britta Fuchs

Harald Gruber

Markus Helmhart

Sabine Mayer

Dipl.Ing.FH Jürgen Thünemann

Mag. Gebhard Fartacek

Dipl.Ing. Günther Fitzka

Mag. Klaudia Gottwald

Eva Gutknecht

Dipl.Ing. Eva Margelik

Florian Miedl

LITERATUR

- ALTENBACH, H. (1993)
Werkstoffmechanik, Einführung.
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie
- BEITZ, W.; GROTE K.-H. (HRSG.) (1997)
Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau.
Springer, Berlin Heidelberg New York
- BÖGE, A. (1985)
Mechanik und Festigkeitslehre.
Viewegs Fachbücher der Technik
- BOLLRICH, G.; PREISLER, G. (1992)
Technische Hydromechanik, Band 1.
Verlag für Bauwesen, Berlin-München
- BÜHL, A.; ZÖFEL, P. (1998)
SPSS für Windows.
Addison-Wesley-Longman
- CHATFIELD; C. (1982)
The Analysis of Time Series. An Introduction.
C. Hanser Verlag, München, 2nd ed.
- DANNEBERG, O.H. et al. (1996)
Richtlinien für die sachgerechte Düngung.
Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft Wien
- DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1982)
Wood Handbook - Wood as an Engineering Material.
Agricultural Handbook Nr. 72, Washington, U.S.A
- DIN 52 182 (1978)
Prüfung von Holz - Bestimmung der Rohdichte.
Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- DIN 52 183 (1978)
Prüfung von Holz - Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes.
Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- DIN 52 186 (1978)
Prüfung von Holz - Biegeversuch.
Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- DITTRICH A. et al. (2000)
Geschwindigkeitsmessungen im Rhein im Bereich des Bühnenfeldes bei Bad Bellingen.
Ergebnisbericht des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik an der Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Eigenverlag des Instituts

- EHARDT UND HONSOWITZ H., 2000 (in Arbeit):
Praxisfibel zur Gewässerbetreuung.
- EUROPEAN COMMUNITIES, 1995-2000:
The EU Water Framework Directive.
http://europa.eu.int/water/water-framework/index_en.html
- FLORINETH, F.; GERSTGRASER, C. (1999)
Ingenieurbiologie: Studienblätter zur Vorlesung.
Eigenverlag Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie, Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
- GERSTGRASER, C. (1998)
Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern - Grundlagen zu Bau, Belastbarkeiten und Wirkungsweisen.
Dissertation am Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie, Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien
- HAPLA, F.; SABOROWSKI, J. (1984)
Überlegungen zur Wahl des Stichprobenumfangs bei Untersuchungen der physikalischen und technologischen Holzeigenschaften.
Forstarchiv 55: 135-138
- HIBBITT, KARLSSON UND SORENSEN (1995)
ABAQUS/Standard User's Manual, Vol. 1 und 2.
Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc.
- HÖRANDL, E. (1992)
Die Gattung Salix in Österreich.
Abhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft in Österreich, Bd. 27, Eigenverlag
- KOLLMANN, F. (1982)
Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, 1. Band.
Springer, München
- KÖSTLER, N. (1968)
Die Wurzeln der Waldbäume.
Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin
- LANGE, G.; LECHER, K. (1993)
Gewässerregelung, Gewässerpflege: naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern.
Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin
- LANGENDORF, G.; SCHUSTER, E.; WAGENFÜHR, R. (1990)
Rohholz.
VEB Fachbuchverlag Leipzig

- MARGELIK, E. (1997)
Tritt- und Schnittfestigkeitsversuche an ausgewählten Kräutern in Reinsaat.
Diplomarbeit am Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie,
Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für
Bodenkultur Wien
- MENTLER, A. et al. (ohne Jahresangabe)
Landwirtschaftliche Bodenkunde.
Institut für Bodenforschung und Baugologie, Universität für Bodenkultur
Wien
- MERTENS, W. (1989)
Zur Frage hydraulischer Berechnungen naturnaher Fließgewässer.
Wasserwirtschaft Jahrg. 79, (1989) Heft 4
- MUTZ, R. (1998)
Inhomogenität des Roh- und Werkstoffs Holz.
Agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse, Band 10, Verlag Dr. Kovac
- NIEMZ, P. (1993)
Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe.
DRW-Verlag Stuttgart
- ÖNORM B 3012 (1998)
Holzarten: Benennungen, Kurzzeichen und Kennwerte.
Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- OPLATKA, M. (1998)
Stabilität von Weidenverbauungen an Flußufern.
VAW Mitteilungen Nr. 156, Zürich 1998
- PATZELT, M. (1997)
Round small diameter timber for construction.
Individual Progress Report 1997, FAIR-CT95-0091, interner Projektbericht
- PRACH, K. (1994)
*Vegetation Succession on River Gravel Bars across the Northwestern
Himalayas, India.*
Arctic and Alpine Research, vol. 26, no. 4, pp. 349-353
- RAUCH, H.-P. (2000)
*Belastung von ingenieurbiologischen Bauweisen am Beispiel der
Versuchsstrecke am Wienfluss.*
Ingenieurbiologie/Genie biologique, Nr.2
- RÖPKE, A. (1997)
MSC PATRAN: Kurzanleitung.
Institut für Maschinenkonstruktionslehre der Universität Karlsruhe (TH)
- SCHIECHTL, H.M. (1992)
*Weiden in der Praxis - die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre
Bestimmung.*

- Patzer Verlag, Berlin
- SCHIECHTL, H.M.; STERN, R. (1992)
Handbuch für naturnahen Erdbau. Eine Anleitung für ingenieurbio­logische Bauweisen
Österreichischer Agrarverlag, Wien
- SCHIECHTL, H.M.; STERN, R. (1994)
Handbuch für naturnahen Wasserbau. Eine Anleitung für ingenieurbio­logische Bauweisen
Österreichischer Agrarverlag, Wien
- SCHIEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (1992)
Lehrbuch der Bodenkunde.
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- SCHNELL, W.; GROSS, D.; HAUGER, W. (1992)
Technische Mechanik. Band 2: Elastostatik.
Springer, Berlin
- STAFFLER, H. (1999)
Die Deutsche Tamariske (Myricaria germanica). Bepflanzung und Pflege von verbauten Bachböschungen in Südtirol.
Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbio­logie e.V.
- TEISCHINGER, A.; FELLNER, J. (1997)
Heimisches Holz.
Proholz Holzinformation, Wien
- VISCHER, D.; OPLATKA, M. (1998)
Der Strömungswiderstand eines flexiblen Ufer- und Vorlandbewuchses.
Wasserwirtschaft Jahrg. 88, (1998) Heft 6 Wiesbaden
- WALTER UND LIETH (1960)
Klimadiagramm-Weltatlas.
VEB Fischer, Jena
- WEBER, P. (1999)
ABAQUS: Kurzeinführung.
Rechenzentrum der Universität Karlsruhe
- WEITZER, C.; DOPPLER, F.; FLORINETH, F. (1998)
Untersuchungen über die Wirksamkeit von Pflanzen in Einzugsgebieten des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinerverbauung.
Eigenverlag Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbio­logie, Arbeitsbereich Ingenieurbio­logie und Landschaftsbau

ANHANG

1. Das Visual Basic-Programm P-LASTIC**1.1 Data Post-Processing**

Bei den durchgeführten Biegeprüfungen wurden für alle Probestücke die Rohdaten Kraft, Weg und Zeit aufgezeichnet.

Zur weiteren Verarbeitung wurden diese einem automatischen Data-Post-Processing durch das Visual-Basic-Programm P-LASTIC unterzogen.

Dabei wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

■ 1.1.1 Glättung

Um das gerätebedingte Rauschen auszuschalten, werden die Rohdaten Weg und Kraft nach entsprechender Benutzerabfrage nach Hanning (H4253T-Transformation) geglättet. (CHATFIELD, 1982)

■ 1.1.2 Aufsuchen des linearen Bereiches

Im elastischen Verformungsbereich besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Kraft und Durchbiegung bzw. Spannung und Dehnung. Dieser wird vom Programm P-LASTIC iterativ ermittelt.

Sofern vom Benutzer keine anderen Startwerte vorgegeben werden, geht P-LASTIC von einem elastischen Bereich zwischen 10 und 40 % der maximal auftretenden Kraft aus und prüft diesen Bereich mit einer linearen Regression auf Linearität. Bis das Bestimmtheitsmaß dieser Regression den als Default vorgeschlagenen Wert von $R^2=0,999$ unterschreitet, werden die Grenzen des elastischen Bereiches iterativ verändert, bis das Abbruchkriterium erfüllt wird.

■ 1.1.3 Einlesen der Probengeometrie

Alle Probestücke waren vor der Biegeprüfung exakt vermessen worden. Diese Geometrie-Daten werden in einer gemeinsamen Datei abgelegt. P-LASTIC sucht für alle auszuwertenden Proben die zugehörigen Geometriedaten aus diesem Datenfile, um diese mitzuverarbeiten.

■ 1.1.4 Berechnungen

Aus den Datenreihen der Parameter

- Kraft [kN]
- Weg [mm]
- Zeit [ms]
- Länge [mm]
- vertikaler und horizontaler Durchmesser [mm]

jeder Probe berechnet P-LASTIC die folgenden Werte:

- untere Grenze des linearen Bereichs [-]
- obere Grenze des linearen Bereichs [-]
- Bestimmtheitsmaß R^2 der Linearität zwischen diesen Grenzen [-]

- maximale Kraft F_{\max} [kN]
- die bei maximaler Kraft gemessene Durchbiegung $f_{F_{\max}}$ [mm]
- Zeitpunkt der maximalen Kraft $t_{F_{\max}}$ [ms]
- maximale Durchbiegung f_{\max} [mm]
- die bei maximaler Durchbiegung aufgetretene Kraft $F_{f_{\max}}$ [kN]
- Zeitpunkt der maximalen Durchbiegung $t_{f_{\max}}$ [ms]
- Flächenträgheitsmoment I [mm⁴]
- Elastizitätsmodul E [kN/mm²]
- Bruchspannung σ_B [kN/mm²]
- Bruchdehnung ϵ_B [-]
- Anteil elastischer Dehnung [-]
- Anteil plastischer Dehnung [-]
- Verhältnis aus elastischer und plastischer Dehnung [-]

■ 1.1.5 Datenablage

Die so generierten Daten werden in einer gemeinsamen Tabelle abgelegt. Sie stehen damit statistischen Auswertungen zur Verfügung.

Zusätzlich werden alle berechneten Daten dem Prüfprotokoll jedes Probestückes hinzugefügt.

2. Die Programme PATRAN und ABAQUS

2.1. Pre-Processing mit Patran *aus RÖPKE, A. (1997)*

PATRAN ist ein leistungsfähiger Prä- und Postprozessor, der Interfaces zu u.a. ABAQUS, ADINA, ANSYS, MSC/NASTRAN und MSC/DYTRAN besitzt. In dieser Arbeit wird allerdings nur auf das Interface zu ABAQUS eingegangen. Die Schnittstellen zu den anderen FE-Programmen funktionieren analog.

Zur Erstellung der Geometrie des Modells wird eine CAD-ähnliche Oberfläche zur Verfügung gestellt, die erlaubt, 2-D und 3-D Modelle zu erstellen. Die zu verwendenden Elemente können anhand ihrer Eigenschaften ausgewählt werden, ohne dass explizite ABAQUS-Elemente angegeben werden müssen. Die Randbedingungen können direkt mit der Geometrie des Modells verknüpft werden, und werden von PATRAN dann automatisch in dem Finite Elemente Modell den entsprechenden Knoten zugeordnet, so dass das Netz geändert werden kann, ohne dass Randbedingungen neu definiert werden müssen. Das Netz kann vollständig automatisch generiert werden, indem die durchschnittliche Kantenlänge der Elemente vorgegeben wird, oder kann durch eine Netzsaat vielfältig beeinflusst werden.

Die verschiedenen Analysearten von ABAQUS/STANDARD können mit allen Einflussparametern ausgewählt werden. Nach der Analyse kann das Ergebnisfile in PATRAN eingelesen werden und zur Visualisierung der Ergebnisse verwendet werden, wobei es komfortablere Werkzeuge zur Verfügung stellt als ABAQUS/POST.

Eine detaillierte Aufstellung aller Menüpunkte in englischer Sprache ist unter <http://www.uni-karlsruhe.de/~PATRAN> erhältlich.

2.2. Analyse mit Abaqus aus WEBER, P. (1999)

ABAQUS ist ein Finite Elemente Programm zur Analyse von strukturmechanischen, thermischen und akustischen Problemen und besonders geeignet für geometrisch und physikalisch nichtlineare Probleme. Das Programm wurde entwickelt und wird laufend weiterentwickelt von Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., Providence, Rhode Island, USA. (HIBBITT, KARLSSON UND SORENSEN, 1995)

Materialdefinitionen

ABAQUS stellt in großem Umfang verschiedene Materialeigenschaften zur Verfügung, von denen einige kurz genannt werden:

- Materialparameter können temperaturabhängig sein. Viele Parameter können auch als Funktionen von Feldgrößen definiert werden.
- lokales Materialkoordinatensystem
- Elastizität - Plastizität, Kriechen, Volumenvergrößerung und erweitertes Mohr-Coulomb Modell
- Zugspannung oder Druckspannung ohne Übertragung
- Beton
- Permeabilität
- Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärme, latente Wärme
- Wärmeleitung und -strahlung über Zwischenräume
- Benutzerschnittstelle für eigene Materialdefinitionen

Analyseprozeduren

- statische und dynamische Spannungs- Dehnungsanalysen, linear und nichtlinear
- Eigenformen, Antwortspektren und Random Response
- Kriech- und Schwellanalyse
- Hinzufügen und Entfernen von Elementen
- Instationäre und stationäre Wärmeleitung
- Beulen
- gekoppelte Temperatur-/Verschiebungsanalyse
- gekoppelte Temperatur-/thermische Spannungsanalyse
- gekoppelte Akustik-/Strukturschwingungsanalyse
- Massendiffusion
- Wärme-Strom-Kopplung

Lasten

Jede Kraft kann über den Zeitschritt linear oder gemäß einer beliebig vorgegeben Amplitude aufgebracht werden.

Knotenbezogene Lasten:

- Einzelkräfte und -momente
- Verschiebungen, Rotationen und Beschleunigungen
- Temperatur und andere Feldgrößen

Elementbezogene Lasten:

- Gleichmäßige und ungleichmäßige Volumenkräfte, Druckverteilungen
- hydrostatische Drücke
- Zentrifugal- und Corioliskräfte
- elastische Bettungen
- Folgelasten

Zu den Lösungstechniken und weiteren Einzelheiten wird auf die Handbücher verwiesen (HIBBITT, KARLSSON UND SORENSEN, 1995).

ABAQUS/Explicit ist ein Finite-Elemente-Programm speziell für Strukturprobleme, bei denen große Verformungen und Drehungen auftreten. Die Zeitintegration erfolgt hierbei explizit, d.h. die dynamischen Gleichungen werden Zeitschritt für Zeitschritt integriert.

Nähere Informationen sind unter

<http://www.uni-karlsruhe.de/~ABAQUS/abaqus58.dok.html#Einleitung>

erhältlich.

3. Die Biegeproben

3.1. Baumarten, Geometrie, Materialkennwerte

Name	Baumart	Geometrie						elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max	SigmaB								EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	
GBAG01A	Alnus glutinosa	1500	88,4	92,5	3136667	3,33220	9,2717	10	6841,6971	153,1071	11,1493	39,2773	0,0259	0,0057	0,0201	3,5036			
GBAG02B		1050	69,2	68,6	1115867	2,1666	5,6834	10	7018,4603	75,3940	7,2477	39,3281	0,0177	0,0056	0,0121	2,1610			
GBAG03A		1200	77,4	79,9	1818610	3,0218	6,8319	10	7458,3703	103,2507	10,1672	43,2714	0,0213	0,0058	0,0155	2,6737			
GBAG04A		1050	61,3	55,5	627544	1,1390	6,2950	10	5923,2439	129,0135	3,8349	32,7780	0,0225	0,0055	0,0170	3,0632			
GBAG04B		900	52	50,4	347865	1,0980	5,5652	10	7337,7429	98,7654	3,7101	41,5944	0,0297	0,0057	0,0241	4,2475			
GBAG05A		1500	104,4	101,8	5686161	4,4387	8,6239	10	5421,6687	118,9426	14,8719	34,1318	0,0215	0,0063	0,0152	2,4167			
GBAG06A		1500	91,5	92,4	3474603	2,7969	9,4437	10	5105,3379	88,9099	9,3873	30,9007	0,0163	0,0061	0,0103	1,6979			
GBAG07A		1800	121,6	113,8	10044143	6,0326	10,3373	10	6013,4307	141,8610	20,1493	36,5908	0,0211	0,0061	0,0150	2,4641			
GBAG07B		1500	97,3	103,5	4680031	4,5697	8,5138	10	6869,2866	99,7221	15,3006	39,7633	0,0193	0,0058	0,0135	2,3393			
GBAG08A		1050	62,4	57,9	690561	0,7029	4,8677	10	4296,0107	73,2084	3,0288	23,9476	0,0191	0,0056	0,0136	2,4308			
GBAG09A		1500	89,1	88,9	3086774	2,0124	8,8127	10	4430,9403	88,6910	6,7668	24,4154	0,0136	0,0055	0,0081	1,4712			
GBAG09B		1000	65,3	69,4	948569	1,6417	5,1014	10	6020,8880	57,2972	5,6188	32,2337	0,0151	0,0054	0,0097	1,8128			
GBAG10A		1000	63,4	63,2	790596	1,9926	5,4597	10	8192,6406	70,7732	6,8068	45,4882	0,0179	0,0056	0,0124	2,2321			
GBAG11A		1500	89,9	88,3	3149268	3,9505	8,4626	10	8878,3711	106,2014	13,2710	47,3549	0,0194	0,0053	0,0141	2,6380			
GBAG11B		1200	74,8	79,5	1633209	2,9270	6,1567	10	8926,8748	84,5485	9,7943	44,8575	0,0151	0,0050	0,0101	2,0107			
GBAG12A		1200	75,5	77,9	1645691	2,9911	6,5333	10	8531,2510	97,2983	10,1701	46,6579	0,0230	0,0055	0,0175	3,1997			
GBAG12B	1000	60,7	67,3	738841	1,8157	5,0625	10	8614,8651	68,7124	6,1033	41,7853	0,0138	0,0049	0,0090	1,8487				
GBAG13A	1200	70,8	73,9	1287402	0,9804	4,6302	10	5043,7399	99,1884	4,2673	23,4680	0,0172	0,0047	0,0126	2,6977				
GBAG14A	1500	94,9	92,7	3889092	3,9670	8,0707	10	7570,1482	76,7425	13,3168	40,6189	0,0147	0,0054	0,0094	1,7433				
GBAG14B	1200	80,8	79,7	2063775	2,9642	5,4845	10	8031,0738	48,5894	10,1263	39,6462	0,0109	0,0049	0,0060	1,2127				
GBAG15A	1500	93,9	95	3860915	3,4107	7,6331	10	6931,8912	146,7150	11,5190	35,0186	0,0204	0,0051	0,0154	3,0439				
GBAG15B	1200	80,7	77,7	2004525	3,2400	6,8888	10	7195,4684	117,0083	10,9986	44,2790	0,0257	0,0062	0,0196	3,1804				
GBAG16A	1500	95,4	101,5	4325948	3,8996	8,5189	10	6338,0227	109,4446	13,1545	36,2620	0,0180	0,0057	0,0122	2,1407				

