

Inhaltsverzeichnis

VORWORT DES PROJEKTLEITERS	III
VORWORT.....	IV
ZUSAMMENFASSUNG	V
VERWENDETE ZEICHEN UND SYMBOLE	VI
1 EINLEITUNG - AUSGANGSSITUATION	1
1.1 ALLGEMEINES.....	1
1.2 BEDEUTUNG VON UFERGEHÖLZEN	2
1.3 PROBLEMANALYSE	3
2 ZIELE	4
2.1 ZIELSETZUNG, KONZEPT.....	4
2.2 ABGRENZUNG DER UNTERSUCHUNGEN	4
2.2.1 Auszugversuche.....	4
2.2.2 Elastizitätsmessungen.....	5
2.3 ANDERE UNTERSUCHUNGEN IN DIESEM BEREICH.....	5
3 METHODEN DER UNTERSUCHUNGEN	7
3.1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	7
3.1.1 Auszugwiderstand	7
3.1.2 Elastizitätsuntersuchungen.....	8
3.2 METHODE ZUR BESTIMMUNG DES AUSZUGWIDERSTANDES.....	8
3.3.1 Versuchsanordnung im Freiland.....	10
3.3.2 Auswahl der Standorte im Freiland	12
3.3 METHODIK DER BIEGEUNTERSUCHUNGEN	12
3.3.3 Versuchsanordnung im Labor.....	15
3.4 BODENUNTERSUCHUNGEN	16
4 ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN	17
4.1 ERGEBNISSE DER AUSZUGVERSUCHE.....	17
4.1.1 Allgemein	17
4.1.2 Gesamtübersicht der Messungen.....	19
4.1.3 Einfluß der pflanzenspezifischen Parameter auf den Auszugwiderstand	20
4.1.4 Unterschiede der einzelnen Gehölzarten.....	25
4.1.5 Resultate auf den einzelnen Standorten.....	32
4.1.6 Zusammenfassung und Schlußbemerkung.....	38

4.2	ERGEBNISSE DER BIEGEUNTERSUCHUNGEN	40
4.2.1	<i>Ergebnisse E-Modul</i>	40
4.2.2	<i>Ergebnisse Biegefestigkeit</i>	41
4.2.3	<i>Durchbiegungs- und Bruchverhalten</i>	43
4.2.4	<i>Zusammenfassung - Schlußbemerkung</i>	45
5	FOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS	46
6	AUSBLICK – WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN	48
7	LITERATURANGABEN	49
8	ANHANG	52
8.1	ZEICHEN UND SYMBOLE.....	52
8.2	DATEN ZU DEN AUSZUGVERSUCHEN.....	53
8.3	DATEN ZU DEN BIEGEVERSUCHEN	60
8.4	DATEN ZU DEN BODENUNTERSUCHUNGEN.....	80
8.5	TABELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS	81

Vorwort des Projektleiters

Bei einer Tagung im Jahr 1993 hat mich der ehemalige Sektionschef für die Wildbachverbauung und Forstwirtschaft Dipl.Ing. Edwin PLATTNER auf meinen zukünftigen Lehrstuhl an der Universität für Bodenkultur Wien hin angesprochen und gemeint, ich sollte in meiner neuen Funktion auch für die Wildbachverbauung in Österreich zur Verfügung stehen. Diesen Wunsch nahm ich ernst und bald nach Dienstantritt hat es bei einem netten Heurigen ein gemeinsames Gespräch mit ihm und seinen obersten Mitarbeitern Andiel, Krissl und Rachoy gegeben. Dabei wurden die Forschungsschwerpunkte für die Ingenieurbiologie diskutiert und wichtige Themen für die Wildbachverbauung vereinbart, über die in den folgenden Jahren geforscht werden sollte.

Welche Pflanzen sind zur Ufersicherung und Bepflanzung am besten geeignet und wie müssen sie gepflegt werden? Dieser Forschungsschwerpunkt wurde von unserem Institut näher formuliert und bei einer Sektionsleitertagung in Villach im März 1995 ausführlich besprochen.

So entstand eine gute Zusammenarbeit mit der Sektion V des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft. Ein erstes Ergebnis ist die vorliegende Arbeit.

o.Univ.Prof. Dr. Florin Florineth

Arbeitsbereich für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Universität für Bodenkultur, Wien

Vorwort

Bereits in den frühen Tagen der Wildbachverbauung wurde den ingenieurbiologischen Maßnahmen als Methode zur Sanierung von Blaiken und Uferanrissen ein breiter Raum überlassen. Noch heute erfreuen uns die detailliert ausgeführten und wunderbar colorierten Plangrundlagen, auf denen die beabsichtigten Maßnahmen sehr aufwendig dargestellt worden sind.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurden vor allem in Tirol und Vorarlberg viele große Blaiken mittels Buschlagenbau und Weidencordons in einer sehr der Natur angepaßten Bauweise saniert, wo heute oftmals nicht mehr erkenntlich ist, daß einstens große Erosionsflächen die Landschaft prägten. Anschauliche Lehrfilme aus den Fünzigern demonstrieren eindrucksvoll die aufwendige, aber sehr erfolgreiche Methode.

Die hohe Zeit der Zementmörtelmauerwerke ließ die Bedeutung des funktionsgerechten Uferbewuchses etwas in den Hintergrund rücken. Erst die vermehrte Kritik an den harten und wenig der Natur angepaßten Bauweisen von Seiten der Fischerei und des Naturschutzes haben einen diesbezüglichen Umdenkprozeß eingeleitet. Heute werden vor allem auf Freilandgerinnen überwiegend Grobsteinschlichtungen als Uferschutzmaßnahmen angewandt. Diese eignen sich in hervorragender Weise zum Einbau von Stecklingen, die in kürzester Zeit ein dicht bewachsenes Ufer mit sehr naturnaher Anmutung entstehen lassen.