Name	Baumart	Geometrie				elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max								F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los
GBAG16B	Alnus glutinosa	1200	79,2	78,3	1909445	2,8339	7,3856	10	40	6162,6444	116,6240	9,5542	39,6288	0,0206	0,0064	0,0141	2,1998
GBAG16C		1050	67,1	65,2	966908	1,4486	6,1490	10	40	5005,4715	81,0791	4,8663	29,5615	0,0177	0,0059	0,0118	1,9905
GBAG17A		1200	80,7	82,8	2136096	1,4194	3,0371	15,5	30,5	6709,5571	88,2881	9,8294	37,1348	0,0126	0,0055	0,0071	1,2832
GBAG18A		1200	71	72,1	1266719	1,8897	6,8123	10	40	6715,4775	89,8634	6,3560	35,6202	0,0130	0,0053	0,0077	1,4549
GBAG18B		900	54,3	59,4	466827	1,2373	5,0862	10	40	6741,5351	89,9853	4,1695	36,3736	0,0186	0,0054	0,0132	2,4431
GBAG19A		1050	62,3	62,3	739473	1,4209	5,2425	10	40	7530,1457	100,7574	4,7607	35,0949	0,0163	0,0047	0,0117	2,5049
GBAG19B		900	54,6	53,9	430662	1,1933	4,4297	10	40	8092,7428	63,8507	4,0739	38,7372	0,0162	0,0048	0,0114	2,3855
GBAG20A		1350	86,9	90,3	2908821	3,0859	7,5887	10	40	6104,1663	84,0621	10,4057	34,9725	0,0128	0,0047	0,0070	1,2274
GBAG20B		1200	69,7	76,7	1274863	1,7359	6,1995	10	40	6735,6773	57,9888	5,8471	31,9677	0,0115	0,0047	0,0068	1,4264
GBAG21A		1200	76,7	80,6	1786217	2,1729	5,8082	10	40	6426,6224	55,2173	7,3199	31,4492	0,0096	0,0049	0,0047	0,9628
GBAG21B		1200	69,1	71	1149906	2,0562	7,6727	10	40	7146,9830	71,5241	6,9622	41,8371	0,0154	0,0059	0,0096	1,6324
GBAG21C		1050	60	62,9	666921	1,2761	5,7859	10	40	6793,8449	48,1151	4,3671	34,3780	0,0115	0,0051	0,0064	1,2740
GBAG22A		1050	63,6	64	808204	1,8925	5,8675	10	40	8198,8962	75,4001	6,3791	43,9241	0,0192	0,0054	0,0138	2,5832
GBAG22B		1050	60,8	60,2	664167	1,4321	4,9926	10	40	8872,7895	70,1926	4,8353	38,7385	0,0095	0,0044	0,0051	1,1707
GBAG22C		900	56	57,3	493956	1,3478	4,7402	10	40	7447,2273	44,0403	4,5973	39,0896	0,0129	0,0052	0,0077	1,4631
GBAG22D		900	50,1	49	302468	1,0084	5,7294	10	40	7528,6133	71,1274	3,4294	42,6024	0,0182	0,0057	0,0126	2,2222
GBAG23B	1200	69,8	72	1201901	2,2889	8,1409	10	40	7173,7826	68,4001	7,6649	44,5137	0,0155	0,0062	0,0093	1,4936	
GBAG24A	1200	64,6	70	926329	1,5479	6,5566	10	40	7815,5011	92,8908	5,2017	36,2751	0,0148	0,0046	0,0102	2,1939	
GBAG24B	900	58	56,5	541131	1,3013	4,0578	10	40	7666,8087	74,5103	4,4288	35,5859	0,0176	0,0046	0,0130	2,8003	
GBAG25A	1050	69,1	64,4	1043013	1,9727	6,8019	10	40	5712,6621	133,1408	4,6732	38,3824	0,0325	0,0067	0,0258	3,8392	
GBAG25B	1050	56,2	59	514080	1,2116	6,8257	10	40	7093,6524	105,3843	4,0733	38,9641	0,0196	0,0055	0,0141	2,5696	
GBAG25C	900	51,1	50	327493	0,9356	5,6337	10	40	6560,2952	79,3907	3,1748	37,1526	0,0215	0,0057	0,0158	2,7984	
GBAG26A	1200	78	77,2	1798337	2,7042	6,6755	10	40	6908,0070	117,8237	9,1100	39,5133	0,0193	0,0057	0,0136	2,3741	

Name	Baumart	Geometrie					elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max								SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	
GBAG26B	Alnus glutinosa	1050	66,6	66,1	958504	1,9558	6,2618	10	40	6694,5450	81,8978	6,5818	40,0156	0,0200	0,0060	0,0140	2,3473	
GBAG27A		1200	75,1	77,8	1617593	2,0581	6,2065	10	40	6286,6918	104,4040	6,9478	32,2566	0,0218	0,0051	0,0166	3,2444	
GBAG27B		1050	63,9	64	819695	1,3803	5,3236	10	40	6498,1734	67,1667	4,6960	32,0318	0,0143	0,0049	0,0094	1,9021	
GBAG28A		1200	72,4	71,5	1331961	1,6173	6,4490	10	40	5773,7293	101,1778	5,5274	33,0857	0,0175	0,0057	0,0118	2,0784	
GBAG28B		1050	60,5	61	663080	1,2251	6,5320	10	40	5810,9861	70,2552	4,1442	33,0857	0,0175	0,0057	0,0118	2,0784	
GBAG29A		1500	79,3	79,9	1955853	2,6757	7,9795	10	40	10268,9152	164,6500	8,9748	45,4851	0,0167	0,0044	0,0123	2,7691	
GBAG29B		1200	78	67	1560733	2,4480	6,0916	10	40	7896,1126	116,8153	8,2027	40,9942	0,0122	0,0052	0,0070	1,3525	
GBAG30B		900	59	57,1	575655	1,7203	5,1993	10	40	7436,3373	84,1779	5,8646	45,0807	0,0250	0,0061	0,0190	3,1295	
GBAG30C		900	48	52,3	283920	0,9297	6,2241	10	40	6806,5700	115,5071	3,1576	40,0395	0,0217	0,0059	0,0158	2,6811	
GBAG31A		1950	124,4	122,3	11557330	6,2894	10,7997	10	40	6630,7858	113,7619	21,0478	36,6149	0,0111	0,0056	0,0056	1,0020	
GBAG31B		1650	99,4	98,4	4743776	4,0033	9,3504	10	40	7195,0728	146,5068	13,4953	38,8819	0,0219	0,0054	0,0165	3,0472	
GBAG32A		1500	93,8	95,6	3872900	3,2725	8,3502	10	40	6061,0592	136,9650	10,9474	33,1427	0,0194	0,0055	0,0139	2,5463	
GBAG32B		1350	78,6	82,2	1959338	2,1771	7,6230	10	40	6364,4487	117,3346	7,3391	33,1215	0,0219	0,0052	0,0167	3,2030	
GBAG33A		1050	68	67,1	1035665	2,0533	5,3632	10	40	7594,5751	99,7445	6,9377	39,8577	0,0158	0,0052	0,0106	2,0172	
GBAG33B		900	54,1	56,2	436815	1,5593	5,5023	10	40	8393,1006	97,4847	5,2899	49,1367	0,0225	0,0059	0,0166	2,8364	
GBAG34A	1050	63,2	61,8	765790	1,3407	6,4264	10	40	5596,6267	86,7061	4,5430	32,8066	0,0207	0,0059	0,0148	2,5230		
GBAG35A	1200	75,3	76,4	1643126	1,9406	6,2859	10	40	5761,9884	90,4938	6,5924	30,2114	0,0141	0,0052	0,0089	1,6886		
GBAG35B	1050	61,7	63,9	736760	1,4438	5,5150	10	40	7299,8215	100,9715	4,8405	35,4697	0,0205	0,0049	0,0156	3,2151		
GBAG35C	900	51,1	53,2	348453	0,9855	5,5322	10	40	6614,0070	63,2280	3,3204	36,5195	0,0182	0,0055	0,0127	2,2957		
GBAG36A	1500	83	85,8	2408194	2,7435	9,7096	10	40	7027,5335	95,8995	9,2359	39,7903	0,0140	0,0057	0,0083	1,4689		
GBAG36B	1050	70,5	69,2	1190264	2,3674	5,8771	10	40	6952,9151	45,1693	8,0060	41,4925	0,0128	0,0060	0,0069	1,1503		
GBAG36C	900	57,4	58,9	546790	1,2375	5,0573	10	40	5799,6773	56,0563	4,1740	32,8628	0,0171	0,0057	0,0115	2,0193		
GBAG37A	1350	75,6	80,6	1709505	1,9324	9,0420	10	40	5458,6608	154,3199	6,4979	32,3278	0,0229	0,0059	0,0169	2,8594		

Name	Baumart	Geometrie					elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max								SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	KN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	KN	N/mm ²	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	
GBAG38A	Fraxinus excelsior	1200	69,3	72,3	1181158	1,7174	7,7091	10	40	5783,7866	139,9601	5,8125	34,1025	0,0232	0,0059	0,0173	2,9396	
GBAG38B		900	57,3	58	535626	0,9144	3,6611	10	35,5	6032,8713	69,2636	3,6423	29,2232	0,0169	0,0048	0,0121	2,4939	
GBAG39A		1800	100,5	114,2	5690287	4,0629	10,6765	10	40	6921,6739	106,5695	13,5957	36,0185	0,0137	0,0052	0,0085	1,6360	
GBAG39B		1500	86,8	93,7	3007937	3,1770	9,1828	10	40	6889,2706	88,6049	10,6319	38,3505	0,0128	0,0056	0,0072	1,2982	
GBAG39C		1200	68,5	73,2	1154922	2,0838	7,5415	10	40	7336,8884	89,0429	6,9964	41,4967	0,0173	0,0057	0,0116	2,0579	
GBAG40A		1350	78,6	83	1978407	2,3408	7,6653	10	40	6739,7833	128,2416	7,8693	35,1717	0,0204	0,0052	0,0152	2,9095	
GBAG40B		1200	73,2	67,1	1291890	2,1050	7,3210	10	40	6825,2290	63,9149	7,1479	40,5011	0,0145	0,0059	0,0085	1,4394	
GBAG40C		900	57,1	60	548314	0,8642	3,2580	15,5	30,5	6258,9122	72,1468	5,9333	46,3405	0,0231	0,0074	0,0157	2,1180	
GBAG41A		1350	78,3	87,5	2061879	2,8300	8,5262	10	40	7028,9367	151,8987	9,4753	40,4801	0,0225	0,0058	0,0167	2,9077	
GBAG41B		1200	66,7	68,3	994874	1,8658	7,1942	10	40	7994,2223	108,1793	6,3372	42,4870	0,0189	0,0053	0,0136	2,5542	
GBAG42A		1650	97	104,5	4681676	3,9244	9,7546	10	40	6850,7606	103,7584	13,1760	37,5368	0,0163	0,0055	0,0108	1,9799	
GBAG42B		1350	82,7	84,5	2346082	3,2152	6,9622	10	40	8594,9676	70,6521	10,8895	43,1839	0,0121	0,0050	0,0070	1,4009	
GBAG42C		1200	71,8	76,2	1384517	2,2772	7,7285	10	40	6526,3469	72,2223	7,6752	39,8028	0,0142	0,0061	0,0081	1,3255	
GBFE02A		Alnus glutinosa	1200	78,3	83,9	1977048	3,5557	5,3578	10	40	10294,0627	102,0774	11,9755	47,4285	0,0195	0,0046	0,0149	3,2260
GBFE02B			1200	67,3	72	1077327	2,2630	5,5676	10	40	11570,0538	121,5088	7,5899	47,4135	0,0181	0,0041	0,0140	3,4270
GBFE03A			900	57,4	62,4	579282	1,5350	3,1128	10	32	11013,2253	113,4068	7,1392	53,0555	0,0310	0,0048	0,0262	5,4396
GBFE03B	900		52	53,8	371332	1,5423	5,3667	10	40	10012,8874	102,7484	5,2063	54,6799	0,0270	0,0055	0,0215	3,9449	
GBFE04A	1500		92,8	93,5	3667967	4,8898	9,0711	10	40	8802,3602	133,4471	16,3919	51,8397	0,0256	0,0059	0,0177	3,0072	
GBFE04B	1350		79,4	77,3	1899376	3,4239	8,1657	10	40	9639,3341	95,2797	11,5032	54,0979	0,0174	0,0056	0,0118	2,1076	
GBFE05A	900		57,4	56,6	525439	1,9272	4,4574	10	40	10645,6864	116,3236	6,5120	53,3538	0,0343	0,0050	0,0293	5,8363	
GBFE05B	900		50,1	59,2	365430	1,1784	4,5613	10	40	9146,3670	88,1966	3,9617	40,7357	0,0251	0,0045	0,0207	4,6397	
GBFE06A	1200		70	68,9	1160067	2,1868	6,0359	10	35,5	9577,3423	129,4442	8,7608	52,8635	0,0255	0,0055	0,0180	3,2617	
GBFE06B	900		55,9	51,8	444156	1,8312	4,7694	10	40	11183,4822	75,3233	6,2052	58,5721	0,0207	0,0052	0,0155	2,9576	

Name	Baumart	Geometrie					elastischer Bereich					max. Durchbiegung		max. Kraft		max. Spannung		max. Dehnung		elast. Dehnung		plast. Dehnung		Verh. elast./plast.	
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast									
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los								
GBFE07A	Fraxinus excelsior	1350	85	83,4	2514159	3,7716	7,4592	10	40	8781,4688	156,4702	12,7382	48,4493	0,0249	0,0055	0,0194	3,5098								
GBFE07B		1200	69,8	72,1	1203570	2,7279	7,2037	10	40	9648,8569	138,5271	9,2586	53,6942	0,0257	0,0066	0,0201	3,6129								
GBFE08A		1200	69,9	67,8	1136661	2,5458	6,4711	10	40	10614,2320	136,9898	8,5129	52,3509	0,0243	0,0049	0,0164	3,3162								
GBFE08B		1050	58,7	60,5	600675	2,2215	6,9866	10	40	10875,2106	100,8814	7,4536	63,7339	0,0245	0,0059	0,0186	3,1803								
GBFE09A		1050	59,9	61,3	646712	2,2805	5,5676	10	40	13011,6695	135,6724	7,7239	62,5984	0,0227	0,0048	0,0179	3,7279								
GBFE09B		900	57,1	56,7	509018	2,6889	5,4119	10	40	12628,2880	105,8942	9,0751	76,3513	0,0285	0,0060	0,0224	3,7131								
GBFE09C		900	51,9	50,5	346548	1,3854	4,6763	10	40	11060,4994	91,2189	4,7623	53,4916	0,0216	0,0048	0,0168	3,4747								
GBFE10A		1200	76,2	79,5	1726641	3,6780	6,6361	10	40	9843,9397	145,9772	12,4515	54,9509	0,0296	0,0066	0,0240	4,2969								
GBFE10B		1050	65,4	63,5	871920	3,0694	5,5964	10	40	12922,8976	105,7716	10,4006	68,2601	0,0227	0,0053	0,0174	3,2915								
GBFE10C		900	58	60,2	576568	2,3201	5,0057	10	40	10400,2359	70,0609	7,7912	58,7820	0,0221	0,0057	0,0164	2,9077								
GBFE11A		1650	111	105,3	7069150	7,1245	8,4680	10	40	9488,1995	126,6025	24,0418	51,9070	0,0236	0,0055	0,0181	3,3089								
GBFE11B		1500	92,2	88,1	3389523	5,6375	9,3285	10	40	10679,1360	165,4229	18,8718	64,1674	0,0254	0,0060	0,0194	3,2312								
GBFE11C		1200	76,5	76,5	1681186	1,6714	4,1713	15,5	30,5	7308,8927	56,0431	11,3808	51,7865	0,0114	0,0071	0,0043	0,6039								
GBFE12A		1200	77,3	74,9	1696205	4,2102	5,8325	10	40	13035,4469	136,5358	14,0945	64,1564	0,0260	0,0049	0,0210	4,2756								
GBFE12B		1050	68,2	63,5	988773	3,2519	6,1404	10	40	11003,6229	131,3976	10,9295	65,9621	0,0211	0,0060	0,0151	2,5150								
GBFE13A	1350	78,9	82,2	1981859	3,5403	6,5949	10	40	11827,1313	134,9576	11,9023	53,3076	0,0265	0,0045	0,0220	4,8714									
GBFE13B	1200	74,7	71,5	1462978	3,5868	6,2197	10	40	12088,2170	128,8343	12,0687	61,6232	0,0240	0,0051	0,0189	3,7077									
GBFE13C	1050	59,9	65	685747	2,3603	6,4755	10	40	10919,9340	87,2826	7,8818	60,2419	0,0186	0,0055	0,0131	2,3683									
GBFE14A	1200	77,3	72,9	1652859	3,6196	6,7205	10	40	9992,8377	134,5977	12,1995	57,0539	0,0278	0,0067	0,0221	3,8653									
GBFE14B	1050	64,2	61	792328	2,7850	6,8681	10	40	10514,1957	115,2760	9,4074	66,6973	0,0252	0,0063	0,0189	2,9747									
GBFE15A	1350	84,6	86,8	2579887	4,2077	6,5410	10	40	10887,3386	134,0630	14,1758	52,2960	0,0262	0,0048	0,0214	4,4585									
GBFE15B	1200	72,8	71,6	1366054	3,2886	6,5316	10	40	11386,4078	92,1886	11,0954	59,5657	0,0209	0,0062	0,0156	2,9916									
GBFE15C	1050	57,4	59,6	553289	1,9623	6,9896	10	40	10424,1909	98,7142	6,5575	59,5260	0,0237	0,0067	0,0179	3,1429									

Name	Baumart	Geometrie					elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max								SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim/los	dim/los	dim/los	dim/los	dim/los	
GBFE15D	Fraxinus excelsior	750	42,9	46,5	180217	1,1273	4,1512	10	40	11281,6778	74,1765	3,8204	56,8402	0,0221	0,0050	0,0170	3,3841	
GBFE16A		1500	92,3	93,4	3605138	4,3730	8,3596	10	40	8690,8784	125,5649	14,7171	47,0989	0,0239	0,0054	0,0185	3,4072	
GBFE16B		1200	71,6	75,3	1356763	3,4958	7,2606	10	40	10882,6291	147,9341	11,8295	62,4274	0,0228	0,0057	0,0171	2,9782	
GBFE16C		1200	65,8	70	978916	2,4198	9,0338	10	40	8391,2827	144,7359	8,1124	54,5291	0,0260	0,0065	0,0195	2,9989	
GBFE17B		1200	78,9	78,5	1892651	4,1377	6,9477	10	40	9649,6919	92,3138	13,9720	58,2457	0,0221	0,0060	0,0161	2,6689	
GBFE17C		1200	67,1	70	1038091	2,2178	7,0478	10	40	9296,2890	79,2511	7,4190	47,9546	0,0137	0,0052	0,0085	1,6464	
GBFE17D		900	55,2	52,2	430981	1,6156	5,5456	10	40	8745,5419	67,3879	5,4727	52,5704	0,0169	0,0060	0,0109	1,8066	
GBFE18A		1350	79,7	81,2	2017906	3,6102	7,1700	10	40	10895,2236	160,7585	12,1558	54,0123	0,0296	0,0050	0,0247	4,9784	
GBFE18B		1050	58,2	60,2	582553	0,9313	3,4143	15,5	30,5	9618,7147	112,4471	6,4484	56,3700	0,0217	0,0059	0,0158	2,6964	
GBFE19A		900	55,1	57,1	468879	1,7572	4,6790	10	40	10362,1460	104,9165	5,9985	52,8680	0,0303	0,0051	0,0252	4,9441	
GBFE19B		750	45,5	45,7	211310	1,2988	4,3715	10	40	10526,5154	89,9284	4,3758	58,8880	0,0263	0,0056	0,0207	3,6950	
GBFE20B		1050	65,9	67,8	952480	3,7174	6,5060	10	40	12324,1869	65,8316	12,4851	75,5839	0,0181	0,0061	0,0120	1,9551	
GBFE21A		1200	73,3	73,9	1428651	3,1109	6,5056	10	40	10264,4288	130,1673	10,4636	53,6855	0,0216	0,0052	0,0164	3,1389	
GBFE21B		900	56	54	485509	2,0709	5,2606	10	40	10940,6658	73,8127	6,9882	63,0053	0,0217	0,0058	0,0159	2,7631	
GBFE22A		1650	103,3	104,3	5643586	5,9028	10,4778	10	40	7958,0484	162,4453	19,7013	49,5842	0,0245	0,0062	0,0182	2,9279	
GBFE22B		1350	88,1	85,4	2866523	5,5244	9,7099	10	40	8666,3683	123,8301	18,5526	64,1471	0,0264	0,0074	0,0190	2,5717	
GBFE22C		1050	55,9	58,5	501604	1,5709	6,7351	10	33	9553,0853	110,0040	6,9624	67,8919	0,0241	0,0071	0,0169	2,3842	
GBFE23A		1200	70,6	73,9	1276522	2,5641	6,9652	10	40	8843,8684	139,6042	8,5776	47,4397	0,0265	0,0054	0,0211	3,9381	
GBFE23B		900	55	53	432846	2,0497	6,0569	10	40	10114,7202	104,4482	6,9308	66,0502	0,0253	0,0065	0,0188	2,8784	
GBFE23C		750	47,5	46,3	243574	0,9514	2,7682	10,5	30,5	10564,1229	55,1993	4,8790	59,4662	0,0202	0,0053	0,0151	2,6890	
GBFE24A		1200	69,2	66,2	1076828	2,3325	6,9609	10	40	9542,9452	153,9460	7,9082	50,8205	0,0228	0,0063	0,0178	3,3513	
GBFE24B		900	55	57,5	469598	2,0142	4,7756	10	40	11619,5997	64,1214	6,8670	60,3208	0,0169	0,0052	0,0117	2,2571	
GBFE24C		750	48,5	48,6	272164	1,1527	3,1643	10	31,5	10021,3345	122,6332	5,5080	61,3457	0,0213	0,0061	0,0152	2,4857	

Name	Baumart	Geometrie						elastischer Bereich					max. Durchbiegung		max. Kraft		max. Spannung		max. Dehnung		elast. Dehnung		plast. Dehnung		Verh. elast./plast.	
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast										
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los									
Fraxinus excelsior																										
GBFE25A		1500	95	92,2	3880357	5,9476	9,3146	10	40	9856,0481	181,1483	19,8649	60,7922	0,0276	0,0062	0,0215	3,4806									
GBFE25B		1200	71,5	73	1309818	3,6742	9,1616	10	40	9389,5295	154,2222	12,4248	67,8241	0,0320	0,0072	0,0247	3,4259									
GBFE26A		1350	84,9	81,3	2442213	3,4653	7,7149	10	40	8030,6651	163,9224	11,6137	45,4199	0,0283	0,0057	0,0227	4,0112									
GBFE26B		1050	59,9	60,2	635107	2,0381	6,4833	10	40	10168,9695	79,0339	6,8289	56,3561	0,0194	0,0055	0,0139	2,5089									
GBFE27A		1200	70,8	67,6	1177650	1,9922	7,3793	10	40	7030,1575	138,3479	6,7144	40,3670	0,0282	0,0057	0,0225	3,9154									
GBFE27B		900	56,9	57,9	523583	1,8321	5,4867	10	40	8250,6799	122,6693	6,2356	50,8254	0,0353	0,0062	0,0291	4,7261									
GBFE28A		1350	80,2	76,7	1942175	4,1576	7,8283	10	40	11940,1120	157,0425	14,0002	65,0389	0,0227	0,0054	0,0173	3,1682									
GBFE28B		1050	63,9	69	883734	2,8166	5,6406	10	40	11608,3581	99,1427	9,4147	59,5653	0,0211	0,0051	0,0159	3,1030									
GBFE28C		1050	62	58,9	689065	2,3097	7,0697	10	40	9740,5016	91,5537	7,7398	60,9357	0,0231	0,0063	0,0169	2,6981									
GBFE29B		1500	92,1	95,2	3650781	5,7415	8,3116	10	40	11333,1612	150,8175	19,3433	60,9979	0,0236	0,0054	0,0182	3,3799									
GBFE29C1		750	46	48,9	233643	1,6983	4,9342	10	40	11029,5801	49,1577	5,7452	70,6948	0,0178	0,0064	0,0114	1,7818									
GBFE29C2		1050	57	65,2	592710	1,8350	5,9262	10	40	10732,6422	92,9606	6,1777	51,9837	0,0142	0,0048	0,0094	1,9390									
GBFE30A		1350	83,2	85,7	2422817	3,6310	6,3794	10	40	10257,7173	121,8670	12,2655	47,3851	0,0200	0,0046	0,0154	3,3265									
GBFE30B		1200	77,7	76,9	1770758	3,9039	6,3367	10	40	10669,3894	113,8562	13,1697	57,7878	0,0265	0,0054	0,0211	3,8981									
GBFE30C		1200	66,7	67,8	987591	2,2840	7,4509	10	40	9518,5431	172,2715	7,7068	52,0503	0,0220	0,0055	0,0165	3,0202									
GBFE31A		1800	116,5	119,1	9243989	9,6760	9,9636	10	40	10873,3113	137,5372	32,5352	61,5052	0,0204	0,0057	0,0147	2,6065									
GBFE31B		1650	105	106,9	6074569	8,8786	9,6932	10	40	12020,9116	112,9908	29,7805	70,7797	0,0197	0,0059	0,0138	2,3510									
GBFE31C1		900	55	56,8	463881	2,3647	6,6773	10	40	9876,9191	84,7741	7,9090	70,3298	0,0280	0,0071	0,0188	2,6465									
GBFE31C2		1050	61,6	62,5	717120	1,8142	4,9246	10,5	30,5	10553,7416	77,7652	9,1856	69,0408	0,0190	0,0065	0,0125	1,9086									
GBFE32A		1800	104,2	116,6	6475475	5,7325	10,1574	10	40	9020,4980	164,1616	19,3014	46,5883	0,0176	0,0052	0,0124	2,4035									
GBFE32B		1500	89	95,2	3294404	5,9411	9,8080	10	40	11013,0184	91,1906	19,8669	67,0892	0,0164	0,0061	0,0103	1,6869									
GBFE33B		1200	76,8	78,9	1754408	4,1272	7,2394	10	40	9966,1108	62,3094	13,8288	60,5360	0,0149	0,0061	0,0089	1,4591									
GBFE33D		900	56,5	57,8	511733	2,5954	6,1022	10	40	10752,9812	81,2230	8,8277	73,0991	0,0218	0,0068	0,0150	2,1995									

Name	Baumart	Geometrie				elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max								F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	KN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	KN	N/mm ²	dim/los	dim/los	dim/los	dim/los	dim/los
GBFE34A	Fraxinus exc.	1200	66	68,9	972346	2,5330	7,1366	10	40	11194,2965	117,3923	8,5769	58,2173	0,0192	0,0052	0,0140	2,7006
GBFE34B		900	56,3	57,3	501938	2,4211	5,3199	10	40	11730,2142	107,1025	8,1433	68,5045	0,0240	0,0058	0,0182	3,1123
GBFE34C		900	50	52	319068	1,4710	7,1135	10	40	8384,6684	84,6977	4,9499	58,1765	0,0221	0,0069	0,0152	2,1909
GBFE35A		1200	67,3	69,3	1036927	1,7311	11,2011	15,5	30,5	4570,6312	139,8541	11,6409	75,5531	0,0303	0,0165	0,0138	0,8352
GBFE35B		900	55,9	58,2	499032	2,0154	5,6260	10	40	9287,1134	99,6593	6,8183	57,2827	0,0210	0,0062	0,0148	2,4033
GBFE35C		1050	64,3	63,2	824745	2,7689	6,0565	10	40	11388,0334	62,0292	9,3931	64,0776	0,0156	0,0066	0,0100	1,7796
DOSA01a		1500	84,4	90,3	2664925	3,1885	11,0037	10	40	6512,6578	136,3474	10,6542	42,1781	0,0214	0,0065	0,0149	2,3068
DOSA01b		1050	69,3	71	1159920	3,2947	8,2206	10	47,5	7088,5790	71,3636	8,8689	46,3644	0,0199	0,0065	0,0134	2,0507
DOSA01c		900	61,4	62,4	709022	2,2342	5,6484	10	40	7217,3519	91,5889	7,5872	49,2779	0,0239	0,0068	0,0171	2,5013
DOSA02a		1650	100,4	103,7	5151691	4,6411	15,9455	10	50	4504,1007	102,1172	11,6827	31,3062	0,0163	0,0070	0,0093	1,3389
DOSA02c	900	59,4	56,4	580241	1,9730	8,1001	10	49,4	5430,9296	60,0638	5,0402	38,6976	0,0190	0,0071	0,0118	1,6603	
DOSA03a	1500	94,4	92,4	3815556	4,6773	14,2762	10	47,5	5143,0883	101,2950	12,5151	38,7041	0,0121	0,0075	0,0046	0,6085	
DOSA03b	1350	79,8	84,4	2105334	2,7414	7,8638	10	40	7230,0425	75,0419	9,1800	39,1453	0,0131	0,0054	0,0076	1,4127	
DOSA03c	1200	74,5	71,6	1453288	2,5111	7,6787	10	40	6900,6395	90,5852	8,3901	43,0103	0,0179	0,0062	0,0117	1,8702	
DOSA03d	900	58,9	59,2	593796	1,8447	5,8254	10	40	6899,4076	79,5250	6,2333	46,4092	0,0247	0,0067	0,0180	2,6725	
DOSA04a	1500	91,8	89,6	3402561	2,5397	8,2338	10	40	5429,7094	124,0496	8,5661	28,8888	0,0094	0,0053	0,0040	0,7599	
DOSA04b	1200	78,5	74,1	1759532	3,2653	10,0596	10	47,5	5657,3816	146,7171	8,7732	39,1409	0,0140	0,0069	0,0071	1,0230	
DOSA04c	1050	64	66,2	851859	2,1123	7,1892	10	40	7085,9972	119,8617	7,1391	46,9313	0,0193	0,0066	0,0126	1,9088	
DOSA05a	1350	77,1	82	1844790	2,6559	9,3193	10	40	6745,4480	110,6939	8,8912	41,8041	0,0140	0,0062	0,0078	1,2660	
DOSA05b	1050	68,9	70,6	1133528	2,5708	6,5304	10	40	7134,8949	79,5152	8,7046	46,2958	0,0187	0,0065	0,0122	1,8809	
DOSA05c	900	55,1	60,2	494335	2,6029	9,4575	10	30	7202,9880	153,6550	13,0785	109,3324	0,0486	0,0152	0,0334	2,1986	
DOSA06a	1500	77,7	83,7	1927340	1,9548	11,0804	10	40	5482,5914	104,9669	6,5370	32,9420	0,0164	0,0060	0,0104	1,7260	
DOSA06b	1200	71	67	1177117	2,6266	9,8996	10	50	6912,3255	99,9624	6,6442	40,0759	0,0123	0,0058	0,0065	1,1241	
	Salix alba																

Name	Baumart	Geometrie					elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max								SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	
DOSA06c	Salix alba	900	58,9	59,4	595802	1,5623	5,6194	10	40	6037,1744	60,3019	5,2357	38,8193	0,0185	0,0064	0,0100	1,5628	
DOSA07a		1950	124,4	127	12001479	7,3758	15,1473	10	50	5339,1160	88,0507	18,5733	31,2845	0,0128	0,0059	0,0070	1,1908	
DOSA07b1		1650	99,4	103	4965538	3,9240	11,8471	10	40	5317,6731	105,4811	13,2582	36,4927	0,0173	0,0069	0,0104	1,5219	
DOSA07b2		900	53,4	53,7	401391	1,3276	9,1135	10	50	4695,3395	117,8102	3,3864	33,5895	0,0323	0,0072	0,0251	3,5150	
DOSA07c1		750	48,2	46,9	257801	0,9903	4,3784	10	40	6568,4393	69,7358	3,3828	39,5294	0,0214	0,0060	0,0154	2,5507	
DOSA07c2		750	46,2	45,6	220730	0,8345	5,6410	10	40	5018,0509	65,1063	2,8253	36,9593	0,0206	0,0074	0,0132	1,7990	
DOSA08a		1800	107,2	110,7	6694249	3,5805	10,4477	10	40	5298,5979	121,7805	12,1520	29,1898	0,0106	0,0055	0,0050	0,9156	
DOSA08b		1500	95	88,3	3716220	2,3957	10,6453	10	40	3627,1319	134,4914	8,0716	25,7925	0,0249	0,0071	0,0178	2,4977	
DOSA08c		1050	65,1	69,6	942588	2,2518	9,7570	10	48,8	5030,0556	98,0479	5,8823	35,5482	0,0253	0,0071	0,0183	2,5828	
DOSA09a		1950	127,5	125,9	12809323	5,5534	13,4737	10	40	4234,2168	172,9440	18,6409	30,1512	0,0187	0,0071	0,0115	1,6191	
DOSA09b		1500	93,2	97,4	3870585	2,1378	73,1010	10	30	452,5476	77,5882	10,7922	32,4833	0,0138	0,0718	-0,0580	-0,8081	
DOSA09c		1050	66	64,6	911663	1,6626	6,9188	10	40	5415,3544	83,3374	5,5914	35,4195	0,0129	0,0065	0,0064	0,9713	
DOSA10b			1050	65,6	69,1	957546	2,0928	6,8531	10	40	6551,8875	87,5029	7,0136	42,0428	0,0210	0,0064	0,0146	2,2769
DOSA10c		1050	59,6	62	644318	1,2891	6,0706	10	40	6770,7646	130,0039	4,3336	35,0752	0,0144	0,0052	0,0092	1,7825	
DOSA10d		900	56,3	55,5	486170	1,0509	5,9723	10	40	4682,5331	104,4570	3,5369	30,7192	0,0150	0,0066	0,0084	1,2820	
DOSA11a		1500	83,3	91,4	2593290	2,7810	9,6317	10	40	6668,8392	121,0573	9,3708	37,6253	0,0185	0,0056	0,0109	1,9284	
DOSA11b2		1200	77	74,8	1676269	3,7809	9,3416	10	47,5	7404,5074	88,1128	10,1186	46,4801	0,0181	0,0063	0,0118	1,8769	
DOSA11c		1050	68	66,3	1023317	2,8722	8,0141	10	47,5	7195,0230	68,5352	7,7412	45,0104	0,0186	0,0063	0,0104	1,6582	
DOSA12a		1800	105	110,8	6296186	3,7497	8,6578	10	40	7119,6226	124,0007	12,5527	31,4006	0,0123	0,0044	0,0079	1,7951	
DOSA12b		1500	90	97	3471116	3,4765	9,8683	10	40	6078,8834	120,4432	11,7002	37,9207	0,0202	0,0062	0,0139	2,2326	
DOSA12c		1350	78,4	81,6	1930226	3,3113	11,7990	10	50	6348,3985	70,2835	8,3365	38,1020	0,0135	0,0060	0,0075	1,2447	
DOSA13a		1350	80,4	82,4	2102158	2,4988	9,0793	10	40	5716,6986	138,8513	8,4239	36,2457	0,0152	0,0063	0,0088	1,3938	

Name	Baumart	Geometrie				elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.	
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max								F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	KN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	KN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	
DOSA13b	Salix alba	1050	66,3	68,3	977082	2,3694	7,1379	10	6979,5093	103,5874	7,9902	47,4402	0,0178	0,0068	0,0110	1,6208		
DOSA13c		1050	61,9	64,1	746277	1,6766	6,6743	10	6915,2952	83,7173	5,7190	41,5067	0,0145	0,0060	0,0085	1,4105		
DOSA13d		900	55,9	56,6	485313	1,4510	5,7546	10	6721,7589	63,9615	4,8877	42,2236	0,0172	0,0063	0,0109	1,7424		
DOSA13e		750	46,3	46,2	225089	1,0260	6,2486	10	5461,4550	84,8968	3,4661	44,5599	0,0239	0,0082	0,0158	1,9333		
DOSA14a		1800	97	111,5	4995282	3,7796	11,6699	10	6710,5877	165,4181	12,6738	36,9156	0,0157	0,0056	0,0102	1,8566		
DOSA14b		1500	87,5	91	2992509	3,0091	8,5905	10	7011,0992	118,6018	10,0638	36,7828	0,0165	0,0052	0,0112	2,1379		
DOSA14c		1350	80	80,5	2023186	2,4057	8,5313	10	6085,7046	64,7552	8,1492	36,2512	0,0124	0,0060	0,0065	1,0859		
DOSA14d		1050	70,8	68	1184619	2,3777	7,2842	10	5660,8767	69,7185	7,9976	41,8236	0,0192	0,0074	0,0118	1,5991		
DOSA14e		900	52,7	57,4	412395	0,9006	2,7155	10	30	10404,6892	58,7804	4,6628	44,6891	0,0156	0,0043	0,0113	2,6351	
DOSA15a		1800	109	115,5	7342287	6,7074	14,1158	10	6698,1943	101,9884	16,9378	37,7175	0,0134	0,0056	0,0078	1,3802		
DOSA15b		1500	94	94,9	3869187	5,4984	12,6455	10	6730,9846	91,4122	13,8963	42,2004	0,0164	0,0063	0,0101	1,6142		
DOSA15c		1200	71,3	74,5	1325546	3,3612	10,7315	10	50	7246,1286	68,9337	8,4775	45,5997	0,0141	0,0063	0,0078	1,2396	
DOSA16a		1500	91,6	86,8	3274734	3,3454	8,6165	10	40	7101,2440	145,1768	11,2904	39,4764	0,0138	0,0056	0,0082	1,4837	
DOSA16b		1200	77	78	1747981	2,9967	7,4452	10	40	7061,5924	61,9594	10,1326	44,6350	0,0136	0,0063	0,0073	1,1583	
DOSA16c		1050	65,4	68,5	940576	2,1912	7,5772	10	40	6316,4048	83,6061	7,3085	44,4652	0,0183	0,0070	0,0112	1,5974	
DOSA16d		900	56,8	54,9	493841	1,4993	5,6898	10	40	6903,2056	67,9592	5,0577	43,6292	0,0156	0,0063	0,0093	1,4716	
DOSA17a	1350	84,6	83,5	2481804	2,5326	8,7631	10	40	5084,6628	134,1024	8,5729	32,8762	0,0276	0,0066	0,0211	3,2611		
DOSA17b	1200	68,2	73	1136700	1,8184	8,0709	10	40	6078,4368	98,8765	6,2008	37,2036	0,0199	0,0061	0,0138	2,2471		
DOSA17c	1050	62,3	60,1	713360	1,2759	7,0159	10	40	5237,5355	67,3852	4,3578	33,3010	0,0159	0,0064	0,0095	1,5006		
DOSA17d	900	52,4	51,6	364429	1,2901	7,2635	10	49,4	6305,4231	74,7638	3,3297	35,9074	0,0194	0,0057	0,0137	2,4114		
GBSC01a	cap	1350	82,7	79,5	2207260	2,5832	7,4653	10	40	6845,1866	189,1216	8,6666	36,5260	0,0268	0,0053	0,0215	4,0277	
GBSC01b		1200	67,9	72,7	1117156	2,4837	6,6684	10	45	10224,3863	153,0075	7,2078	43,8088	0,0194	0,0043	0,0152	3,5368	
GBSC01c		900	57,5	54,2	505793	1,6695	6,0779	10	40	7025,9291	128,6649	5,6429	48,1130	0,0343	0,0068	0,0274	4,0075	