Der auf diese Weise stark zugenommene Einbau von Ufergehölzen hat die Frage nach der Eignung der diversen Baum- und hier vor allem Weidenarten aufkommen lassen.

Die vorliegende Arbeit ist eine der ersten, die sich in systematischer Form mit den mechanischen Anforderungen an die Ufergehölze auseinandersetzt und diesbezügliche Feldversuche ausgewertet hat, um auf diese Weise eine Antwort auf die Frage nach der Belastbarkeit der diversen Holzarten geben zu können. Auf dieser Basis ist somit ein Werk entstanden, das vor allem der Praxis Antworten auf einschlägige Fragen geben kann. Von Seiten des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft wurden diese Untersuchungen nachhaltig unterstützt, weil damit eine fundierte Grundlage für die erfolgreiche Anwendung einer naturnahen und landschaftskonformen Uferschutzmaßnahme geschaffen wurde.

Oberrat Dipl.Ing. Hubert Siegel

Leiter des Referates VC7a / Naturraumanalyse
im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft

Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung über die Wirksamkeit von Pflanzen an Wildbächen hatte das Ziel, ein umfangreiches Grundlagenwissen über die bautechnischen Eigenschaften von Bäumen und Sträuchern an Gewässern zu bekommen. Durch die Kenntnis dieser Eigenschaften soll es möglich werden, die Grenzen der Einsetzbarkeit von ingenieurbiologischen Verbauungen in der Wildbachverbauung besser abzuschätzen.

Um diese Ziele zu erreichen, sind an verschiedenen Gehölzen der Auszugwiderstand und die Elastizitätseigenschaften (E-Modul, Biegefestigkeit, Bruchmoment, Durchbiegung) untersucht worden.

Bei den Versuchen zum Auszugwiderstand hat sich gezeigt, daß ein Bereich für die Größe des zu erwartenden Auszugwiderstandes mit Hilfe der oberirdischen Pflanzenparametern Wurzelhalsdurchmesser und oberirdisches Verdrängungsvolumen angegeben werden kann.

Die umfangreichen Biegeuntersuchungen ergaben, daß an einem Sproßdurchmesser > 40mm die Elastizität für alle geprüften Gehölzarten abnimmt. Dies läßt den Schluß zu, daß ab diesem Durchmesser mit pflegenden Eingriffen (z.B. Auf-Stock-Setzen) die Elastizität der Gehölze wieder hergestellt werden kann.

Verwendete Zeichen und Symbole

σ_B	Biegespannung
F	Kraft N
$F - \max$	Bruchlast in N
ΔF	eine beliebige Kraftdifferenz in N im elastischen Verformungsbereich der Probe
d	Probendurchmesser in mm
l	Stützweite in mm
l'	Abstand der Kraftangriffspunkte in mm
E_B	Biege-Elastizitätsmodul in N/mm ²
Δf	die der Kraftdifferenz ΔF entsprechende Durchbiegung in Probenmitte in mm
β_B	die Biegefestigkeit ist die bis zum Bruch der Probe auftretende größte rechnerische Biegespannung
M	Biegemoment
W	Widerstandsmoment
d_1	mittlerer Probendurchmesser
u	Holzfeuchte in %
ρ_0	Darr-Rohdichte in g/cm ³
\min_{1-n}	kleinster gemessener Wert
\max_{1-n}	größter gemessener Wert

1 EINLEITUNG - AUSGANGSSITUATION

1.1 Allgemeines

Für KRUEDENER (1951), der den Ausdruck der Ingenieurbiologie als erster verwendet hat, ist die Ingenieurbiologie eine Ingenieurbauweise, die sich biologischer Erkenntnisse bei der Errichtung von Erd- und Wasserbauten und bei der Sicherung instabiler Hänge und Ufer bedient. Kennzeichnend dafür sind Pflanzen und Pflanzenteile, die so eingesetzt werden, daß sie als lebende Baustoffe im Laufe ihrer Entwicklung für sich, aber auch in Verbindung mit unbelebten Baustoffen eine dauerhafte Sicherung der Bauwerke erreichen. Die Ingenieurbiologie ist nicht als Ersatz, sondern als notwendige und sinnvolle Ergänzung zu rein technischen Ingenieurbauweisen zu verstehen. Die GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE e.V. (1980) definiert Ingenieurbiologie als ein biologisch- technisches Fachgebiet, das sich mit dem Gebrauch der Pflanzen im Bauwesen befaßt.

Der Einsatz von Pflanzen für technische Zwecke ist nicht neu. Doch ist das Wissen über die Verwendbarkeit und Einsatzfähigkeit von ingenieurb biologischen Verbauungen erst in den letzten zwei Jahrzehnten wieder verstärkt aufgenommen worden. Dies ist einerseits vielen Veröffentlichungen in diesem biologisch-technischen Fachbereich, andererseits auch dem erfolgreichen Einsatz von Baumethoden zu verdanken.

”Die Ingenieurbiologie ist ein Wissensgebiet im Bereich des Erosionsschutzes und der Geländestabilisierung, das sich in den letzten Jahrzehnten etabliert hat. Sie wird in breiten Kreisen als ökologisch verträgliche Technik anerkannt. Sie bekundet hingegen Mühe, von anderen Ingenieurdisziplinen als gleichwertige wissenschaftliche Disziplin anerkannt zu werden. Sie ist insbesondere mit dem Mangel behaftet, daß das für eine wissenschaftliche Disziplin nötige Fundament fehlt” (HEINIMANN, OPLATKA 1996).

Der Hauptteil des Wissens baut auf einem sehr großen Erfahrungsschatz auf. Wissenschaftlich abgestützte Bemessungsgrundlagen sind nicht oder nur in Ansätzen vorhanden. Erste wichtige Erkenntnisse dazu liefert OPLATKA 1995 und 1996.

Aus der Tatsache heraus, daß wesentliche, wissenschaftlich abgestützte Entscheidungsgrundlagen beim Einsatz ingenieurb biologischer Verbauungen fehlen, ist es notwendig, Grundlagendaten zum Stabilitätsvermögen der verschiedenen Bauwerke und der einzelnen eingesetzten Gehölze zu erheben.

Bei der Bemessung und Abschätzung der Stabilität von ingenieurbiologischen Verbauungen und auch bei der Abschätzung der Standsicherheit von Ufergehölzen gibt es außer zahlreichen Erfahrungen sehr wenige Anhaltspunkte.

In der Wildbachverbauung stößt die Ingenieurbiologie an die Grenzen ihrer Einsetzbarkeit. Da es sich in den meisten Fällen um Extremstandorte handelt (steile Gerinne, hochwasser- und geschiebeführend, schnell anschwellende Hochwasserwellen, große Höhenlage, oft sehr kleine Einzugsgebiete), ist ihr Einsatz häufig nur in Kombination mit harten Maßnahmen möglich und auch sinnvoll.

1.2 Bedeutung von Ufergehölzen

Die Funktion und Bedeutung von Ufergehölzen ist sehr vielfältig. Besonders an Wildbächen haben sie sehr wesentliche Aufgaben zu erfüllen.

Wildbäche als dauernd oder zeitweise fließende gefällsreiche Wasserläufe mit stark wechselnder, oft sprunghaft anschwellender Wasserführung aus kleinen und kleinsten Einzugsgebieten (<100 bzw. <10 km²) (LANGE, LECHER; 1993) stellen für Ufergehölze extreme Standorte dar. Nur speziell an die Gegebenheiten angepaßte Pflanzen können auf solchen Standorten gut gedeihen.

Die Einsatzgrenzen von Pflanzen für Verbauungen haben zum einen biologische Ursachen, wie beispielsweise die Wachstumszonen, zum anderen sind sie technischer Natur (Böschungssicherung ist nur im durchwurzelbaren Boden möglich, zu hohe Fließgeschwindigkeiten, Schleppkräfte und Strömungsdrücke wirken limitierend).

Gehölze dienen der Ufer- und Böschungssicherung, sie stellen einen wichtigen Lebensraum für Fauna und Flora dar, bremsen den Wasserabfluß und schützen somit den Boden vor Erosion. Sie beeinflussen die Strömung nicht nur direkt im bewachsenen Bereich, sondern auch durch Abflußumlagerung im unbewachsenen Abflußbereich (DVWK 1990, PASCHE 1997).

Der Beitrag von Ufergehölzen zur Verminderung der Erosion ist sehr wesentlich. Wie sich anlässlich der Hochwässer am Wienfluß Anfang Juli 1997 gezeigt hat, sind flächig angeordnete, biegsame Weidenäste (in Form einer Weidenspreitlage) in der Lage, sich schützend über den Boden zu legen und so das Ufer vor Erosion zu schützen. Somit tragen sie zur Standsicherheit von gefährdeten Böschungen bei.

Gerade an Wildbächen aber können die Abflüsse und Strömungskräfte ein enormes Ausmaß annehmen, so ist es für in diesem Bereich eingesetzte Pflanzen erforderlich, Eigenschaften zur raschen Wiederbesiedelung eines Standortes zu besitzen.

Vorteilhaft für eine rasche Wiederbesiedelung eines Standortes oder die Resistenz gegenüber Hochwässern, Muren und Ähnlichem sind folgende Eigenschaften:

- Fähigkeit zur Rohbodenbesiedelung
- Resistenz gegen periodische und episodische Überflutung
- Resistenz gegen Einschotterung, Verschüttung durch Bach- und Flußgeschiebe
- Bodenfestigende (bodenbindende) Wirkung, die von der Wurzelform, der Dichte der Bewurzelung und damit von der Wurzelmasse abhängt
- große Elastizität
- Fähigkeit zur Adventivwurzelbildung
- hohes Regenerationsvermögen
- hohe biotechnische Konstitution (= Widerstandsfähigkeit von Pflanzenteilen und/oder Pflanzen gegenüber mechanischen Kräften, die auf den Sproß und/oder die Wurzel wirken)

1.3 Problemanalyse

Wissenschaftlich erarbeitete Kriterien für die Bemessung von ingenieurbiologischen Verbauungen an Flüssen fehlen bisher weitgehend. Für die Beurteilung der Stabilität eines Gehölzsaumes im Hochwasserfall gibt es keine wissenschaftlich abgestützten Grundlagen. Das bestehende Wissen über ingenieurbiologische Maßnahmen beruht hauptsächlich auf Erfahrungswerten.

Was aber halten Ufergehölze tatsächlich aus? Welchen Widerstand können sie leisten? Welche Kräfte bewirken ihr Versagen und somit die Gefährdung einer Böschung?

In dieser Arbeit wird versucht, diese und ähnliche Fragen zu klären und zu bearbeiten. Der Ansatz dabei ist, nach Art und Alter unterschiedliche Einzelpflanzen auf verschiedenen Standorten auf ihren Auszugwiderstand hin zu prüfen. Ein weiterer Schritt in Richtung Grundlagenerhebung ist die Untersuchung der Elastizitätseigenschaften der verschiedenen Gehölze, die Hinweise über das Biegeverhalten der Arten bei Strömungsbelastungen liefert.

Die Erfassung der Materialeigenschaften und der Geometrie der Pflanzen ermöglichen eine Beschreibung ihrer biomechanischen Eigenschaften. Diese bilden die Grundlage, um das Verhalten einer Pflanze in der Strömung und ihre Widerstandskraft beschreiben und abschätzen zu können.