Name	Baumart	Geometrie					elastischer Bereich					max. Durchbiegung		max. Kraft		max. Spannung		max. Dehnung		elast. Dehnung		plast. Dehnung		Verh. elast./plast.	
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast									
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los								
GBSC02a	Salix caprea	1200	68,4	72,4	1137305	2,3481	8,5787	10	40	7380,4320	176,4939	7,9344	47,7192	0,0282	0,0065	0,0218	3,3642								
GBSC02b		900	53,9	56,3	432757	1,2678	7,6237	10	40	4971,7224	117,0349	4,2719	39,9049	0,0301	0,0080	0,0221	2,7528								
GBSC03a		1800	115	116,6	8704864	6,6238	10,6794	10	40	7374,5688	196,7588	22,2884	44,1678	0,0199	0,0060	0,0139	2,3175								
GBSC03b		1500	92	92,4	3531875	5,3909	9,0023	10	40	10155,4628	105,6424	18,2144	59,3071	0,0158	0,0058	0,0100	1,7090								
GBSC03c		750	49,4	49,6	293516	1,6707	4,7244	10	40	9020,3327	92,9193	5,6958	59,9141	0,0219	0,0066	0,0153	2,2990								
GBSC04a		900	59,1	56,2	569467	2,2391	6,0126	10	40	8460,3991	94,3543	7,5866	59,0512	0,0229	0,0070	0,0159	2,2744								
GBSC04b		750	47,5	46,9	246731	1,1806	4,1582	10	40	8615,2430	66,3926	4,0979	49,3071	0,0216	0,0057	0,0159	2,7766								
GBSC05a		1200	73,2	78,7	1515228	2,6785	6,9326	10	40	7819,5688	126,3108	9,0516	43,7279	0,0249	0,0066	0,0193	3,4652								
GBSC05b		1050	62,2	63,1	745367	2,2216	7,0275	10	40	8713,3033	132,1104	7,5772	55,3272	0,0285	0,0063	0,0222	3,4884								
GBSC06a		1200	74	80	1591311	2,9974	8,7290	10	40	6617,3845	157,1629	10,1202	47,0616	0,0292	0,0071	0,0221	3,1031								
GBSC06b	1050	64,9	67,9	911116	3,1318	9,6954	10	40	7283,5289	144,4533	8,1614	50,8679	0,0382	0,0070	0,0312	4,4718									
GBSC06c	900	60,5	55,8	606555	1,9848	5,4891	10	40	7712,6152	127,9400	6,7493	50,4900	0,0202	0,0065	0,0137	2,0910									
GBSC06d	750	50,6	49,5	314794	1,3509	5,0980	10	40	6302,5372	85,0399	4,5186	45,3946	0,0325	0,0072	0,0253	3,5117									
GBSC07a	1350	83,6	82,6	2369020	4,7561	11,3012	10	40	7756,7759	156,3196	12,4125	49,2776	0,0177	0,0064	0,0113	1,7842									
GBSC07b	1200	71,8	71,2	1293669	2,3028	6,6408	10	40	8220,1236	98,3541	7,7815	43,1879	0,0115	0,0053	0,0063	1,1964									
GHAPS01a	Acer pseudopl.	1050	69,4	72,2	1184638	3,2914	7,1344	10	40	8000,8459	130,3912	11,0443	56,6134	0,0299	0,0071	0,0229	3,2293								
GHAPS01b		1050	60	59,2	627690	2,5197	8,0566	10	40	10236,4107	159,7832	8,5368	71,4020	0,0278	0,0070	0,0208	2,9795								
GHAPS02a		900	60,8	62,4	688439	3,3940	7,1677	10	40	8898,4723	103,1606	11,7928	78,1115	0,0359	0,0088	0,0272	3,0954								
GHAPS03a		1050	64,7	64,4	856187	2,3158	15,1742	10	40	3661,9759	138,0878	7,8065	51,6179	0,0356	0,0141	0,0215	1,5283								
GHAPS04a		1200	79,8	75,4	1880832	3,9419	9,3461	10	40	6876,8711	163,6351	13,4005	56,8557	0,0414	0,0083	0,0331	4,0093								
GHAPS04b		1050	67,6	68,3	1035692	3,5531	9,8237	10	47,5	7174,5811	95,4309	9,6479	55,1007	0,0255	0,0077	0,0178	2,3225								
GHAPS05a		1350	82,3	85,7	2345040	3,7430	9,9475	10	40	7006,1867	146,1356	12,6429	49,9170	0,0225	0,0071	0,0153	2,1543								
LEAPS01a		1500	89,1	91,9	3190939	7,5223	15,4717	10	50	9126,1643	178,0474	18,8866	65,9210	0,0320	0,0072	0,0248	3,4338								

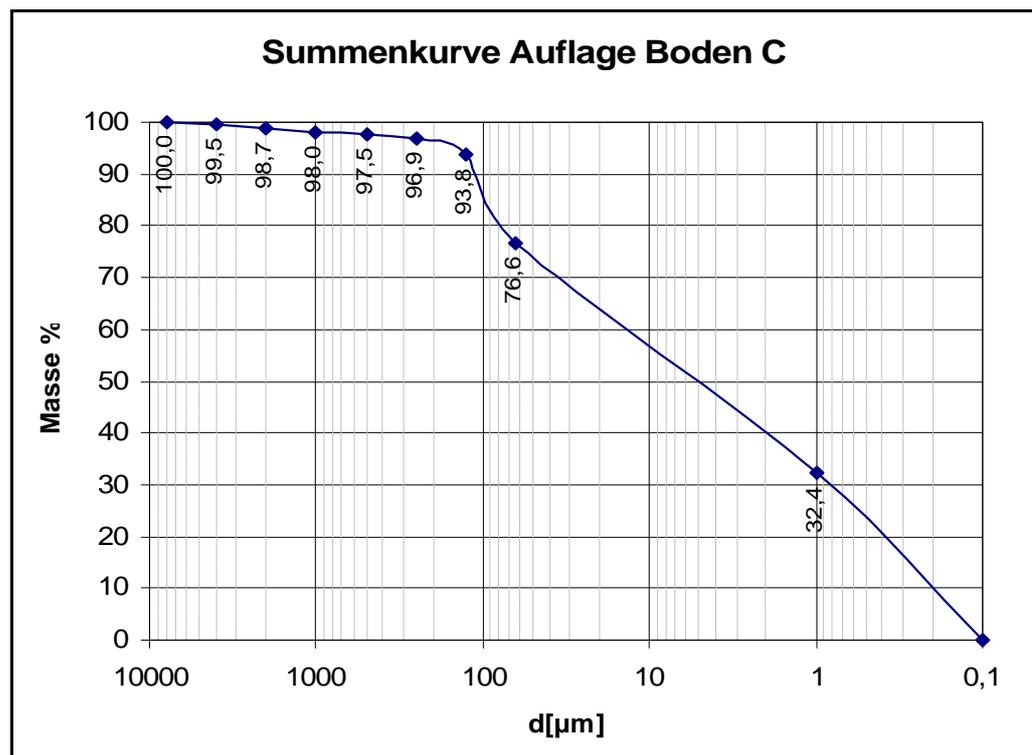
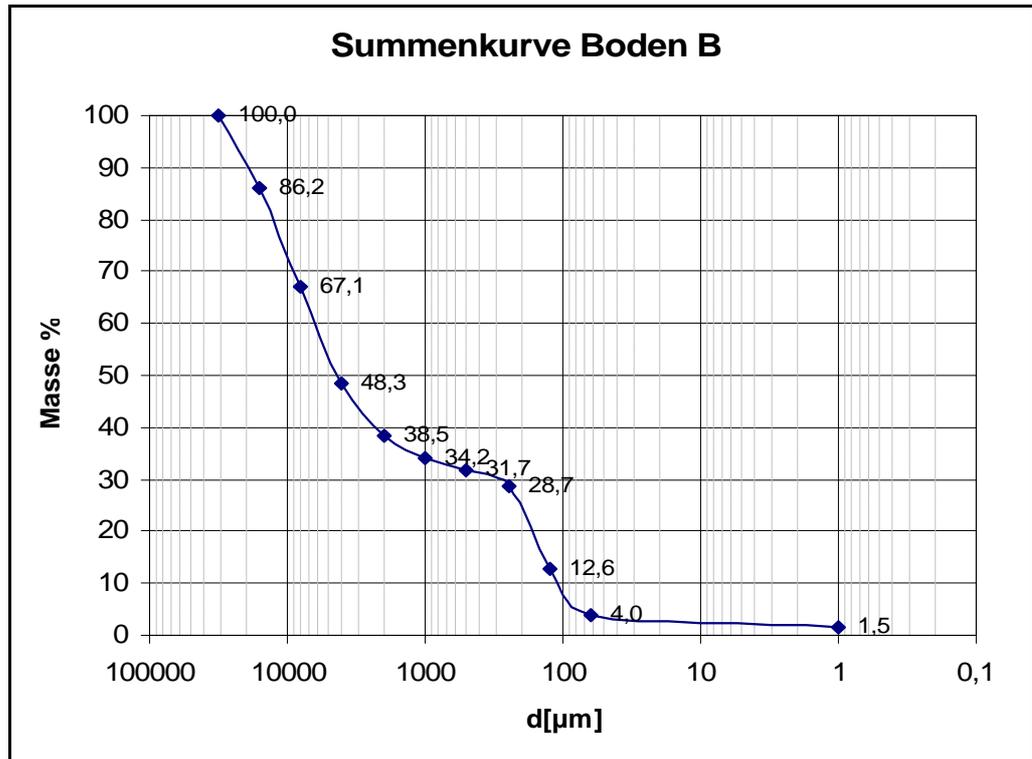
Name	Baumart	Geometrie				elastischer Bereich					max. Durchbiegung		max. Kraft		max. Spannung		max. Dehnung		elast. Dehnung		plast. Dehnung		Verh. elast./plast.	
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast	plast/ elast					
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	kN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	kN	N/mm ²	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los	dim los
LEAPS01b	Acer pseudoplatanus	1350	81,4	81,3	2152453	4,0622	9,0952	10	40	9060,3375	102,0950	13,6822	58,2100	0,0213	0,0064	0,0149	2,3188							
LEAPS01c		1200	71,5	77,8	1395943	4,0050	9,2078	10	40	9555,2749	125,6939	13,5003	69,1484	0,0280	0,0072	0,0207	2,8638							
LEAPS02a		1350	84,5	82,1	2431550	5,1032	10,3404	10	40	8862,3262	104,1347	17,0977	66,8443	0,0215	0,0075	0,0139	1,8442							
LEAPS02b		1200	73,4	73,9	1434506	5,7116	12,2713	10	50	9950,2554	96,2608	14,3421	73,3849	0,0219	0,0074	0,0145	1,9631							
LEAPS02c		1050	66	67,7	955411	3,3905	7,7385	10	40	9421,1441	71,8834	11,4461	69,1864	0,0190	0,0073	0,0117	1,5922							
LEAPS02d		1050	64,1	62,8	811902	2,7243	7,8350	10	40	8798,4869	78,1358	9,1434	63,1638	0,0195	0,0072	0,0124	1,7214							
LEAPS03a		1500	98,9	95	4511099	8,6663	10,2913	10	40	11180,9779	166,4720	29,3559	80,4487	0,0223	0,0072	0,0151	2,0945							
LEAPS03b		1350	83	87,9	2467136	5,7013	9,9231	10	40	10168,5381	91,2511	19,0794	72,2107	0,0186	0,0071	0,0115	1,6227							
LEAPS03c		1200	74,6	71	1446921	6,9845	12,3222	10	50	12013,4077	103,2962	17,4843	90,1452	0,0231	0,0075	0,0156	2,0751							
LEAPS03d		1050	64,9	65,6	880254	2,1136	6,2774	10	30	7858,3575	71,5645	10,6527	68,7236	0,0177	0,0087	0,0090	1,0267							
LEAPS04a		1500	95,5	97,2	4155720	6,1265	11,1788	10	40	7898,8882	94,4292	20,6081	59,1977	0,0176	0,0075	0,0101	1,3457							
LEAPS04b		1200	79,4	80	1965719	5,4101	8,7667	10	40	9627,5759	78,3075	18,2918	73,8849	0,0183	0,0077	0,0106	1,3877							
LEAPS04c		1050	68,7	67,7	1077529	5,0487	9,6317	10	47,5	9994,0678	58,8208	13,6305	76,0411	0,0160	0,0076	0,0084	1,1020							
LEAPS05a		1500	93,8	90,4	3662240	6,1071	10,0864	10	40	9902,5882	202,3567	20,5200	65,6968	0,0295	0,0066	0,0189	2,8472							
LEAPS05b		1350	81,4	79,3	2099502	4,4863	9,6161	10	40	9702,8722	114,9166	15,1603	66,1254	0,0226	0,0068	0,0158	2,3221							
LEAPS05c	1050	70,8	69,8	1215976	4,2577	6,3041	10	40	11410,8426	62,5648	14,3357	73,0355	0,0188	0,0064	0,0124	1,9439								
LEAPS06a	1800	111,8	114,3	7840460	6,8821	9,1204	10	30	9950,9655	134,0910	34,6241	74,0576	0,0217	0,0074	0,0143	1,9211								
LEAPS06b	1500	95,5	99,9	4271157	10,6686	15,0299	10	50	9972,7314	116,2918	27,0011	75,4658	0,0213	0,0076	0,0127	1,8095								
LEAPS06c	1350	80,4	76,6	1954190	4,0363	9,1266	10	40	9881,7407	77,4,4639	13,6063	62,9768	0,0189	0,0064	0,0135	1,9644								
LEAPS06d	1050	70,1	69,1	1168428	4,1828	9,4605	10	50	7774,0283	168,0982	10,6305	55,8056	0,0158	0,0072	0,0086	1,2016								
LEAPS07a	1800	109,2	111,4	7120705	8,3898	12,0053	10	40	10157,7564	120,8113	28,3221	65,1504	0,0191	0,0064	0,0127	1,9810								
LEAPS07b	1500	98,8	102,3	4843021	7,8006	9,4150	10	40	10246,7701	108,9395	26,2078	66,8314	0,0199	0,0065	0,0134	2,0498								
LEAPS07c	1350	85,3	86,8	2644458	5,9707	11,2758	10	48,8	8743,0867	93,5105	15,5363	56,3782	0,0169	0,0064	0,0104	1,6147								

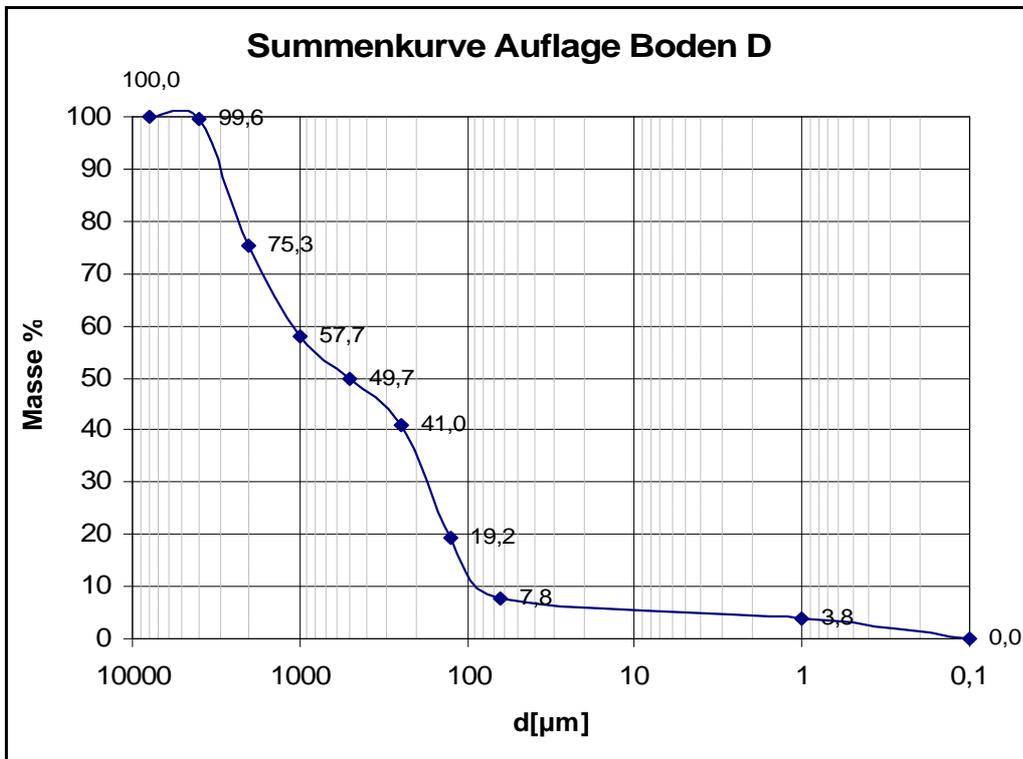
Name	Baumart	Geometrie					elastischer Bereich					max. Durchbiegung		max. Kraft		max. Spannung		max. Dehnung		elast. Dehnung		plast. Dehnung		Verh. elast./plast.		
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max	F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast										
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	KN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	KN	N/mm ²	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los	dim.los
LEAPS07d	Acer pseudoplatanus	1200	71,2	71,7	1270367	3,9967	7,7795	10	12401,8051	75,7744	13,5023	75,6759	0,0161	0,0061	0,0100	1,6439										
LEAPS08a		1200	77	78,8	1765909	4,1408	8,4994	10	8460,5613	108,3826	13,9957	61,0263	0,0262	0,0072	0,0189	2,6271										
LEAPS08b		1050	65,1	62,6	847788	2,7618	5,9306	10	11284,9320	88,3339	9,3318	62,6997	0,0234	0,0056	0,0178	3,2106										
LEAPS08c		900	55,7	58,2	493695	2,7531	6,4066	10	11261,3546	73,4797	9,2505	78,2749	0,0214	0,0070	0,0144	2,0748										
LEAPS08d		900	50,5	50,9	321782	1,8863	6,4697	10	11722,2780	64,9031	6,4068	75,4107	0,0164	0,0064	0,0100	1,5534										
LEAPS09a		1200	69,6	77,7	1285934	3,9190	10,3445	10	9034,6529	116,5709	13,2515	71,7224	0,0224	0,0079	0,0145	1,8210										
LEAPS09b		1050	65,4	67	919979	1,9481	6,3728	10	6826,5715	71,8472	9,8752	61,4260	0,0178	0,0090	0,0088	0,9827										
LEAPS09c		900	55,8	58,3	497211	2,9381	6,6846	10	11436,5146	69,9984	9,9570	83,8077	0,0208	0,0073	0,0134	1,8332										
LEAPS09d		900	47,1	49,8	255424	2,3070	8,2771	10	14117,2329	88,4301	6,0475	83,6372	0,0226	0,0059	0,0167	2,8174										
LEAPS10a		1350	80,4	87,4	2229716	3,8108	9,2389	10	8077,2906	111,2124	12,8928	52,3005	0,0175	0,0065	0,0110	1,7009										
LEAPS10b		1200	72,7	69	1301434	5,3856	12,0832	10	10502,6924	123,6638	13,5494	75,6891	0,0269	0,0072	0,0187	2,5967										
LEAPS10c		1050	65,9	67,3	945456	3,0257	7,8326	10	8394,0977	93,7633	10,2894	62,7543	0,0237	0,0075	0,0162	2,1686										
LEAPS10d		900	58,9	58,4	585772	3,1681	9,2458	10	7567,8903	66,7103	8,0458	60,6760	0,0205	0,0080	0,0125	1,5563										
LEAPS11a		1350	81,7	91,9	2460093	6,4320	10,9523	10	10423,5236	100,6290	17,2892	64,5947	0,0196	0,0062	0,0134	2,1670										
LEAPS11b		1200	73,6	79,6	1557817	3,1095	5,4176	10	11298,8550	98,6702	15,7618	74,4677	0,0220	0,0066	0,0154	2,3344										
LEAPS11c		1050	73,3	65,8	1272060	3,3621	5,1307	10	10583,1187	78,7644	13,5370	68,2536	0,0164	0,0064	0,0100	1,5445										
LEAPS11d	1050	61,7	63	726383	2,4840	7,7682	10	9043,7298	157,0907	8,5541	63,5774	0,0166	0,0070	0,0096	1,3605											
LEAPS12a	1500	90,9	87,7	3233413	5,7122	10,7114	10	9878,5712	105,7283	19,1012	67,1233	0,0184	0,0068	0,0116	1,7083											
LEAPS12b	1350	74,2	82,3	1650370	5,1714	13,5523	10	10095,7775	109,0541	13,0546	66,0295	0,0190	0,0065	0,0125	1,9066											
LEAPS12c	1050	67,2	72,5	1079980	3,9674	7,7698	10	9713,4238	82,4495	13,5104	73,5582	0,0235	0,0076	0,0159	2,0973											
LEAPS12d	900	54,7	60,5	486057	2,5386	6,2555	10	10801,8763	54,4695	8,5402	72,0822	0,0156	0,0067	0,0089	1,3399											
LEAPS13a	1050	69	63	1015916	4,8904	10,7371	10	9210,6599	86,5661	12,3331	73,2944	0,0217	0,0080	0,0137	1,7275											
LEAPS13b	1050	59,8	64,8	680219	1,5159	5,1065	10	8965,6139	87,7425	8,3683	64,3719	0,0208	0,0072	0,0136	1,8985											