2 ZIELE

2.1 Zielsetzung, Konzept

Das Ziel dieser Untersuchungen ist, ein umfangreiches Grundlagenwissen zur Beurteilung und Einschätzung der Widerstandskraft von Ufergehölzen zu erarbeiten. Denn gerade im Umgang mit Pflanzen bei ingenieurbiologischen Verbauungsmaßnahmen ist der momentane Wissensstand noch zu erweitern und auszubauen. Weiters sollen mit dieser Arbeit folgende Fragen geklärt und beantwortet werden:

- Welchen Auszugwiderstand halten verschiedene Sträucher an Fließgewässern aus?
- Verändert sich der Auszugwiderstand mit dem Alter?
- Wird der Auszugwiderstand vom Bodensubstrat beeinflusst?
- Läßt das oberirdische Verdrängungsvolumen auf einen bestimmten Auszugwiderstand schließen?
- Wie hoch ist die Elastizität von verschiedenen Gehölzen in Abhängigkeit von Alter und Durchmesser?
- Durch welche Pflegemaßnahmen können die untersuchten Pflanzen den geforderten Sicherheitsansprüchen am besten gerecht werden?

Durch diese Untersuchungen soll es möglich werden, neue Erkenntnisse über den richtigen Einsatz von Bäumen und Sträuchern an Fließgewässern zu erlangen, so daß der Praktiker vor Ort folgende Entscheidungshilfen bekommt:

- Bewertung verschiedener Gehölze an unterschiedlichen Standorten und in ingenieurbiologischen Verbauungen
- Hinweise über das bestmögliche Einsatzgebiet von verschiedenen Bäumen und Sträuchern
- Pflegehinweise für die bestmögliche Sicherungsfunktion von Ufergehölzen
- Hinweise über die Biegefestigkeit von verschiedenen Gehölzen in Abhängigkeit von Alter und Durchmesser

2.2 Abgrenzung der Untersuchungen

2.2.1 Auszugversuche

Bei den Auszugversuchen, deren Methode im Kapitel 3.2 genau beschrieben wird, handelt es sich um einen Vorgang, der ohne den Einfluß von fließendem Wasser stattfindet.

Eine Abgrenzung der Versuche ist aber notwendig, da ein Prozeß, wie es ein Hochwasser darstellt, sehr komplex ist und nur unter sehr aufwendigen Bedingungen im Versuch nachzuempfinden ist. Deshalb haben wir uns auf die Bestimmung der Widerstandskraft einer Pflanze gegenüber einer punktförmig angreifenden oberirdischen Zugkraft entschieden.

Die dabei erhaltenen Werte liegen, da die Erosion nicht berücksichtigt wird, um das 5-10fache höher als die bei Hochwasser auftretenden Kräfte (OPLATKA 1997). Ohne Erosionsvorgänge sind Pflanzen in der Lage, sehr große Widerstandskräfte aufzubringen. Durch die Erosion wird der Boden um die Pflanzen herum ausgeschwemmt, was die Stabilität des Wurzelsystems erheblich herabsetzt.

Die gewählte Untersuchungsmethode ermöglicht es, Unterschiede der einzelnen Arten auf den verschiedenen Standorten aufzuzeigen.

2.2.2 Elastizitätsmessungen

Die Untersuchungen der Elastizitätseigenschaften verschiedener Gehölze werden laut DIN 52 186 im Labor durchgeführt.

Für die Bestimmung der Materialeigenschaften (zur Beurteilung und Einschätzung des Biegeverhaltens) werden die Biegefestigkeit und der Biege-Elastizitätsmodul ermittelt. Daraus läßt sich die Biegesteifigkeit der einzelnen Arten ableiten. Dies kann es ermöglichen, Rückschlüsse auf ihre Eignung für den ingenieurbiologischen Einsatz und für geeignete Pflegemaßnahmen zu ziehen. Die Untersuchungen werden an frischem Astmaterial und an getrockneten Proben (Feuchtigkeitsgehalt 12%) durchgeführt.

Die Methode der Untersuchungen wird in Kapitel 3.3. beschrieben.

2.3 Andere Untersuchungen in diesem Bereich

Es liegen, wenn auch in sehr geringem Ausmaß Untersuchungen zu Auszugversuchen, Wurzelformen, Wurzelmassen, Schleppspannungen etc. in der Literatur vor. Zu nennen wären hier: RASCHENDORFER (1953), SCHIECHTL (1973), LICHTENEGGER (1985), KUTSCHERA UND LICHTENEGGER (1982), HILLER (1985), HÄHNE (1982, 1985, 1991), JOHANNSEN (1982,1995), TOBIAS (1991), FLORINETH (1982, 1995).

In diesem Zusammenhang sind die Arbeiten des Schweizer M. OPLATKA (1995,1997) zu erwähnen. Darin wird die Beanspruchung von Weiden einerseits durch die Strömung andererseits durch Auszugversuche untersucht. Eine zentrale Aussage dieser Arbeiten ist, daß ein Versagen ingenieurbiologischer Verbauungen (Weiden) ohne vorhergegangene, massive Erosion eher unwahrscheinlich ist.

Eine weitere, erwähnenswerte Arbeit in diesem Fachgebiet ist die von C. GERSTGRASER (Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Boku Wien). Darin werden an einer Versuchsstrecke am Wienfluß (im Stadtgebiet von Wien) unterschiedliche ingenieurbiologische Bautypen mittels künstlichen Flutungen auf ihre Standsicherheit, Stabilität und Verhalten im Hochwasserfall geprüft. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden 1998 in einer Dissertation publiziert.

Untersuchungen an unterschiedlichen Standorten und an vielen verschiedenen Gehölzen liegen jedoch nicht vor. Die Notwendigkeit dieses Projektes für den Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung ist somit in großem Maße gegeben.

3 METHODEN DER UNTERSUCHUNGEN

3.1 Theoretische Grundlagen

3.1.1 Auszugswiderstand

Der Widerstand einer Pflanze bei Hochwasser setzt sich aus dem oberirdischen Teil (Äste und Blätter in der Strömung) und dem unterirdischen Teil (im Boden verankertes Wurzelsystem) zusammen. Beim Auszugversuch trägt nur das Wurzelsystem zum Widerstand gegenüber der oberirdisch angreifenden Zugkraft bei. Wenn die Widerstandskraft der Pflanze geringer als die angreifende Zugkraft ist, kommt es zum Versagen.