Name	Baumart	Geometrie				elastischer Bereich					max. Durchbiegung	max. Kraft	max. Spannung	max. Dehnung	elast. Dehnung	plast. Dehnung	Verh. elast./plast.
		L	Dv	Dh	I	Delta F	Delta f	Grenzen	E	f max								F max	SigmaB	EpsilonB	EpsIB elast	EpsIB plast	plast/ elast
Einheit		mm	mm	mm	mm ⁴	KN	mm	% of Fmax	N/mm ²	mm	KN	N/mm ²	dim,los	dim,los	dim,los	dim,los	
LEAPS13c	Acer pseudo.	900	53,6	52,6	397603	2.0134	6,9797	10	40	9386,2038	86,7880	6,7536	68,2825	0,0243	0,0073	0,0171	2,3452
LEAPS14a		1050	63,7	63,1	800604	2,8675	7,1139	10	40	10343,6201	111,0423	9,7562	67,9220	0,0227	0,0066	0,0161	2,4565
LEAPS14b		900	55,8	59,7	509151	2,7376	6,1282	10	40	11351,2704	95,6913	9,2245	75,8212	0,0286	0,0067	0,0219	3,2786
LEAPS14c		900	54,2	52,5	410324	1,8018	8,1254	10	40	6991,7940	93,1881	6,0441	59,8780	0,0270	0,0096	0,0184	2,1482
LEAPS14d		750	45,6	44,8	208517	1,4068	4,9525	10	40	10199,1319	69,3540	4,7473	64,8851	0,0253	0,0064	0,0189	2,9691

4. Die Messungen des Auszugwiderstandes im Versuchsgarten Wien Eßling

4.1 Die Korngrößenverteilungen der allochthonen Böden





Ergebnisse der Bodenanalysen								
Boden	P2O5	K2O	N	C/N	% CaCO ₃	pH	Corg%	%C
	mg/100g	mg/100g	mg/kg	Verhältnis		H ₂ O		
A	4,104373	10,87	3,88376	10,31	27,312	7,88	1,90757845	5,185
B	0,94787485	6,5	13,6609	0	4,824	8,25	0,24110457	0,82
C	0,3021694	4,58	8,98684	0	19,021	8,65	0,53752595	2,82
D	1,1196354	3,55	0,2258	0	11,760	8,62	0,34376841	1,755

4.2 Daten der im Versuchsgarten ausgezogenen Pflanzen

Weiden

Name	Baum				Steckholz					Wurzeln				oberirdischer Teil					
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V ₀	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Triebhöhen L _{ges}	
		N			cm	cm	mm	g	cm ³		g	g		l	cm ²		cm	cm	
vgspaa18	aa18	6102	SP	A	28	0	33,8	118,5	251,4	24	1	98,0	216,4		3,5	63,0	4	310	6430
vgspaa2	aa2	5017	SP	A	36	8	33,2	158,0	242,1	25	1	9,0	167,1	4	0,6	37,2	5	240	1045
vgspab1	ab1	3451	SP	A	40	16	21,2	103,2	84,3	12	1	8,4	111,6	3	1,0	14,3	1	240	240
vgsvab15	ab15	6813	SV	A	28	0	25,7	89,4	145,5	13	1	26,8	116,2	1	1,8	23,0	3	310	2250
vgspab17	ab17	8054	SP	A	29	0	33,5	168,9	255,6	25	2	73,4	242,3	2	3,2	77,5	5	330	5905
vgspab19	ab19	5091	SP	A	32	0	30,7	188,2	236,3	18		24,6	212,8	1	1,8	54,1	3	340	4038
vgspab3	ab3	3729	SP	A											1,3	29,0	3	250	720
vgspab5	ab5	5933	SP	A	32	0	29,8	136,1	223,2	18	2	37,8	173,9	2	1,1	36,8	3	230	590
vgsvab7	ab7	22641	SV	A	32	0	29,6	80,7	219,8	9	1	20,3	101,0		3,1	36,9	4	375	3090
vgsvab9	ab9	5465	SV	A	37	0	23,5	91,2	159,8	22	3	27,0	118,2		2,1	36,1	3	360	2168
vgsvac10	ac10	7491	SV	A	29	0	33,5	107,6	255,6	15	3	11,6	119,2	2	7,3	46,3	2	335	4395
vgsvac14	ac14	5808	SV	A	32	0	24,1	113,7	145,7	23		8,5	122,2		1,5	24,7	2	325	2330
vgsvac16	ac16	2935	SV	A															
vgspac18	ac18	2147	SP	A											1,2	23,8	2	280	2322
vgspac2	ac2	5118	SP	A	25	0	32,1	96,5	202,7	28	5	55,3	151,8	1	0,7	42,6	5	250	1120
vgspac4	ac4	6873	SP	A	37	10	41,1	330,2	357,5	28	0	44,0	374,2		2,3	72,4	9	240	1960
vgsvac8	ac8	8583	SV	A											5,7	81,5	4	370	6492
vgspad1	ad1	4003	SP	A	40	13	22,0	86,4	102,5	18	1	4,3	90,7	2	0,3	10,4	3	180	440
vgsvad13	ad13	5135	SV	A	29	0	36,2	157,3	298,0	12	0	3,7	161,0	3	0,8	19,5	3	260	1392
vgsvad15	ad15	4110	SV	A	30	0	19,5	51,8	89,4	16	0	3,5	55,3		3,1	8,7	7	230	782
vgspad17	ad17	4088	SP	A	28,5	0	35,6	169,5	284,0	25	1	30,6	200,1	2	3,0	42,3	7	265	3846
vgspad19	ad19	7565	SP	A									199,6		2,4	41,5	5	310	5997
vgspad3	ad3	6512	SP	A	40,5	9,5	39,4	330,1	377,2	36	3	35,8	365,9	3	0,0	37,7	11	210	2070
vgspad5	ad5	3180	SP	A											0,9	23,9	5	260	930
vgsvad7	ad7	5778	SV	A								157,5			2,6	46,6	4	340	3082
vgsvad9	ad9	8328	SV	A								122,2			3,0	47,5	3	360	3520
vgsvae10	ae10	8257	SV	A	31,5	0	28,9	88,3	206,8	15	5	26,0	114,4	2	2,4	35,4	2	340	2374
vgsvae12	ae12	4292	SV	A															
vgsvae14	ae14	3985	SV	A	28	0	31,3	132,7	215,4	24	2	8,9	141,6		0,9	17,8	2	265	1481
vgsvae16	ae16	3559	SV	A															
vgspae18	ae18	5395	SP	A	32	0	20,4	77,8	104,4	24		66,3	144,2		1,7	33,4	2	310	2316
vgspae2	ae2	6460	SP	A	34	10	29,4	152,4	163,3	26	5	18,8	171,2		0,7	22,3	5	180	830
			SP		27	0	26,5	119,5	148,7	7	5	22,8	142,3	4	0,6	27,5	5	220	860
			SV		28,5	6,5	21,6	89,3	80,8	8	0	5,0	94,3		0,1	7,9	3	180	460
vgspae4	ae4	2923	SP	A	38	9,5	34,9	200,6	273,3	17	1	9,7	210,3	1	0,1	14,1	6	200	900
vgsvae8	ae8	9962	SV	A									160,1		3,3	52,4	4	340	4106
vgsvaf11	af11	4704	SV	A	31	0	26,5	97,2	170,6	12		1,6	98,8		0,2	6,2	2	150	415
vgsvaf13	af13	4043	SV	A	31	0	31,1	130,9	235,8	11	1	1,9	132,8		0,1	6,6	2	140	396
vgsvaf15	af15	4218	SV	A	31	0	29,1	139,2	205,5	22	0	15,0	154,2		1,3	24,4	3	290	2212
vgspaf17	af17	7250	SP	A	28	0	33,9	155,9	252,1	36		59,6	215,5		3,3	38,2	5	300	5770
			SV		26	3	22,4	63,5	91,0	1	0	0,4	63,9	1	0,0	2,6	1	150	150
vgscah17	ah17	6487	SC	A	21	0	31,3	86,3	161,4	24	3	109,3	195,6		1,7	38,2	2	207	3998
vgscah19	ah19	7313	SC	A	23	0	28,9	141,6	150,5	34	6	110,9	252,5		2,2	40,4	2	240	3904
vgscai16	ai16	4970	SC	A	15	0	30,1	73,4	107,0	21	4	40,1	113,6	3	1,2	26,8	2	218	1741
vgscal11	al11	2973	SC	A	16	0	24,7	69,2	76,8	22	3	29,2	98,4		0,5	0,0		135	675
vgscal15	al15	2437	SC	A									60,1		0,2	8,4	2	140	518
			SC										83,2		0,6	11,5	2	160	946
vgscal19	al19	2958	SC	A	20	0	22,5	53,6	79,5	17	6	13,2	66,9	1	0,5	11,4	2	130	792
vgstab35	b35	5167	SA	A	31	8	22,8	67,6	94,2	6	2	4,5	72,1						
vgstab36	b36	4199	SA	A	29	6	25,2	81,4	115,1	4	1	1,5	82,9		0,1	11,4	2	160	389
vgstab40	b40	1803	SA	B	25	0	19,3	38,9	73,1	1	0	0,0	38,9	3	0,1	4,7	1	120	120
			SA												0,1	7,9	7	110	485
vgstab42	b42	2177	SA	B	25	6	28,1	89,3	117,5	1	0	0,1	89,4		0,1	6,4	3	100	250

Baum					Steckholz					Wurzeln					oberirdischer Teil				
Name	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V _d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Trieb längensumme L _{ges}	
		N			cm	cm	mm	g	cm ³		g	g		l	cm ²		cm	cm	
vgsab43	b43	584	SA	B	19,5	3,5	18,5	23,0	42,8	1	0	0,3	23,2		0,0	1,0	1	45	45
vgsab44	b44	3758	SA	B										0,1	7,1	2	120	230	
vgsab45	b45	4577	SA	B	22,5	6	33,0	82,6	140,9	5	4	10,6	93,2		0,2	10,6	2	145	285
vgsac41	c41	1913	SA	B	26,5	4,5	18,0	32,4	56,0	2	1	1,3	33,6	1	0,0	1,7	2	85	140
vgsac43	c43	2119	SA	B	26,5	5	20,0	44,0	67,5	2	0	3,0	47,0	1	0,1	5,1	2	90	180
vgsac44	c44	2962	SA	B	23	6	20,2	32,3	54,2	1	0	1,8	34,1	1	0,1	6,0	2	100	190
vgsac45	c45	2071	SA	B	25,5	6,5	25,4	67,9	96,4	2	1	0,4	68,3		0,0	2,9	2	90	135
vgsac47	c47	2387	SA	B	25,5	7	30,0	90,5	131,1	2	2	2,9	93,4						
			SA		28	4	24,6	63,2	114,1	2	0	0,6	63,9	1	0,0	4,2	1	100	100
			SA		23	5,5	25,1	79,7	86,3	9	1	6,1	85,8	3	0,4	15,1	3	190	475
vgsad34	d34	3992	SA	A	25,5	6,5	38,1	137,6	216,4	7	0	4,6	142,3	4	0,7	20,3	2	220	1074
vgsad35	d35	3380	SA	A	24	4,5	23,0	53,7	81,2	7	4	3,7	57,4		0,2	11,3	3	150	910
vgsad36	d36	5247	SA	A	25	8	29,6	93,1	117,0	9	1	3,9	97,0	4					
			SA											0,3	8,8	1	180	180	
vgsad40	d40	1950	SA	B										0,2	8,7	1	130	130	
vgsad42	d42	2856	SA	B										0,1	4,5	1	120	120	
vgsad43	d43	1348	SA	B	26	0	24,0	59,6	117,3	1	0	0,0	59,6	3	0,1	4,2	3	80	175
vgsad44	d44	863	SA	B	22	0	17,6	28,6	53,8	2	2	1,0	29,6		0,0	2,1	3	40	100
vgsad45	d45	2120	SA	B										0,0	1,7	1	45	45	
vgsad46	d46	5472	SA	B															
vgsad47	d47	2351	SA	B	24	4,5	26,6	73,2	108,7	2	1	0,9	74,0	1	0,1	6,5	2	115	175
vgsae31	e31	2575	SA	A															
vgsae32	e32	5760	SA	A															
vgsae33	e33	3102	SA	A	22	6	28,7	76,6	103,4	7	1	6,2	82,8	1	0,5	8,7	2	200	730
vgsae34	e34	5600	SA	A	28	6	27,2	85,7	127,6	12	1	6,7	92,4	3	0,3	14,0	2	180	320
vgsae40	e40	1895	SA	B	25,5	6	22,8	56,4	79,3	3	1	0,6	57,0	2	0,1	6,8	3	75	185
vgsae47	e47	2018	SA	B	25,5	0	20,5	41,2	84,2	1	0	0,4	41,6	2	0,1	3,7	1	110	110
vgsae50	e50	1151	SA	C	27	5	23,0	66,6	91,7	3	0	1,1	67,7		0,1	5,0	3	110	240
vgsae51	e51	2138	SA	C	33	0	22,5	66,9	131,2	9	0	1,0	67,8		0,1	8,3	3	120	285
vgsae52	e52	1313	SA	C	23,5	5	28,4	71,5	117,4	4	1	0,9	72,4	2	0,1	2,7	3	80	200
vgsaf33	f33	3577	SA	A	25	7	27,1	76,4	103,7	11	1	11,9	88,3		0,3	11,2	1	180	180
vgsaf34	f34	4371	SA	A										0,5	17,3	2	215	415	
vgsaf35	f35	2523	SA	A	23,5	6	33,2	110,1	151,2	4	0	1,4	111,6	1	0,3	12,1	2	185	345
vgsaf37	f37	3056	SA	A										0,3	13,6	2	170	280	
vgsaf40	f40	1687	SA	B	26	0	21,6	41,5	95,2	1	0	0,0	41,5		0,0	4,6	2	50	95
vgsaf41	f41	1242	SA	B	25,5	0	15,5	25,0	48,2	1	0	0,1	25,1		0,0	2,2	2	80	120
vgsaf42	f42	1008	SA	B	23	12	15,9	28,2	21,8	2	0	0,2	28,4	1	0,0	3,7	4	96	236
vgsaf50	f50	1085	SA	C	26	5	28,2	81,5	131,3	4	0	0,6	82,1	1	0,0	3,9	2	75	125
vgsaf51	f51	1164	SA	C	21,5	0	19,8	41,8	66,3	2	1	0,4	42,2		0,1	6,4	4	100	350
vgsaf52	f52	897	SA	C	20	5,5	22,8	40,8	59,3	3	1	0,4	41,3		0,0	3,9	3	80	195
vgsaf53	f53	2094	SA	C	26	5	25,4	72,2	106,3	3	1	0,6	72,8	2	0,1	4,6	5	105	415
			SA											0,0	3,1	2	90	180	
vgsaf55	f55	1128	SA	C										0,0	2,0	1	81	81	
vgsaf56	f56	2278	SA	C										0,2	4,5	1	140	140	
vgsag32	g32	5385	SA	A	26	6	33,0	121,2	171,2	16	8	23,3	144,5	3	0,9	26,2	2	240	460
vgsag33	g33	4951	SA	A	25	6	28,9	93,1	124,8	5	1	3,5	96,6	2	0,8	24,9	2	240	445
vgsag35	g35	6041	SA	A	27,5	0	26,6	65,5	153,1	7	4	2,4	67,9	5	0,7	23,9	2	200	390
vgsag37	g37	3264	SA	A	25,5	7	20,5	43,7	60,9	9	3	2,6	46,3		0,1	6,3	2	140	210
vgsag38	g38	3035	SA	A	26,5	0	32,3	95,5	216,5	3	1	1,1	96,6		0,0	4,8	1	100	100
vgsag40	g40	1931	SA	B										0,0	0,7	1	27	27	
vgsag41	g41	1491	SA	B	26	10	23,5	56,9	69,3	4	0	4,0	60,9						
vgsag51	g51	1507	SA	C	26	4,5	18,5	34,4	57,5	2	1	0,0	34,4	1	0,1	3,2	1	140	140
vgsag52	g52	1657	SA	C	23	5,5	28,6	82,8	112,7	6	1	7,9	90,6	1	0,6	17,9	2	190	260
vgsag53	g53	2911	SA	C	29	6	27,2	92,5	133,4	8	0	2,4	94,9	2	0,2	8,5	2	150	240

Name	Baum				Steckholz						Wurzeln				oberirdischer Teil				
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V _d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Triebflächensumme L _{ges}	
																			N
vgsag54	g54	1484	SA	C	26,5	7	26,7	94,3	109,3	4	0	6,2	100,4	0,1	6,3	4	105	330	
vgsah32	h32	5160	SA	A	24	7	30,7	99,5	126,0	5	2	2,2	101,7	0,8	23,2	1	280	280	
vgsah35	h35	2981	SA	A	23,5	0	24,5	57,8	110,8	7	3	2,8	60,7	0,3	10,7	2	180	340	
vgsah36	h36	3270	SA	A	25	7,5	25,6	70,4	90,1	5	1	2,0	72,5	0,1	7,9	3	110	300	
vgsah41	h41	1995	SA	B	27	6,5	28,8	104,8	133,9	2	0	2,3	107,0	2	0,1	9,9	4	100	345
vgsah42	h42	2536	SA	B	23	6,5	25,0	61,4	81,0	3	3	0,3	61,7	1	0,1	6,0	2	105	195
vgsah51	h51	1686	SA	C	27,5	7	26,3	83,1	111,7	2	1	1,2	84,3	0,0	3,6	3	110	165	
vgsah52	h52	1963	SA	C	25,5	5	25,0	58,3	100,4	2	1	1,0	59,3	0,1	4,6	2	110	195	
vgsah53	h53	2397	SA	C	26,5	3	30,2	79,5	168,2	7	1	3,9	83,4	3	0,2	11,5	4	160	490
vgsah54	h54	1870	SA	C	26	6	20,4	46,7	65,4	3	0	0,8	47,5	0,1	3,5	2	110	200	
vgsah63	h63	2878	SA	D										0,1	6,5	2	105	210	
vgsah64	h64	1610	SA	D	28	6	20,1	43,1	69,9	1	0	1,2	44,2	0,1	4,3	2	150	230	
vgsai32	i32	4935	SA	A	28,5	9,5	25,0	69,5	93,3	7	3	10,4	79,9	1	0,3	10,9	1	200	200
vgsai36	i36	7903	SA	A	30,5	10	33,9	118,6	185,2	5	0	11,9	130,5	1	1,8	20,2	2	200	390
vgspi40	i40	1595	SP	B										0,0	3,3	2	45	85	
vgspi41	i41	2544	SP	B	28	5,5	20,9	73,5	77,0	3	0	1,6	75,1	1	0,0	4,4	6	140	495
vgspi42	i42	2517	SP	B	27,5	5,5	22,4	71,1	86,4	6	0	3,0	74,0	1	0,1	6,7	6	125	546
vgsai50	i50	1049	SA	C	24	6	19,6	39,4	54,3	5	0	0,2	39,6	0,0	3,9	3	120	250	
vgsai52	i52	793	SA	C	19,5	0	28,3	52,2	123,0	2	1	0,5	52,8	1	0,0	2,0	1	90	90
vgsai53	i53	3445	SA	C										0,6	45,7	24	170	2525	
vgsai54	i54	1871	SA	C	24	5,5	19,4	41,7	54,5	4	0	0,7	42,4	0,0	2,2	2	65	120	
vgsai63	i63	2136	SA	D										0,1	3,3	1	130	130	
vgsai64	i64	2047	SA	D	26,5	4,5	33,0	128,8	187,8	1	1	0,2	129,0	2	0,9	13,8	4	140	470
vgsai65	i65	1563	SA	D	23	4	29,5	82,5	129,8	7	4	4,9	87,4	3	0,1	8,7	3	160	264
vgsai66	i66	1461	SA	D	24,5	6,5	22,6	60,1	72,2	4	0	1,9	62,0	3	0,1	7,0	3	130	320
vgsai67	i67	1532	SA	D	30	8,5	29,1	110,5	143,2	5	0	15,2	125,7	0,2	11,2	5	140	570	
vgsai68	i68	1797	SA	D	27,5	4,5	20,0	46,3	72,5	2	0	1,8	48,2	0,1	3,6	2	150	230	
vgspj31	j31	3497	SP	A	25	6	25,8	84,9	99,1	11	2	0,8	85,7	3	0,3	8,9	1	240	240
vgspj32	j32	5166	SP	A	30	7	30,9	154,9	172,9	16	1	9,9	164,8	2	0,6	18,6	4	230	870
vgspj33	j33	4780	SP	A	27	6	23,9	102,9	93,9	15	2	3,2	106,0	5	0,5	18,7	4	220	830
vgspj34	j34	3993	SP	A	27,5	5	23,7	94,2	99,3	16	1	7,7	101,8	0,4	16,8	5	190	825	
vgspj35	j35	2019	SP	A	23,5	4,5	27,3	89,5	111,1	5	0	0,8	90,3	5	0,2	9,5	4	160	540
vgspj36	j36	3507	SP	A										0,2	8,3	3	180	420	
vgspj37	j37	3803	SP	A	26	6	33,0	178,4	171,3	10	0	9,6	188,1	4	0,5	25,4	8	180	1240
vgspj40	j40	1807	SP	B	23,5	3	21,9	65,3	77,2	6	1	2,7	67,9	2	0,2	9,4	7	1710	2265
vgspj41	j41	2606	SP	B										0,1	6,0	3	170	345	
vgspj42	j42	2497	SP	B	24,5	6	22,5	70,2	73,6	4	1	2,7	72,9	1	0,1	5,0	6	110	580
vgsaj51	j51	1176	SA	C	26,5	0	33,4	75,4	231,8	1	0	0,9	76,2	0,0	2,0	1	75	75	
vgsaj52	j52	945	SA	C	25,5	7,5	23,6	51,0	79,0	2	0	0,4	51,3	1	0,0	2,2	2	60	95
vgsaj53	j53	1415	SA	C										0,0	380,1	1	110	110	
vgsaj54	j54	2113	SA	C	26,5	4	21,1	52,8	78,7	3	0	0,8	53,6	2	0,0	3,4	2	70	125
vgsaj63	j63	1953	SA	D	20	6	25,3	57,9	70,2	2	2	2,7	60,6	3	0,1	3,5	1	80	80
vgsaj64	j64	2250	SA	D	27,5	6,5	22,6	60,8	84,4	2	0	0,7	61,6	4	0,2	13,1	3	170	440
vgsaj65	j65	1898	SA	D	26,5	4,5	20,3	46,9	70,9	1	0	0,5	47,4	3	0,1	6,9	1	170	170
vgsaj66	j66	1036	SA	D	22	0	20,2	35,7	70,2	1	1	0,1	35,8	1	0,0	2,9	2	170	270
vgsaj67	j67	1694	SA	D	25	5	19,5	38,4	59,8	2	0	0,3	38,7	0,0	2,2	2	100	170	
vgsaj68	j68	717	SA	D	18,5	4	17,2	24,6	33,7	4	0	2,5	27,1	0,0	2,0	2	70	125	
vgsaj69	j69	1185	SA	D	23,5	7	30,7	76,2	121,8	3	1	1,9	78,0	1	0,1	3,4	2	110	190
vgsaj70	j70	1571	SA	D	24,5	4	19,2	40,0	59,0	5	1	2,0	41,9	1	0,1	4,6	1	150	150
vgsaj71	j71	1602	SA	D	25,5	6	20,1	37,3	61,6	5	0	5,2	42,4	2	0,0	5,4	2	100	195
vgspk2	k2	4862	SP	A	33	12	26,2	106,7	112,8	21	2	32,0	138,7	0,7	20,9	4	190	685	
vgspk3	k3	7335	SP	A	33,0	0	41,6	299,2	448,3	28	1	288,4	587,6	2,4	78,1	3	320	2910	
vgspk31	k31	5837	SP	A	30,5	5	28,2	145,7	159,3	11	0	6,1	151,7	4	0,8	22,4	5	230	1040
vgspk33	k33	4121	SP	A	23	5	25,3	82,3	90,3	12	1	7,0	89,3	3	0,4	14,3	1	235	235

Name	Baum				Steckholz					Wurzeln				oberirdischer Teil					
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V _d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Trieb längensumme L _{ges}	
	N				cm	cm	mm	g	cm ³		g	g		l	cm ²		cm	cm	
vgspk34	k34	3190	SP	A	23	6,5	25,9	88,7	87,2	10	0	14,3	103,1	2	0,5	19,0	4	210	815
vgspk35	k35	2656	SP	A	28	3	24,8	99,3	120,8	6	1	1,2	100,5	4	0,4	16,0	4	190	650
vgspk36	k36	3042	SP	A	26,5	5	21,5	77,6	77,8	6	0	1,2	78,8		0,1	6,9	4	180	595
vgspk37	k37	2351	SP	A	31	0	17,6	51,8	75,8	4	1	0,7	52,5		0,1	5,5	3	180	657
vgspk38	k38	1278	SP	A	22	3,5	16,7	33,7	40,7	3	0	0,3	34,0		0,0	1,1	1	100	100
vgspk4	k4	4669	SP	A	40	7	26,4	109,0	180,0	20	1	25,6	134,6						
vgspk40	k40	1530	SP	B										0,0	1,6	3	80	140	
vgspk41	k41	3950	SP	B	31,5	8,5	29,8	149,5	160,5	3	1	0,5	150,0	3	0,3	14,6	11	220	1405
vgspk42	k42	2831	SP	B	30	0	28,0	114,5	184,3	1	1	0,0	114,5		0,0	3,7	8	90	415
vgspk5	k5	7588	SP	A	28	0	55,5	440,2	677,6	29	5	304,3	744,5		0,7	19,0	2	210	405
			SP											4,6	92,2	7	410	4230	
vgspk50	k50	1036	SP	C	22	7	24,1	68,1	68,1	1	0	0,2	68,3	1	0,0	3,2	2	110	200
vgspk51	k51	1444	SP	C	22,5	3,5	20,4	54,1	61,9	12	0	4,4	58,5		0,1	8,7	4	200	470
vgspk52	k52	1867	SP	C	24	5	23,7	66,4	83,7	11	0	5,8	72,2		0,1	8,8	9	150	820
vgspk53	k53	2205	SP	C	23,5	5	21,8	59,1	69,1	4	1	0,7	59,8		0,2	7,3	3	150	307
vgspk54	k54	3050	SP	C	31,5	6	29,3	139,1	172,4	6	1	1,6	140,7		0,1	3,8	4	140	400
vggak63	k63	2387	SA	D	30	5	20,6	54,2	83,0	1	1	0,8	55,0	2	0,1	5,6	2	115	215
vggak64	k64	1598	SA	D	22,5	5	20,0	44,7	54,8	4	0	0,4	45,0	4	0,2	10,2	2	200	320
vggak65	k65	1461	SA	D	21	6,5	22,9	44,7	59,9	3	1	0,4	45,1	3	0,1	7,7	3	125	320
vggak66	k66	1866	SA	D	22,5	3	21,8	42,0	72,7	2	2	0,3	42,3	2	0,0	4,5	2	140	210
vggak67	k67	1422	SA	D	25,5	6,5	26,5	71,5	104,5	4	0	3,1	74,6		0,1	4,2	2	140	270
vggak68	k68	1576	SA	D	25	8	21,0	41,1	58,9	3	0	5,3	46,4		0,0	3,7	1	100	100
vggak69	k69	2213	SA	D	26	0	22,7	62,1	105,4	2	0	1,3	63,4		0,1	5,3	3	110	280
vggak70	k70	1098	SA	D	23	6	20,8	37,2	58,0	2	0	0,1	37,3	1	0,0	1,6	1	90	90
vggak71	k71	1662	SA	D	25	4,5	18,6	35,9	55,5	3	0	0,5	36,4	3	0,0	4,4	3	95	255
vgspl2	l2	5642	SP	A	31	0	45,8	188,0	510,1	20		215,5	403,5		2,4	71,4	3	290	2480
vgspl3	l3	6247	SP	A	31	11	39,0	270,6	238,9	31	9	68,2	338,8		1,5	40,2	7	225	1280
vgspl32	l32	4206	SP	A	27	5	29,6	132,1	151,1	15	0	6,6	138,7	5	0,6	20,6	6	220	1170
vgspl34	l34	3537	SP	A	31	5,5	20,1	79,8	80,8	5	1	0,9	80,7		0,2	7,2	3	160	470
vgspl35	l35	5069	SP	A	30	5	29,8	162,1	174,6	9	0	3,1	165,2	6	0,4	18,8	5	220	820
vgspl36	l36	1972	SP	A	26	5,5	21,1	59,7	71,3	2	0	0,4	60,0	2	0,0	3,2	3	130	300
vgspl37	l37	3153	SP	A	26,5	7,5	24,0	86,4	86,0	9	2	4,3	90,8	2	0,2	7,4	3	180	480
vgspl38	l38	2886	SP	A	28	5,5	25,1	107,0	111,2	7	0	2,4	109,3		0,2	11,8	4	160	535
vgspl4	l4	5904	SP	A	30	0	49,1	231,2	567,3	19	6	125,6	356,8		2,4	58,9	0	360	2510
vgspl40	l40	1756	SP	B	28	6	18,2	55,6	57,5	1	0	0,1	55,7		0,0	2,3	3	90	225
vgspl41	l41	1504	SP	B	24,5	6	25,2	71,2	92,6	6	0	2,2	73,4		0,1	7,8	11	120	895
			SP											0,1	3,9	2	95	150	
vgspl42	l42	5164	SP	B	31	8	24,5	93,0	108,8	6	0	2,1	95,1	4	0,1	12,4	8	150	800
vgspl5	l5	1615	SP	A	35	15	27,3	137,4	116,7	9	0	3,2	140,6		0,3	10,8	4	200	735
vgspl50	l50	1697	SP	C	29	7,5	19,5	71,0	64,4	10	0	14,4	85,5	2	0,3	14,4	9	190	1295
vgspl51	l51	1432	SP	C	25,5	8	18,0	42,2	44,7	6	0	1,0	43,3	1	0,0	5,1	5	75	340
vgspl52	l52	1106	SP	C	24	7	22,4	56,5	67,2	8	0	0,9	57,4		0,0	2,6	3	100	185
vgspl53	l53	2635	SP	C	29	5	20,1	73,0	75,9	8	0	6,6	79,6		0,1	9,3	6	180	780
vgspl54	l54	3740	SP	C	27,5	5,5	29,1	130,8	145,8	8	1	3,1	133,9	1	0,2	12,2	7	150	820
vgspl6	l6	5492	SP	A	36	10	43,2	332,4	380,4	23	6	27,4	359,8	3	2,4	60,6	10	225	1480
vgsal63	l63	2604	SA	D	30,5	4	22,4	83,8	104,4	1	0	2,5	86,3	5	0,3	12,0	3	180	470
vgsal64	l64	2394	SA	D	26,5	7	29,0	91,2	128,8	2	1	1,3	92,5	5	0,1	12,3	3	165	335
vgsal65	l65	2215	SA	D	29,5	6	20,6	64,8	78,4	4	1	5,1	69,9	3	0,1	9,1	3	150	335
vgsal66	l66	1964	SA	D	29	6,5	24,6	73,6	106,8	2	0	0,3	73,9	3	0,1	6,3	2	160	310
vgsal67	l67	1091	SA	D										0,0	2,6	2	100	160	
vgsal68	l68	1579	SA	D	27	8	27,9	82,0	115,8	6	1	4,3	86,3	1	0,1	5,9	2	125	250
vgsal69	l69	1740	SA	D	25,5	6	18,8	41,3	54,3	3	0	14,1	55,4	2	0,1	9,3	3	170	385
vgsal70	l70	1962	SA	D	25	5	20,5	42,3	66,1	2	0	1,7	44,0	3	0,1	4,5	2	140	230
vgsal71	l71	1726	SA	D	25	7	18,7	39,4	49,5	5	1	6,0	45,5		0,1	5,4	3	110	290

Name	Baum				Steckholz						Wurzeln				oberirdischer Teil				
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V _d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Trieb längensumme L _{ges}	
																			N
vgspm2	m2	5723	SP	A	35	3,5	27,2	127,2	183,0	23	1	48,1	175,4		0,4	26,9	4	210	810
vgspm3	m3	9122	SP	A	24	0	54,8	251,0	566,5	23	5	350,6	601,6		3,8	89,2	4	360	3550
vgspm31	m31	4538	SP	A	28,5	13,5	22,0	82,1	56,9	6	2	2,3	84,4		0,2	5,4	2	210	400
vgspm32	m32	4634	SP	A	33	4	25,5	121,3	148,1	6	0	1,8	123,1	5	0,4	14,8	5	200	850
vgspm33	m33	4429	SP	A	28	4,5	27,9	123,9	143,2	12	4	3,7	127,6	5	0,3	12,1	4	200	710
vgspm34	m34	5500	SP	A	27,5	4	28,4	123,8	149,3	18	3	19,8	143,6	2	0,5	20,4	4	210	770
vgspm36	m36	3315	SP	A	33	7	20,5	80,6	85,7	2	0	0,1	80,6		0,2	6,6	4	190	620
vgspm4	m4	21949	SP	A	39	9,5	37,0	200,5	317,2	23	0	55,5	255,9		1,8	45,7	6	250	1370
vgspm40	m40	1859	SP	B											0,1	7,4	9	130	790
			SP		27	6,5	19,7	53,8	62,5	10	3	2,7	56,5		0,1	6,3	7	100	545
vgspm47	m47	1301	SP	B	24	6,5	21,7	58,1	64,8	2	0	0,1	58,2	4	0,1	6,7	5	140	495
vgspm5	m5	7165	SP	A	31	10	50,2	416,3	416,3	31	8	223,7	640,1		3,5	64,3	6	460	3910
vgspm50	m50	1608	SP	C	28	6	16,1	40,5	44,7	3	0	1,1	41,6	1	0,0	4,0	3	145	385
vgspm51	m51	1953	SP	C	31	11	20,6	65,7	66,9	7	0	4,8	70,6		0,1	8,6	6	160	730
vgspm52	m52	1503	SP	C	26,5	8,5	20,0	47,6	56,7	7	1	1,3	48,9		0,0	3,6	4	100	275
vgspm53	m53	2484	SP	C	27	4,5	19,4	55,2	66,2	6	1	7,0	62,2	1	0,1	6,6	3	180	490
vgspm54	m54	1787	SP	C	24,5	7,5	21,7	74,1	62,9	8	0	8,3	82,4	3	0,1	8,7	4	160	530
vgspm6	m6	4948	SP	A	36	10	43,4	302,1	384,3	23	0	43,0	345,1		0,4	41,1	7	250	1145
vgspm63	m63	2079	SP	D	32	4	19,0	67,7	79,0	6	3	1,5	69,2	5	0,2	8,4	6	160	725
vgspm64	m64	1441	SP	D	31	6,5	15,0	44,2	43,2	5	2	1,0	45,2	2	0,1	3,9	2	160	260
vgspm65	m65	1659	SP	D	26	2,5	15,5	44,1	44,5	11	3	2,6	46,7		0,1	5,8	5	165	620
vgspm66	m66	1613	SP	D	25	6	19,5	52,1	56,9	4	2	2,6	54,7	3	0,1	139,4	3	130	320
vgspm67	m67	2351	SP	D	31	8,5	18,2	52,2	58,5	9	0	4,5	56,7		0,1	4,4	4	150	435
vgspm68	m68	2196	SP	D	27,5	7,5	18,9	57,1	55,9	4	2	1,8	59,0	1	0,0	4,6	7	90	535
vgspm69	m69	1960	SP	D	28,5	5,5	15,0	37,5	40,9	6	0	0,9	38,4	1	0,0	2,3	2	110	117
vgspm70	m70	1197	SP	D	24	7	17,7	49,7	42,0	4	0	0,7	50,5	2	0,0	4,1	4	100	350
vgspm71	m71	1811	SP	D											0,1	4,3	3	145	392
vgspn1	n1	3044	SP	A											1,1	7,3	3	240	630
vgspn3	n3	5790	SP	A	27,5	0	38,0	143,3	311,2	27	2	54,7	198,0	8	1,7	50,0	6	210	1210
vgspn31	n31	4194	SP	A	31	5	25,9	128,3	136,5	16	0	9,5	137,7		0,4	17,9	4	230	850
vgspn32	n32	3219	SP	A	29	4,5	27,2	103,8	142,6	8	2	1,9	105,7		0,2	5,2	2	210	390
vgspn33	n33	2321	SP	A	27	7	23,8	88,4	89,0	4	1	0,6	89,0		0,1	4,8	1	200	200
vgspn34	n34	3283	SP	A	27	9	24,6	85,0	85,3	10	1	5,8	90,7	1	0,1	5,4	2	160	300
vgspn36	n36	3003	SP	A	29,5	5	25,3	102,7	122,7	3	0	0,4	103,1		0,0	2,4	3	100	220
vgspn37	n37	2184	SP	A	21,5	5,5	18,2	38,2	41,7	4	0	1,4	39,6	1	0,1	4,6	2	160	265
vgspn38	n38	2291	SP	A	27	0	23,8	80,3	119,8	9	2	2,3	82,6	1	0,1	5,6	2	120	240
vgspn4	n4	7065	SP	A	34,0	5,5	37,5	430,5	314,4	21		175,1	605,7	5	3,0	68,1	3	360	3490
vgspn40	n40	2104	SP	B											0,0	1,0	2	50	90
			SP		33	5	17,9	54,4	70,7	5	0	1,0	55,3	1	0,1	7,7	8	140	735
vgspn42	n42	1872	SP	B	26	5	23,2	84,4	88,5	9	1	2,4	86,8		0,1	6,4	7	120	505
vgspn47	n47	1171	SP	B	23	0	23,7	65,0	101,6	3	3	0,3	65,3		0,0	2,9	2	120	180
vgspn5	n5	4449	SP	A	36	11	34,9	245,6	238,6	20	0	30,7	276,3	2	1,3	32,9	6	275	1480
vgspn50	n50	693	SP	C											0,0	2,9	2	70	115
vgspn51	n51	933	SP	C	22	7	17,4	30,2	35,5	3	0	1,0	31,1		0,0	3,8	4	90	245
vgspn52	n52	1361	SP	C	26,5	6,5	16,6	42,4	43,2	8	0	0,7	43,1		0,1	4,1	4	130	400
vgspn53	n53	1714	SP	C											0,0	2,3	2	75	130
vgspn54	n54	2462	SP	C											0,1	4,4	3	135	280
vgspn6	n6	11431	SP	A											2,6	167,6	5	450	5240
vgspn63	n63	2574	SP	D	25	4,5	24,8	79,5	99,2	9	2	8,5	88,0	4	0,2	8,2	4	170	577
vgspn64	n64	2335	SP	D	24,5	2	18,4	46,5	59,6	18	4	13,6	60,1		0,2	10,9	5	140	610
			SP		29,5	5,5	29,7	135,9	166,6	4	0	0,2	136,2	1	0,0	3,2	4	90	345
vgspn66	n66	1283	SP	D	24	6	24,6	84,8	85,6	9	3	5,3	90,1	2	0,1	7,2	4	130	420
vgspn67	n67	1225	SP	D	28,5	8,5	21,4	77,7	72,0	12	0	4,0	81,6		0,1	4,1	5	120	525
vgspn68	n68	1494	SP	D	24,5	4,5	17,4	42,6	47,8	10	0	2,5	45,1		0,0	4,3	3	110	280