Beim Versagen der Pflanze sind zwei Prozesse denkbar (OPLATKA 1995): Einerseits kommt es zum Bruch einer oder mehrerer Wurzeln (Tragfähigkeitsversagen) andererseits kann die gesamte Pflanze ausgerissen werden (Stabilitätsversagen). Die Beobachtung und Beurteilung der Versagensmechanismen gestaltet sich in der Praxis nicht einfach. Meistens liegen Übergänge und Kombinationen beider Prozesse bei den in der Natur beobachteten Fällen vor.

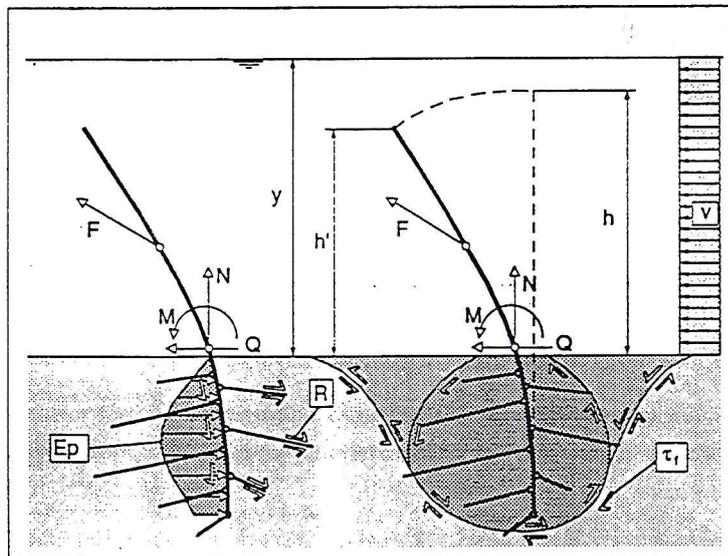


Abbildung 1: Idealisierte Darstellung von Widerständen und möglichen Versagensmechanismen einer Steckholzpflanze mit den entsprechenden Kräften. Versagen der Tragfähigkeit (links) und Versagen der Stabilität (rechts) (OPLATKA 1995)

Man geht weiters davon aus, daß aufgrund der fehlenden Erosion (wie sie bei Hochwasser auftritt) der gemessene Widerstand der Pflanze um einiges über der tatsächlichen Widerstandskraft liegt. Diese Annahme wird von OPLATKA 1997 in einer Publikation bestätigt. Nach seinen Untersuchungen liegt der Wert für den Auszugswiderstand um das 5-10fache über der gemessenen Strömungskraft.

Bei der Durchführung unserer Versuche werden die Auswirkungen möglicher Erosionsprozesse auf die Stabilität und das Widerstandsverhalten der Pflanzen nicht miteinbezogen.

3.1.2 Elastizitätsuntersuchungen

Die Messungen der Elastizitätseigenschaften wurden im Labor mit einer dafür geeigneten Prüfmaschine durchgeführt. Bestimmt wurden die Biegefestigkeit β und der Biege-Elastizitätsmodul E nach DIN 52 186, und daraus die Durchbiegung f und das Bruchmoment errechnet.

Bei der Artenauswahl für diese Prüfungen hat man sich auf acht sehr häufig vorkommende Ufergehölze geeinigt.

Genauere Angaben dazu folgen in Kapitel 3.3.

3.2 Methode zur Bestimmung des Auszugwiderstandes

Alle Messungen zum Auszugwiderstand wurden an Wildbächen in ganz Österreich durchgeführt. Als Standorte wurden ufernahe Böschungen, flache Ablagerungsbereiche im Bachbett und kleine mit Gehölzen bewachsene Inseln gewählt. Die Messung des Auszugwiderstandes erfolgte zum größten Teil an Gehölzen in unverbauten Gewässerbereichen. Es wurden dabei **die wichtigsten Gehölze unterschiedlichen Alters**, die natürlich im Ufer- und Böschungsbereich von Wildbächen vorkommen, getestet. Diese Gehölze sind es auch, die bei ingenieurbioologischen Verbauungsmaßnahmen Verwendung finden. Bei den Gehölzarten handelt es sich um **Esche, Bergahorn, Grauerle, Grünerle, Lavendelweide, Purpurweide, Reifweide, Großblättrige Weide, Salweide und Schwarzweide**.

Um mögliche Zusammenhänge zwischen pflanzenspezifischen Kennwerten und dem Auszugwiderstand herauszuarbeiten, wurden folgende Parameter für jede ausgezogene Pflanze aufgenommen: Art, Alter, Höhe, Wurzelhalsdurchmesser, oberirdisches Verdrängungsvolumen.

Vor jedem Versuch wurde der von der Pflanze durchwuzelte Bodenbereich bewässert, um die Bodenwassersättigung der Situation bei einem Hochwasser nachzuempfinden und diesbezüglich gleiche Bedingungen für alle Pflanzen zu gewährleisten. Im Durchschnitt betrug die Bewässerungszeit 30 Minuten. Kürzer war sie nur an Standorten, an denen die Pflanzen in direktem Kontakt (teilweise auch überströmt) mit dem fließenden Wasser standen.

So wurde versucht, für alle Gehölze die gleichen Bedingungen hinsichtlich der Bodenwassersättigung zu gewährleisten.

Die Kontrolle der Wassersättigung erfolgte optisch, vom Zeitpunkt des oberflächlichen Abflusses an wurde eine vollständige Sättigung angenommen. Eine exakte Messung der Bodenwassersättigung war im Rahmen dieses Projektes aus zeitlichen, personellen und finanziellen Gründen nicht möglich.

Der Auszugversuch erfolgte immer in Fließrichtung. Die maximale Kraft, die vor dem Versagen gemessen wurde, entspricht dem Auszugwiderstand.