Name	Baum				Steckholz					Wurzeln					oberirdischer Teil				
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V _d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Triebliängensumme L _{Ges}	
	N				cm	cm	mm	g	cm ³		g	g		l	cm ²		cm	cm	
vgspn69	n69	1524	SP	D	21,5	3	24,4	68,0	86,5	17	1	4,1	72,1	3	0,1	5,2	3	110	280
vgspn70	n70	1642	SP	D	22	2	25,4	87,2	101,0	10	2	3,6	90,7	1	0,1	6,6	3	130	340
vgspn71	n71	2094	SP	D	26,5	6	21,7	62,9	76,0	5	0	0,5	63,4		0,0	4,5	3	115	265
vgspo2	o2	5199	SP	A	34	13	26,2	128,7	113,6	34	3	67,1	195,8	2	1,1	32,3	5	200	920
vgspo31	o31	4088	SP	A	26	4	29,7	133,4	152,6	11	0	7,5	140,9		0,6	23,1	6	220	1290
vgspo32	o32	2981	SP	A	26,5	3,5	23,4	86,5	98,7	6	3	7,2	93,7	2	0,2	8,1	3	200	550
vgspo33	o33	3161	SP	A	33,5	5	17,6	62,7	69,4	5	1	1,1	63,8		0,2	5,1	3	180	375
vgspo34	o34	3298	SP	A	29	6	29,7	155,0	159,4	6	0	1,4	156,4	2	0,2	13,1	9	160	1040
			SP		31,5	4	28,8	129,7	179,1	9	0	2,0	131,7	1	0,2	12,1	4	160	580
vgspo36	o36	2237	SP	A											0,0	1,2	2	70	135
vgspo4	o4	2161	SP	A	36	3	26,6	123,6	183,0	25	0	17,2	140,8		0,4	12,4	4	205	720
vgspo40	o40	1893	SP	B	31	4	19,6	63,5	81,6	4	2	0,4	63,9	2	0,0	3,4	3	130	265
vgspo41	o41	2296	SP	B	28	7	23,1	77,0	87,8	2	0	0,4	77,3	1	0,1	6,9	4	110	380
vgspo42	o42	1850	SP	B											0,1	11,0	4	170	515
vgspo43	o43	2097	SP	B	31	10	24,1	105,9	95,6	2	0	0,6	106,5	3	0,1	5,5	4	150	490
vgspo44	o44	1454	SP	B	26	5	22,4	72,2	83,0	6	2	5,8	78,0		0,2	10,1	6	180	840
vgspo45	o45	2634	SP	B	34	6	21,9	86,4	105,4	7	0	0,9	87,3		0,0	6,0	5	160	660
vgspo46	o46	2007	SP	B											0,1	6,8	4	155	500
			SP												0,2	12,5	6	130	445
vgspo47	o47	1145	SP	B											0,0	1,8	2	80	125
			SP												0,0	4,4	5	120	370
vgspo51	o51	1253	SP	C	25	5,5	18,4	40,6	51,6	2	0	0,2	40,8	2					
vgspo52	o52	1130	SP	C	24	4,5	19,4	47,3	57,8	10	0	1,9	49,2		0,0	3,0	2	130	220
vgspo54	o54	2016	SP	C	22	4	19,2	49,5	52,2	11	0	9,4	58,9	2	0,2	13,3	6	220	940
vgspo6	o6	5208	SP	A											2,4	52,3	4	300	1030
vgspo60	o60	536	SP	C	25	5	21,0	53,1	69,5	1	1	0,0	53,1		0,0	0,8	1	80	80
vgspo63	o63	2448	SP	D	31	3	21,6	85,6	102,6	11	3	10,4	96,0	4	0,5	14,3	5	150	670
vgspo64	o64	2082	SP	D	27	5,5	22,8	81,8	87,5	8	0	6,5	88,3	4	0,1	10,2	5	150	545
vgspo65	o65	836	SP	D	20,5	3	23,0	55,5	72,6	13	0	5,2	60,7		0,1	4,0	3	140	340
vgspo66	o66	1676	SP	D	28	5	20,3	61,5	74,1	8	0	5,9	67,4	2	0,1	6,7	4	160	530
vgspo67	o67	545	SP	D	26,5	7	23,9	84,3	87,6	8	0	2,6	87,0		0,0	2,3	2	90	175
vgspo68	o68	1881	SP	D	31,5	7	25,2	116,8	121,7	8	0	1,4	118,2	1	0,1	6,1	6	135	542
vgspo69	o69	1259	SP	D	23,5	4	23,0	78,9	81,0	12	1	3,5	82,4	2	0,1	3,0	2	115	220
vgspo70	o70	1326	SP	D	21,5	4	23,3	63,4	74,6	11	1	3,8	67,2		0,0	3,6	3	120	320
vgspo71	o71	1282	SP	D	23	3,5	18,8	41,1	54,3	8	0	3,0	44,1		0,1	3,3	2	120	240
vgssp1	p1	2248	SP	A	37	12,5	22,0	66,0	93,0	18	2	5,6	71,6	4	0,1	13,6	4	170	520
vgssp3	p3	4666	SP	A	40	11	27,9	153,8	176,9	26	3	38,1	191,9	3	0,4	30,5	4	230	815
vgssp32	p32	2035	SP	A	28	5,5	27,9	113,1	137,9	7	1	5,7	118,9	2	0,5	8,7	5	160	620
vgssp33	p33	2114	SP	A	31	5	20,4	63,2	85,2	4	0	0,7	63,9	1	0,0	1,8	1	100	100
vgssp34	p34	3099	SP	A	28,5	6	23,4	85,8	96,8	11	0	4,6	90,5	2	0,2	11,9	5	170	710
vgssp35	p35	3174	SP	A	28	3	22,1	73,7	95,6	7	0	3,6	77,3		0,1	10,2	6	170	615
vgssp36	p36	3373	SP	A															
vgssp40	p40	1345	SP	B	24,5	6	16,8	35,7	41,0	3	2	0,6	36,3		0,1	7,9	2	140	180
vgssp41	p41	2000	SP	B	28,5	10,5	18,8	53,5	49,7	2	1	0,4	53,9	3	0,1	7,0	3	150	390
vgssp42	p42	981	SP	B	25,5	5	23,2	72,5	86,4	1	1	0,4	72,9	1	0,1	4,4	3	130	295
vgssp43	p43	1227	SP	B	25	6	27,7	99,9	114,7	1	0	0,1	100,0		0,0	3,9	4	120	305
vgssp44	p44	1722	SP	B	30	0	13,8	38,4	44,6	1	1	0,4	38,9	2	0,1	4,7	4	150	440
vgssp45	p45	1443	SP	B	28	7,5	22,7	68,9	82,8	2	0	2,1	71,0	1	0,0	4,1	4	140	375
vgssp46	p46	1013	SP	B	20,5	9	24,8	59,6	55,7	2	1	0,7	60,3	1	0,0	2,1	2	110	175
vgssp47	p47	1962	SP	B	27	3	23,2	79,6	101,1	4	2	1,4	81,0	1	0,0	3,7	5	160	475
vgssp5	p5	4925	SP	A	36	15	32,6	144,6	174,7	26	1	30,7	175,3		0,5	30,4	6	300	1530
vgssp50	p50	715	SP	C	26,5	7	17,3	43,4	45,6	4	0	0,1	43,5		0,0	0,2	5	20	20
vgssp51	p51	1263	SP	C											0,0	0,5	2	20	40
vgssp52	p52	1250	SP	C	29	8	23,6	78,5	91,6	2	0	0,3	78,8		0,0	2,7	4	70	190

Name	Baum				Steckholz						Wurzeln				oberirdischer Teil				
	Koordinaten	Auszugswiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V _d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Triebhängensumme L _{ges}	
																			N
vgssp53	p53	1174	SP	C	25,5	9	26,7	87,9	92,5	2	0	0,4	88,2		0,0	2,1	3	65	175
vgssp54	p54	1965	SP	C	27	5,5	19,9	65,9	66,5	2	0	6,2	72,1	2	0,0	3,0	2	140	280
vgssp55	p55	2271	SP	C	29,5	3,5	19,5	55,5	77,4	4	1	0,8	56,3		0,0	2,4	4	115	345
vgssp56	p56	1503	SP	C	25	2,5	19,4	59,6	66,4	3	0	0,6	60,2	1	0,0	3,7	9	85	569
vgssp57	p57	1701	SP	C											0,0	1,6	2	95	175
vgssp58	p58	1479	SP	C	25	5	20,9	58,2	68,7	7	1	1,3	59,6		0,0	3,1	4	125	355
vgssp59	p59	1727	SP	C	18	1,5	19,3	33,2	48,4	9	0	4,9	38,1		0,1	7,1	4	200	570
vgssp60	p60	958	SP	C											0,0	0,7	2	30	60
vgssp63	p63	1864	SP	D	27	4	25,6	87,5	118,7	2	1	2,1	89,6	2	0,1	4,3	3	175	427
vgssp64	p64	1143	SP	D	20	4	18,3	39,6	42,2	3	0	1,2	40,8	3	0,1	4,9	3	130	310
vgssp65	p65	1249	SP	D	26	3,5	19,6	53,5	67,7	9	0	1,5	55,0						
vgssp66	p66	983	SP	D	23	5,5	19,0	45,7	49,4	4	1	0,4	46,1		0,0	2,5	2	70	120
vgssp68	p68	1072	SP	D	21	4	22,6	51,6	68,4	4	0	0,3	51,9		0,0	2,9	2	80	150
vgssp69	p69	2601	SP	D	28,5	4,5	25,1	96,1	118,7	10	0	2,2	98,3	2	0,1	6,1	6	130	720
vgssp70	p70	1503	SP	D															
vgssp71	p71	1305	SP	D	27	3,5	17,4	40,7	55,7	1	1	0,7	41,4	3	0,0	3,0	3	90	215
vgspq2	q2	5443	SP	A	40	11	30,6	200,4	212,6	31	0	57,7	258,1	1	0,8	35,0	5	205	950
vgspq4	q4	6609	SP	A	29	0	33,8	148,9	259,9	35	3	128,7	277,6		0,4	51,9	5	270	1230
vgspq6	q6	6256	SP	A	38	5	31,0	210,5	248,6	38	0	72,7	283,3		1,3	34,7	5	275	972
vgSpr1	r1	3178	SP	A	40,5	11	25,0	140,7	144,3	25	6	38,9	179,6		0,4	23,7	6	220	1140
vgSpr3	r3	4741	SP	A									122,5		0,4	27,1	4	255	3721
vgSpr5	r5	4743	SP	A	34,5	8,5	35,7	266,2	260,1	31	0	88,9	355,2	2	1,6	48,5	15	210	2580
vgSps2	s2	3717	SP	A	32	13	27,3	146,0	111,1	13	2	28,4	174,3	1	0,3	25,4	5	200	910
vgSps4	s4	2589	SP	A	36	7,0	23,3	95,8	124,1	10		6,2	101,9	1	0,1	7,6	2	200	370
vgSps6	s6	7142	SP	A	32	0	42,2	323,5	448,2	16		69,0	392,5	3	1,6	59,2	7	250	1550
vgSpt1	t1	1731	SP	A	34	10	30,8	168,0	178,4	35	4	74,1	242,1	1	1,1	29,8	4	240	910
vgSpt3	t3	4528	SP	A									78,4		0,3	14,4	3	240	1590
vgSpt5	t5	5589	SP	A	32,5	0	31,2	131,4	248,5	35	2	48,0	179,4	1	0,9	24,9	5	250	1130
vgSpu4	u4	32428	SP	A	31	0	34,2	116,2	285,3	31	4	76,2	192,4	3	1,5	44,4	5	270	1180
vgSpu6	u6	7261	SP	A	25	0	46,4	249,6	421,8	19	2	112,0	361,6	3	2,6	79,6	10	285	7085
vgSvp1	v1	6938	SP	A															
vgSvp3	v3	3459	SP	A	24	0	28,5	85,7	153,4	22		23,6	109,3	3	0,9	29,3	4	260	2621
			SP										320,3		2,0	67,9	6	330	6947
vgsvw10	w10	4194	SV	A	33	0	29,4	93,9	224,3	12	2	12,6	106,5	2	2,8	38,8	2	360	3840
vgspw2	w2	8399	SP	A	36	8	32,9	259,7	238,0	26	5	60,2	319,9	2	2,1	50,1	4	260	990
			SP		25,5	2,5	20,0	66,7	72,3	2	0	0,7	67,4	2	0,1	7,3	2	180	350
			SV		25	0	23,9	72,2	111,8	1	0	0,8	73,0	1	0,1	6,1	2	210	325
vgspw4	w4	10427	SP	A	27	0	32,3	159,6	221,5	28		76,9	236,5	5	2,6	75,3	5	330	6367
vgsvw8	w8	9775	SV	A	31	0	49,8	287,9	604,8	17	1	105,3	393,2	1	7,2	125,6	5	465	9934
vgSpx1	x1	5317	SP	A	22	0	23,8	65,1	97,9	25	4	39,4	104,5		0,8	14,2	3	270	3825
vgSpx19	x19	8334	SP	A	31	0	31,0	194,2	233,4	29		88,4	282,6		3,1	66,5	5	310	4764
			SE												0,1	9,1	5	230	640
			SE		24,5	2	19,5	51,8	67,3	4	0	6,2	58,0	2	0,1	3,5	2	190	320
			SE												0,2	7,0	3	180	510
			SE		25	3,5	22,1	71,3	82,8	2	0	1,1	72,4	2	0,1	7,9	3	220	470
			SE		32	6	20,8	61,2	88,2	3	0	1,7	62,9	1	0,1	8,7	4	220	570
			SP		26	5,5	22,8	86,7	83,9	16	1	5,2	91,8	3	0,2	9,5	5	180	780
			SP		27	7	20,2	58,2	64,1	6	2	1,2	59,3	2	0,1	4,2	4	110	385
vgSpx3	x3	6743	SP	A	27	0	29,6	133,6	185,7	27	2	82,6	216,2	4	2,3	63,1	7	300	6200
vgSpx5	x5	5086	SP	A	22,5	0	41,1	219,2	298,4	32		72,0	291,2	5	1,8	73,6	15	270	8703
vgsvx7	x7	11735	SV	A									496,9		8,1	144,7	6	430	9289
vgsvx9	x9	8314	SV	A									340,6		7,0	106,0	5	425	11740
vgsvy10	y10	10115	SV	A	29	0	47,2	254,1	506,6	21		62,5	316,6	4	8,6	114,9	2	425	13148
vgspy18	y18	9185	SP	A	31	0	24,0	107,1	140,6	34	4	34,9	142,1		2,2	49,7	3	315	3697

Baum					Steckholz					Wurzeln				oberirdischer Teil					
Name	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Länge Steckholz	Anteil über Grund L ₀	Steckholz- durchmesser	Masse Steckholz	effektives Steckholzvolumen	Anzahl > 0,5 mm davon Wundwurzeln	Masse Wurzeln	Masse unterird. gesamt	geschätzt: Anzahl fehlender Wurzeln	Oberird. Volumen V _d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L _{max}	Trieb längensumme L _{ges}	
																			N
vgspy2	y2	7647	SP	A	29	0	41,7	238,5	395,5	37	74,7	313,2	2	1,5	69,0	6	270	1370	
			SE		27,5	7,5	21,7	73,4	74,0	5	1	1,7	75,1	5	0,1	7,2	4	180	650
			SP		27,5	6	28,1	113,2	132,9	3	2	5,4	118,6		0,1	7,2	3	185	450
			SV		27	7	21,7	66,6	74,2	2	0	2,1	68,7	2	0,2	10,0	3	210	500
vgspy4	y4	6382	SP	A	23	0	44,2	171,6	352,7	20	4	71,5	243,1	5	2,8	64,9	6	310	7860
vgsvy8	y8	6345	SV	A	33	0	32,0	127,2	265,4	23	6	58,4	185,6	1	3,9	54,1	2	430	5382
vgspz1	z1	7877	SP	A								313,2		1,2	55,1	7	280	4179	
vgspz17	z17	5733	SP	A	28,5	0	31,3	158,4	219,7	13		44,2	202,6	2	1,8	36,7	3	290	3931
vgspz19	z19	7724	SP	A	29	0	32,1	181,2	234,0	25	2	64,6	245,8	2	2,9	74,0	6	350	5555
			SE		25,5	0	18,2	44,3	66,2	1	0	0,0	44,3		0,0	0,8	1	65	65
			SP		26,5	5,5	23,1	85,5	87,6	7	0	4,4	89,9	2	0,2	17,4	8	200	1120
			SP		26	5	24,5	87,3	99,0	3	1	2,5	89,8	2	0,1	6,2	3	150	375
vgspz3	z3	11242	SP	A	36,5	7,5	29,3	211,3	195,9	25	6	67,8	279,2	1	1,6	51,2	4	300	1030
vgspz5	z5	3850	SP	A	35	7	31,3	160,3	215,3	28		22,0	182,3	1	0,7	29,1	6	230	1100
vgsvz7	z7	9694	SV	A								437,2		7,3	128,8	4	420	8632	
vgsvz9	z9	11227	SV	A								441,6		7,2	139,9	6	425	8468	

Andere Laubgehölze

Name	Baum				oberirdischer Teil				
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Oberird. Volumen V_d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe Lmax	Trieb längensumme Lges
		N			l	cm ²		cm	cm
vgfea11	A11	4690	FE	A	0,16	13,59	1	96	277
vgfea13	A13	3660	FE	A	0,17	13,36	1	71	203
vgfea16	A16	5010	FE	A	0,27	19,24	1	128	128
vgfea18	A18	4411	FE	A	0,38	27,51	1	128	231
vgaga20	A20	2874	AG	A	1,188	34,63	1	265	265
vgaga22	A22	4409	AG	A	1,122	45,01	2	280	470
vgaga24	A24	2680	AG	A	1,056	32,57	1	260	260
vgaga26	A26	4412	AG	A	1,32	47,54	1	225	225
vgaga28	A28	4556	AG	A	1,65	41,62	1	260	260
vgaga30	A30	4380	AG	A	1,452	49,02	1	230	230
vgfea9	A9	2687	FE	A	0,11	9,08	1	109	109
vgfeb10	B10	3359	FE	A	0,13	11,28	1	125	244
vgfeb13	B13	2752	FE	A	0,10	11,82	1	109	109
vgfeb15	B15	2232	FE	A	0,18	10,99	1	97	97
vgfeb17	B17	3474	FE	A	0,00	15,48	1	120	120
vgagb19	B19	3031	AG	A	1,056	28,84	1	240	240
vgagb21	B21	5131	AG	A	0,726	46,81	1	290	290
vgaib23	B23	5266	AI	A	1,914	47,78	1	370	370
vgagb25	B25	2939	AG	A	0,594	23,41	1	195	195
vgagb27	B27	4014	AG	A	1,386	41,85	1	265	265
vgagb29	B29	3548	AG	A	0,792	31,17	1	200	200
vgfeb9	B9	4073	FE	A	0,73	39,59	1	210	210
vgfec10	C10	1335	FE	A	0,19	5,98	1	93	93
vgfec12	C12	2610	FE	A	0,13	9,73	1	71	71
vgfec14	C14	3479	FE	A	0,22	13,99	1	128	128
vgfec16	C16	3510	FE	A	0,15	13,72	1	101	188
vgfec18	C18	5549	FE	A	0,32	22,97	1	139	139
vgagc20	C20	4422	AG	A	1,65	40,49	1	300	300
vgagc22	C22	5333	AG	A	0,924	36,10	1	280	280
vgagc24	C24	3818	AG	A	1,65	33,59	1	310	310
vgagc28	C28	5824	AG	A	2,244	65,33	1	270	270
vgagc30	C30	4887	AG	A	1,254	47,29	1	260	260
vgfec8	C8	3637	FE	A	0,13	9,40	1	115	115
vgfec9	C9	4526	FE	A	0,66	40,26	1	170	170
vgfed11	D11	2758	FE	A	0,47	26,45	1	191	191
vgfed13	D13	1733	FE	A	0,21	15,48	1	131	154
vgfed15	D15	1917	FE	A	0,08	7,14	1	94	94
vgfed17	D17	2982	FE	A	0,28	16,83	1	159	159
vgaid19	D19	4337	AI	A	1,32	38,48	1	290	290
vgagd21	D21	5371	AG	A	2,244	67,64	1	320	320
vgagd23	D23	5249	AG	A	1,584	52,30	1	330	330
vgagd25	D25	3279	AG	A	1,122	31,77	1	335	335