Die Versuchsanordnung besteht aus einem Druckabnehmer/Sensor 0...25kN, der verbunden mit Drehgelenken an Gurten befestigt wurde. Der Gurt (Rundschlinge aus hochwertiger reißfester Polyesterfaser) wurde an der ausziehenden Pflanze am Wurzelhals (Stammanlauf) befestigt. Die andere Seite des Sensors ist, ebenfalls mit Drehgelenken verbunden, an einem Stahlseil (\varnothing 8,4mm; 6litzig) entweder an einer Motorseilwinde oder an einer Baggerschaufel befestigt (siehe Abbildung 2).

Die zu messenden Kräfte wurden über diese Anordnung in eine Meßzelle eingeleitet. Diese ermöglicht aufgrund ihrer speziellen Konstruktion unter Anwendung einer Brückenschaltung aus Dehnungsmeßstreifen die Umsetzung der Kräfte in ein proportionales elektrisches Signal mit großer Genauigkeit. Die Daten werden über einen Meßverstärker (DMSV 200) und einen Konverter an einen Laptop weitergeleitet. Das Meßprogramm „Tension“ zeichnet die Meßdaten auf und speichert sie.

Der Sensor basiert auf einer Brückenschaltung aus Dehnungsmeßstreifen. Ein Dehnungsmeßstreifen besteht aus auf einem 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 Ohmschen Widerstand R dar.

Diese Längenänderung Δl bewirkt nach $\Delta R = \delta \Delta l / A$ eine Widerstandsänderung ΔR (A ... Querschnitt der Leiterbahnen, δ ... spezifischer Widerstand des Leitermaterials). Legt man nun an diesen Widerstand eine konstante Spannung U, so wird sich aufgrund der Widerstandsänderung der Strom durch diesen Widerstand ändern (ohmsches Gesetz). Diese Stromänderung wandelt man am Eingang des Meßverstärkers wieder in eine Spannung um, verstärkt diese und führt sie einem Analog/Digitalwandler zu. Das digitalisierte Meßsignal wird dann vom Mikroprozessor aufbereitet und über die Busschnittstelle an das Notebook gesendet.

Die zur Längenänderung proportionale Spannung beträgt nur einige wenige $\mu V/10kg$. 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.

Die Messung des Auszugswiderstandes erfolgte an Gehölzen in unverbauten Gewässerbereichen. Es wurden dabei die **wichtigsten Gehölze unterschiedlichen Alters**, die natürlich im Ufer- und Böschungsbereich von Wildbächen vorkommen, getestet.

3.3.1 Versuchsanordnung im Freiland

Die nachfolgende Abbildungen 2 zeigt eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung. Anstelle des dargestellten Traktors wurde für kleinere Gehölze (Strauchweiden) meist eine Motorseilwinde verwendet.

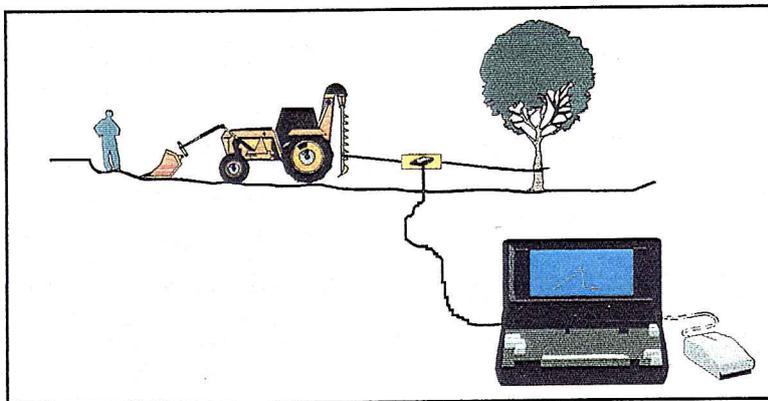


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Auszugversuches

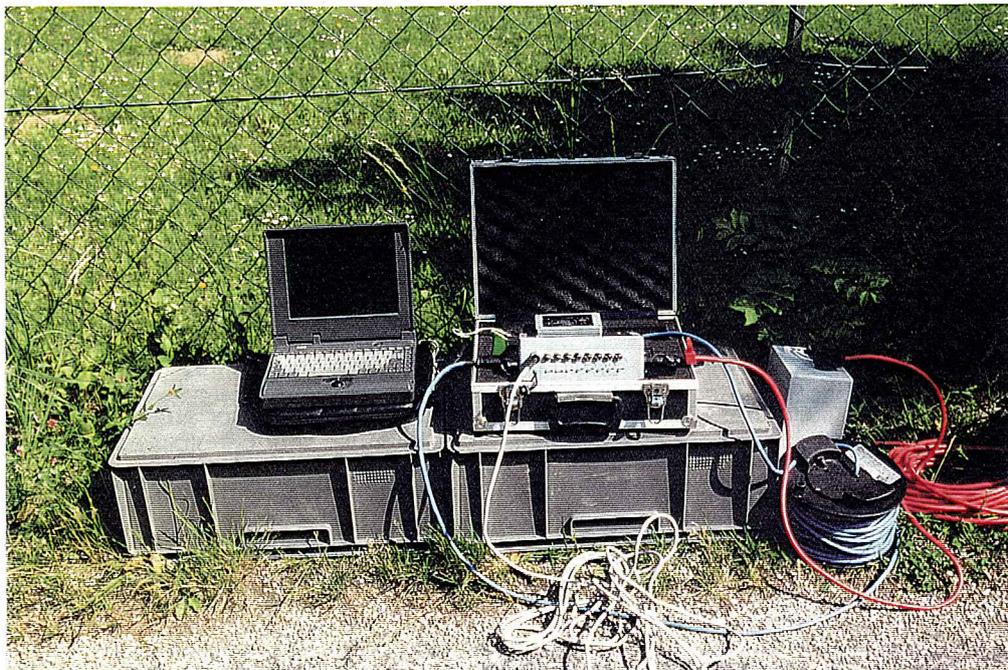


Abbildung 3: Meßverstärker, Konverter und Laptop zur Datenweiterleitung und Aufzeichnung



Abbildung 4: Druckabnehmer (Sensor) bis 25kN, links und rechts mit Schäkeln an Gurt bzw. Drallfänger befestigt; in der Mitte des Sensors erfolgt die Weiterleitung der gemessenen Kraft zum Meßverstärker, Konverter und anschließend auf einen Laptop;

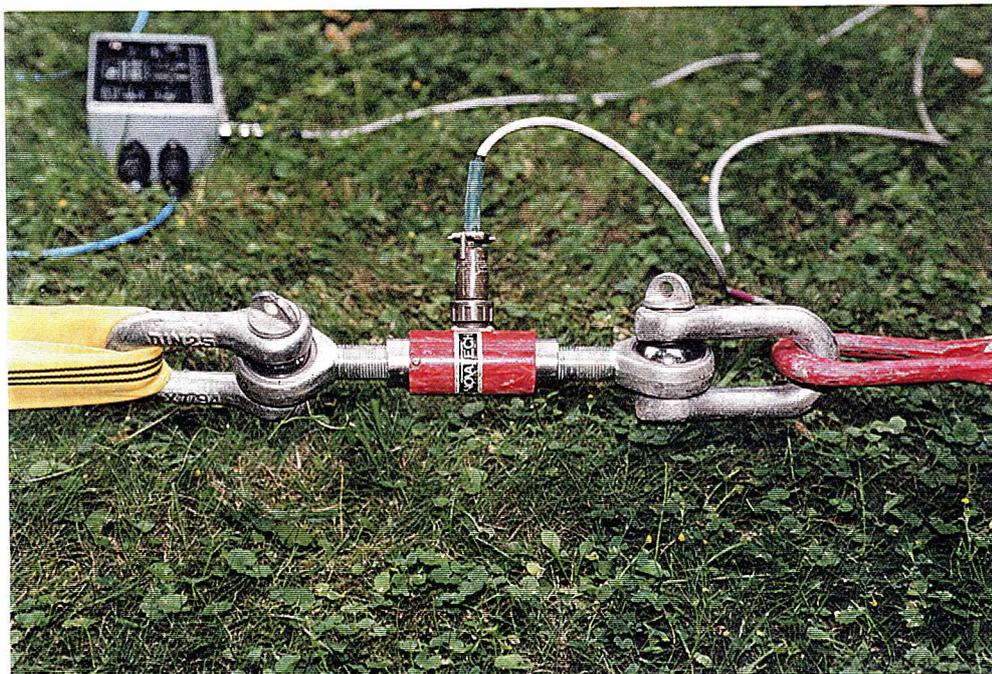


Abbildung 5: Druckabnehmer (Sensor) bis 25kN im Detail

3.3.2 Auswahl der Standorte im Freiland

Die Auswahl der Standorte erforderte ein systematisches Vorgehen, da das Spektrum an Österreichs Wildbächen sehr breitgefächert ist, zudem wurden für die Durchführung der Versuche ganz bestimmte Anforderungen an die Standorte gestellt.

Bei der Auswahl geeigneter Standorte für die Feldversuche waren folgende Kriterien ausschlaggebend: Artenvielfalt, gestufter Altersaufbau des Gehölzstreifens, gute Zufahrtsmöglichkeit, Wasser in der näheren Umgebung und Zugmöglichkeit in Fließrichtung.

Aufgrund dieser Kriterien wurden insgesamt 7 Standorte ausgewählt, an denen Versuche zum Auszugwiderstand durchgeführt worden sind. Nach einer Erhebung mittels Fragebögen bei den Bauleitungen der Wildbach- und Lawinenverbauung konnte eine Vorauswahl getroffen werden. Bei der anschließenden Besichtigung wurden die sieben geeignetsten Standorte ausgewählt. Bei den Standorten handelte es sich um:

- *Bizauerbach (Vorarlberg)*
- *Dürrenbach (Vorarlberg)*
- *Mellenbach (Vorarlberg)*
- *Krallerbach (Salzburg)*
- *Löhnersbach (Salzburg)*
- *Plambach (Niederösterreich)*
- *Färbergraben (Oberösterreich)*

3.3 Methodik der Biegeuntersuchungen

3.3.1 Allgemeines

Für die Biegeuntersuchungen wurde an den jeweiligen Standorten der Auszugversuche das notwendige Probenmaterial gewonnen. Die Durchmesser des geschnittenen Astmaterials lagen zwischen ca. 10 und 50 mm, die Länge der Probestücke betrug 60 bis 100 cm. Getestet wurden Proben von 8 Arten. Bei den Gehölzarten handelte es sich um **Grünerle (*Alnus viridis*)**, **Grauerle (*Alnus incana*)**, **Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*)**, **Esche (*Fraxinus excelsior*)**, **Purpurweide (*Salix purpurea*)**, **Lavendelweide (*Salix eleagnos*)**, **Fahlweide (*Salix rubens*)** und **Salweide x Bruchweide (*Salix caprea x fragilis*)**.

Als Basis für die Festsetzung der Probenanzahl dienten die Vorgaben der ÖNORM ISO 3129 sowie die Überlegungen zur statistischen Probennahme von HAPLA und SABOROWSKI (1984). Aufgrund dieser Grundlagen wurde die Probenanzahl mit etwa 15 Stück je Durchmesserklasse bestimmt.

Die Rundholzproben wurden für jede zu prüfende Art in 4 Durchmesserklassen geteilt. Dabei erschien die Klassenbildung <20mm, 20-30mm, 30-40mm und >40mm am sinnvollsten. Die Zuteilung in die Durchmesserklassen erfolgt also rein dimensionsbezogen und nicht in Bezug auf das Alter. Dieses wurde nachträglich für alle Proben mittels Jahrringanalyse bestimmt.