Baum					oberirdischer Teil				
Name	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Oberird. Volumen V_d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L_{max}	Trieb längensumme L_{ges}
		N			l	cm ²		cm	cm
vgagd27	D27	4549	AG	A	2,112	36,75	1	280	280
vgagd29	D29	3455	AG	A	1,452	44,18	1	275	275
vgfed8	D8	6209	FE	A	0,59	25,52	1	210	210
vgfed9	D9	1516	FE	A	0,10	10,43	1	117	117
vgfee10	E10	3155	FE	A	0,13	8,52	1	103	103
vgfee12	E12	2097	FE	A	0,21	16,17	1	135	135
vgfee14	E14	3878	FE	A	0,18	12,57	1	116	116
vgfee16	E16	3935	FE	A	0,19	13,58	1	103	294
vgfee18	E18	2639	FE	A	0,21	14,86	1	159	187
vgage20	E20	5687	AG	A	1,386	45,13	1	280	280
vgage22	E22	3868	AG	A	2,244	90,26	1	290	290
vgaie24	E24	6380	AI	A	3,168	64,47	1	390	390
vgage26	E26	4207	AG	A	2,376	50,01	1	290	290
vgage28	E28	5202	AG	A	2,046	55,95	1	290	290
vgage30	E30	5428	AG	A	1,716	55,47	2	265	530
vgfee8	E8	4484	FE	A	0,31	21,07	1	148	228
vgfef11	F11	3373	FE	A	0,24	16,08	1	137	137
vgfef13	F13	1776	FE	A	0,12	5,98	1	92	92
vgfef15	F15	3530	FE	A	0,14	9,08	1	110	110
vgfef17	F17	2797	FE	A	0,08	6,97	1	100	100
vgagf19	F19	5773	AG	A	1,32	50,77	1	280	280
vgagf21	F21	3342	AG	A	1,32	40,49	1	285	285
vgaif23	F23	3435	AI	A	3,3	69,40	1	380	380
vgagf25	F25	4291	AG	A	2,376	67,36	3	310	890
vgagf27	F27	5779	AG	A	2,376	64,18	1	380	380
vgagf29	F29	6793	AG	A	1,98	80,75	1	270	270
vgfef8	F8	3345	FE	A	0,66	30,58	1	190	190
vgfef9	F9	2674	FE	A	0,26	15,34	1	125	125
vgfeg10	G10	2901	FE	A	0,17	13,20	1	107	107
vgfeg12	G12	2030	FE	A	0,09	8,04	1	105	193
vgfeg14	G14	3979	FE	A	0,50	24,42	1	182	182
vgfeg16	G16	6235	FE	A	0,52	31,88	1	181	235
vgfeg18	G18	2199	FE	A	0,17	9,29	1	129	129
vgagg20	G20	5704	AG	A	2,244	69,40	1	350	350
vgaig24	G24	7261	AI	A	4,62	88,91	1	420	420
vgagg26	G26	6419	AG	A	2,77	67,06	1	340	1000
vgagg28	G28	6333	AG	A	2,64	60,27	1	350	350
vgagg30	G30	4692	AG	A	2,112	63,33	1	320	320
vgfeh11	H11	2948	FE	A	0,44	26,23	1	139	310
vgfeh13	H13	4026	FE	A	0,32	23,72	1	138	138
vgfeh15	H15	6750	FE	A	0,31	17,65	1	156	156
vgfeh17	H17	8568	FE	A	0,60	29,68	1	189	217

Name	Baum				oberirdischer Teil				
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Oberird. Volumen V_d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe Lmax	Trieb längensumme Lges
		N			l	cm ²		cm	cm
vgagh19	H19	7715	AG	A	3,498	85,60	1	350	350
vgagh21	H21	5888	AG	A	2,24	66,48	1	325	955
vgagh23	H23	6672	AG	A	3,234	72,08	1	360	360
vgagh25	H25	7541	AG	A	1,65	47,05	1	350	350
vgagh27	H27	8999	AG	A	3,234	70,37	2	360	720
vgagh29	H29	5837	AG	A	2,838	79,17	1	340	340
vgfeh8	H8	5532	FE	A	0,92	53,33	1	220	220
vgfeh9	H9	3470	FE	A	0,25	16,62	1	139	139
vgfei10	I10	2940	FE	A	0,26	15,76	1	146	171
vgfei12	I12	5142	FE	A	0,39	24,27	1	152	152
vgfei14	I14	4931	FE	A	0,30	19,59	1	139	163
vgfei18	I18	5723	FE	A	0,80	35,04	1	188	398
vgagi20	I20	4789	AG	A	1,452	41,17	1	370	370
vgagi22	I22	5850	AG	A	3,17	71,48	1	365	1015
vgaii24	I24	5894	AI	A	4,026	77,91	1	410	410
vgaii26	I26	7576	AI	A	3,564	93,31	1	410	410
vgagi28	I28	6848	AG	A	1,98	59,99	1	340	340
vgaii30	I30	8848	AI	A	3,102	83,32	1	300	300
vgfei8	I8	3797	FE	A	0,39	23,41	1	154	154
vgfei9	I9	7900	FE	A	1,32	75,43	1	230	230
vgfej11	J11	5306	FE	A	0,58	27,27	1	204	311
vgfej13	J13	4386	FE	A	0,29	24,84	1	97	191
vgfej15	J15	5287	FE	A	0,30	27,11	1	127	177
vgfej17	J16	7649	FE	A	0,93	61,70	1	204	443
vgagj19	J19	9231	AG	A	4,818	192,08	3	420	1260
vgagj21	J21	12487	AG	A	2,77	59,72	1	300	900
vgagj23	J23	4293	AG	A	3,036	105,89	2	365	685
vgagj25	J25	6622	AG	A	3,234	96,19	2	370	730
vgagj27	J27	5291	AG	A	2,376	64,18	1	315	315
vgfej8	J8	3877	FE	A	0,46	26,06	1	170	170
vgfej9	J9	3974	FE	A	0,32	21,08	1	180	197
vgapsl11	L11	9452	APS	A	3,23	94,16	1	330	1071
vgapsl13	L13	5262	APS	A	3,17	77,02	1	365	1199,5
vgapsl15	L15	8599	APS	A	5,28	101,71	1	420	740
vgapsl17	L17	12962	APS	A	7,00	136,85	1	400	740
vgail19	L19	11644	AI	A	8,58	172,47	2	510	510
vgail20	L20	6338	AI	A	4,818	102,79	1	500	500
vgail22	L22	8250	AI	A	5,544	116,52	1	525	525
vgail24	L24	8626	AI	A	8,25	133,96	1	490	490
vgail28	L28	12082	AI	A	4,026	69,99	1	445	445
vgapsl8	L8	12322	APS	A	5,016	185,95	4	360	1070
vgapsm10	M10	8865	APS	A	2,178	68,22	1	370	370

Baum					oberirdischer Teil				
Name	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Oberird. Volumen V_d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe L_{max}	Trieb längensumme L_{ges}
		N			l	cm ²		cm	cm
vgapsm12	M12	9095	APS	A	3,76	100,38	1	430	1962
vgapsm14	M14	5065	APS	A	3,43	78,11	1	342	2340,6
vgapsm16	M16	6387	APS	A	4,95	106,73	1	425	2805
vgapsm18	M18	2762	APS	A	0,99	27,79	1	285	737,5
vgaim20	M20	10618	AI	A	5,412	81,07	1	470	470
vgaim21	M21	7229	AI	A	5,15	88,25	1	550	550
vgaim23	M23	10739	AI	A	4,88	69,99	1	480	480
vgaim27	M27	10041	AI	A	3,432	62,21	1	430	430
vgaim29	M29	6363	AI	A	2,38	77,91	1	380	380
vgapsm8	M8	9415	APS	A	3,83	90,05	1	375	1833,5
vgapsn11	N11	4591	APS	A	2,90	58,43	1	410	1880
vgapsn13	N13	6910	APS	A	5,64	99,31	1	390	1700
vgapsn15	N15	6799	APS	A	3,43	80,27	1	445	2133,5
vgapsn17	N17	2982	APS	A	1,98	44,77	1	410	1449
vgain19	N19	6831	AI	A	2,508	106,41	1	480	480
vgain21	N21	8991	AI	A	7,26	106,41	1	55	55
vgain22	N22	6955	AI	A	7,194	123,11	1	550	550
vgain24	N24	9487	AI	A	6,072	93,66	1	510	510
vgain26	N26	8959	AI	A	7,128	104,23	1	510	510
vgain28	N28	8492	AI	A	3,3	61,93	1	430	430
vgapso9	N9	3465	APS	A	1,19	31,84	1	270	870
vgapso10	O10	4695	APS	A	1,91	60,13	1	270	933
vgapso12	O12	6374	APS	A	3,43	82,47	1	445	2066,5
vgapso14	O14	4786	APS	A	3,56	66,43	1	435	2224,5
vgapso16	O16	6859	APS	A	4,42	99,41	1	440	2420
vgapso18	O18	10184	APS	A	7,722	119,98	1	380	380
vgαιο20	O20	7736	AI	A	3,168	75,74	1	390	390
vgαιο22	O22	8374	AI	A	6,732	98,17	1	550	550
vgαιο23	O22	5233	AI	A	3,036	103,87	1	360	360
vgαιο25	O25	9719	AI	A	4,55	69,69	1	500	500
vgago27	O27	11411	AI	A	4,686	113,10	1	420	420
vgαιο29	O29	5978	AI	A	3,83	85,28	1	380	380
vgapso8	O8	8640	APS	A	0,66	103,68	1	440	1694
vgapsp11	P11	5626	APS	A	1,45	121,44	1	425	1197,5
vgapsp13	P13	5976	APS	A	3,432	36,44	3	315	945
vgapsp15	P15	7137	APS	A	1,914	60,82	1	360	360
vgapsp17	P17	4515	APS	A	1,52	45,36	1	270	1045
vgaip19	P19	5578	AI	A	1,716	51,53	1	410	410
vgaip21	P21	3349	AI	A	2,904	63,62	1	420	420
vgaip23	P23	6171	AI	A	5,28	103,51	1	505	505
vgaip24	P24	4268	AI	A	4,818	103,87	1	500	500
vgaip26	P26	7281	AI	A	2,112	45,13	1	430	430

Name	Baum				oberirdischer Teil				
	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Oberird. Volumen V_d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe Lmax	Trieb längensumme Lges
		N			l	cm ²		cm	cm
vgaip28	P28	9784	AI	A	5,74	95,03	1	470	470
vgapsq12	Q12	5148	APS	A	4,75	81,21	1	440	1818
vgapsq14	Q14	7683	APS	A	4,09	90,92	1	390	1976
vgapsq16	Q16	7728	APS	A	6,07	126,68	1	440	800
vgaiq20	Q20	6117	AI	A	3,63	74,20	1	410	410
vgaiq22	Q22	4498	AI	A	1,188	42,31	1	350	350
vgaiq24	Q24	6006	AI	A	3,76	78,23	1	495	495
	Q25		AI		4,36	87,91	1	435	435
vgaiq27	Q27	12221	AI	A	2,77	52,30	1	350	350
vgaiq29	Q29	7190	AI	A	3,37	125,48	2	310	570
vgapsq8	Q8	5308	APS	A	3,10	74,50	1	460	874
vgapsr13	R13	4899	APS	A	2,97	60,55	1	360	2213
vgapsr15	R15	4717	APS	A	1,584	21,17	3	290	870
vgapsr17	R17	4648	APS	A	2,57	62,21	1	390	1395
vgair19	R21	5801	AI	A	1,452	34,63	1	355	355
vgair21	R21	3209	AI	A	2,376	53,33	1	360	360
vgair23	R23	4707	AI	A	1,98	79,52	2	330	580
vgair25	R25	8097	AI	A	4,88	105,32	1	460	460
vgair28	R28	7306	AI	A	2,57	54,37	1	320	320
vgapss14	S14	7085	APS	A	1,716	49,02	1	350	350
vgapss16	S16	10386	APS	A	5,68	115,10	1	380	2444
vgapss18	S18	4331	APS	A	1,98	53,55	1	240	1898
vgais20	S20	5098	AI	A	1,716	51,78	1	380	380
vgais22	S22	5768	AI	A	2,178	55,15	1	385	385
vgais24	S24	5487	AI	A	2,706	57,82	1	400	400
vgais26	S26	6053	AI	A	2,706	60,27	1	410	410
vgais27	S27	4941	AI	A	2,178	52,30	1	305	305
vgapss8	S29	6904	AI	A	0,53	28,09	1	210	210
vgapst15	S8	2945	APS	A	12,21	71,48	1	380	1424
vgapst17	T17	3610	APS	A	1,386	33,18	1	320	320
vgait19	T19	5299	AI	A	1,98	43,24	1	355	355
vgait21	T21	3560	AI	A	1,188	57,01	1	370	370
vgait23	T23	3570	AI	A	1,584	42,54	1	350	350
vgait25	T25	4660	AI	A	2,112	51,02	1	390	390
vgait27	T27	6814	AI	A	1,72	62,21	1	335	335
vgait28	T28	6509	AI	A	0,73	39,13	2	220	440
vgait29		2711		A					
vgapsu10		6433		A					
vgapsu16	U16	7932	APS	A	3,168	174,00	3	345	1035
vgapsu18	U18	6407	APS	A	4,818	96,07	1	470	470
vgaiu20	U20	7039	AI	A	3,564	83,65	1	400	400
vgaiu22		5895		A					

Baum					oberirdischer Teil				
Name	Koordinaten	Auszugwiderstand	Baumart	Boden	Oberird. Volumen V_d	Summe WHA	Anz. Triebe	Höhe Lmax	Trieb längensumme Lges
		N			l	cm ²		cm	cm
vgaiu24	U24	7342	AI	A	2,508	57,01	1	350	350
vgaiu26	U26	7694	AI	A	2,244	58,63	1	330	330
vgaiu28	U28	3185	AI	A	1,518	37,39	1	270	270
vgaiu29		7240		A					
vgapsu8	U8	8164	APS	A	3,56	90,09	1	315	2352,5

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb.1	Belastungsschema bewachsener Uferböschungen (nach OPLATKA, 1997)	13
Abb.2	Wurzelgeflecht zur Bodenbewehrung	17
Abb.3	Das Verbund-Material: Boden-Wurzel	18
Abb.4	Temperatur und Niederschlag 1997: Monatsdaten der nahegelegenen Mess-Station Großenzersdorf	19
Abb.5	Temperatur und Niederschlag 1998: Monatsdaten der nahegelegenen Mess-Station Großenzersdorf	20
Abb.6	Temperatur und Niederschlag 1999: Monatsdaten der nahegelegenen Mess-Station Großenzersdorf	20
Abb.7	Die allochthonen Böden im Versuchsgarten	22
Abb.8	Schematische Darstellung der eingebrachten Böden	23
Abb.9	Die Versuchsflächen im Herbst 1999	24
Abb.10	Die Messanlage zur Bestimmung des Auszugwiderstandes	25
Abb.11	Die mittleren Auszugwiderstände [kN] der Versuchsgruppen	27
Abb.12	Die mittleren oberirdischen Volumina [l] der Versuchsgruppen	28
Abb.13	Die mittleren Summen der Triebgrundflächen bzw. Wurzelhalsflächen [cm ²] der Versuchsgruppen	29
Abb.14	Die mittleren Pflanzhöhen [mm] der Versuchsgruppen	29
Abb.15	Die mittleren Summen der Triebhöhen [mm] der Versuchsgruppen (rechts)	30
Abb.16	Die mittleren Anzahlen an Wurzeln der Weiden (links)	30
Abb.17	Die Mittelwerte der Wurzelmassen [g] aller Versuchsgruppen (rechts)	31
Abb.18	Wurzelkörper einer dreijährigen Purpurweide und einer fünfjährigen Esche	31
Abb.19	Auszugwiderstand: gleiche Weidenarten auf verschiedenen Böden	33
Abb.20	Auszugwiderstand: Verschiedene Laubholzarten unter exakt gleichen Standortbedingungen	34
Abb.21	Der Auszugwiderstand zweier Weidenarten auf verschiedenen Böden und die an vergleichbaren Individuen gemessene Strömungskraft	35
Abb.22	Der Auszugwiderstand zweier Weidenarten auf verschiedenen Böden und die an vergleichbaren Individuen gemessene Strömungskraft	35
Abb.23	Der Auszugwiderstand verschiedener Laubholz-Arten im Pflanzgarten Prad am Stilsferjoch	36
Abb.24	Die Messung der Auszugwiderstände im Südtiroler Martelltal	37
Abb.25	Auszugwiderstände gesäter und gepflanzter Grauerlen: Mediane, Quartilen, Extremwerte	38
Abb.26	Die Korrelation des Auszugwiderstandes der Grauerle mit ihrem oberirdischen Verdrängungsvolumen	39
Abb.27	Die Korrelation des Auszugwiderstandes der Grauerle mit ihrer Wurzelhalsfläche	39
Abb.28	Die Korrelation des Auszugwiderstandes der Deutschen Tamariske mit ihrem oberirdischen Verdrängungsvolumen	40
Abb.29	Auszugwiderstand der Deutschen Tamariske am Suldenbach: Median, Quartilen, Extremwerte	40
Abb.30	Habitus ausgewählter Uferpflanzen	45
Abb.31	Geometrie-Schema und Verlauf der axialen Flächenmomente W und I	45
Abb.32	Die Klimakammer zur Zwischenlagerung der Proben an der TU Wien	48
Abb.33	Stammscheiben und Würfel zur Bestimmung der Dichte und der Feuchtigkeit	49
Abb.34	Feuchtigkeit der untersuchten Proben	50
Abb.35	Die Messung des Volumens nach dem Verdrängungsprinzip von Archimedes	51
Abb.36	Dichte der untersuchten Proben	51

Abb.37	Versuchsanordnung bei der Biegeprüfung	52
Abb.38	Die einaxiale Biegeprüfanlage am Institut für Festigkeitslehre der TU Wien, Probestück in unbelastetem Zustand	52
Abb.39	Probestück in belastetem Zustand	52
Abb.40	σ - ϵ -Diagramm	54
Abb.41	Der Elastizitätsmodul und die Bruchfestigkeit, aufgeteilt auf Durchmesserklassen	56
Abb.42	Die Bruchdehnung und die Anteile plastischen bzw. elastischen Verformungs- verhaltens an der gesamten Bruchdehnung, jeweils aufgeteilt auf Durchmesser klassen	57
Abb.43	Schema eines Finiten Elementes	59
Abb.44	Finite Elemente Modell eines unbelasteten Probestückes	60
Abb.45	Finite Elemente Modell desselben Probestückes unter einer simulierten Belastung von 7,12 kN	60
Abb.46	Die Verformung des Probestückes unter einer Belastung von 7,12 kN	61
Abb.47	Modellierung einer Esche, Basisdurchmesser=4,0 cm, 4 Lastfälle	72
Abb.48	Modellierung einer Esche, Basisdurchmesser=5,0 cm, 4 Lastfälle	72
Abb.49	Modellierung einer Esche, Basisdurchmesser=7,5 cm, 4 Lastfälle	72

TABELLENVERZEICHNIS

Tab.1	Nährstoffgehalte des Bodens A	21
Tab.2	Probeanzahlen in den Untersuchungsgruppen	24
Tab.3	Auszugwiderstände [kN] zweier Weidenarten auf 4 verschiedenen Böden	32
Tab.4	Baumarten und Gruppengrößen bei den Biegeprüfungen	47
Tab.5	Mechanische Kennwerte verschiedener Holzarten	55