Die Hälfte der Proben wurde (nach Zufallskriterien aus den jeweiligen Probenmenge) jeweils nach der Anlieferung, im noch frischen Zustand der Biegeprüfung unterzogen. Die andere Hälfte wurde einer Klimatisierung im Normalklima (20°C, 65% Luftfeuchtigkeit) zugeführt und mehrere Monate bis zur Annäherung an die Gewichtskonstanz (12% Holzfeuchte) getrocknet.

3.3.2 Prüfmethode und Grundlagen

Als Prüfmethode wurde die 4-Punkt-Biegeprüfung nach DIN 52 186 herangezogen (siehe auch Abbildung 4). Die Proben werden dabei auf zwei Punkten aufgelagert und über zwei Laststempel in den Drittelpunkten belastet. Diese Vorgangsweise gewährleistet, daß im Bereich zwischen den Druckstempeln ein konstantes Biegemoment wirkt und sich hier der Bruch an der schwächsten Stelle einstellen wird.

Die auf diese Weise ermittelte Biegefestigkeit ist zwar um ca. 30% geringer als bei einer Einzellastprüfung (3-Punkt-Prüfung), aber statistisch genauer und besser reproduzierbar (siehe Abbildung 3 mit unterschiedlichem Momentenverlauf).

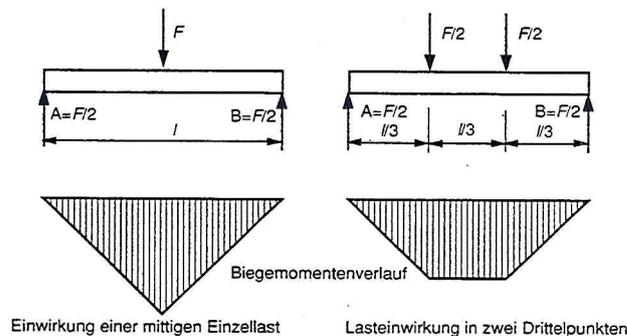


Abbildung 6: Unterschiedlicher Momentenverlauf bei verschiedenen Prüfmethoden (WENDEHORST 1994)

Die Bestimmung der Biegefestigkeit und des Biege-Elastizitätsmoduls erfolgt laut DIN 52 186. Die *Biegefestigkeit* β_B ist definiert als die bis zum Bruch der Probe auftretende größte rechnerische Biegespannung σ_B :

$$\beta_B = \frac{\text{max. Biegemoment } M}{\text{Widerstandsmoment } W} [N / mm^2]$$

(1)

Bei kreisförmigem Probenquerschnitt und auf zwei zur Feldmitte symmetrischen Stellen verteilten Kraftangriff ist die *Biegespannung* σ_B wie folgt definiert:

$$\sigma_B = \frac{8 \cdot F \cdot (l - l')}{\pi \cdot d^3}$$

(2)

F	Kraft in N
l	Stützweite in mm
l'	Abstand der Kraftangriffspunkte
d	Mittendurchmesser in mm

Das *Biege-Elastizitätsmodul* E_B ist für kreisförmigen Probenquerschnitt folgendermaßen definiert:

$$E_B = \frac{2(2 \cdot l^3 - 3 \cdot l \cdot l'^2 + l'^3)}{3 \cdot \pi \cdot d^4} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta f}$$

(3)

Der E-Modul E_B ist eine Kenngröße für die Verformungssteifigkeit einer Probe im elastischen Bereich, das heißt $E_B = \text{Spannung/Dehnung}$.

Es wurde für 8 an Wildbächen vorkommende Gehölze unterschiedlichen Alters die Biegefestigkeit und der E-Modul bestimmt.

Zur Berechnung des Durchbiegeverhaltens der Proben wird folgende Formel herangezogen:

$$\text{Durchbiegung } f = \frac{F * l^3}{3 * E * I} \text{ [mm]}$$

(4)

Die Biegesteifigkeit ist das Produkt aus E-Modul und Trägheitsmoment. Sie bestimmt wesentlich das Widerstandsverhalten der Pflanze und ihren Einfluß auf die Stömungskraft.

$$\text{Biegesteifigkeit} = E * I \text{ [KNm}^2\text{]}$$

(5)

$$\text{Flächenträgheitsmoment } I = \frac{\pi * d^4}{64} \text{ [m}^4\text{]}$$

(6)

3.3.3 Versuchsanordnung im Labor

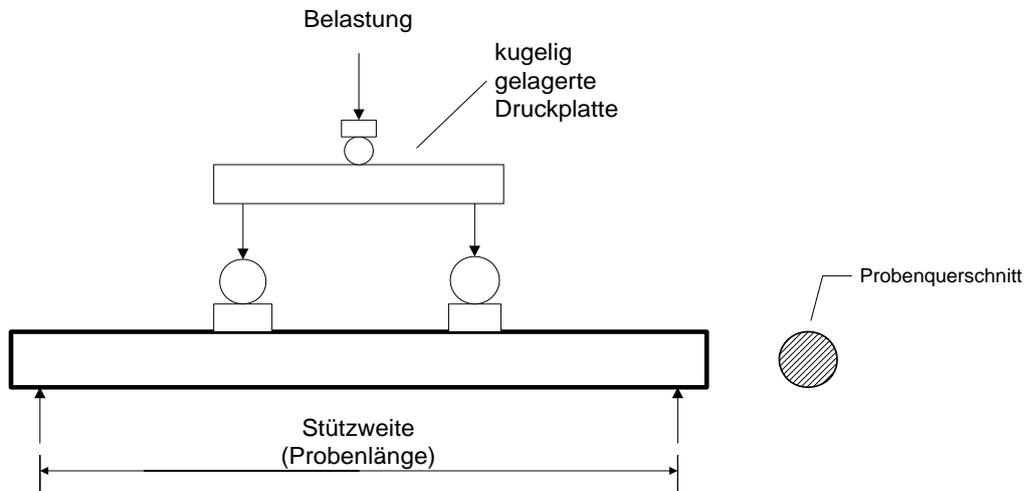
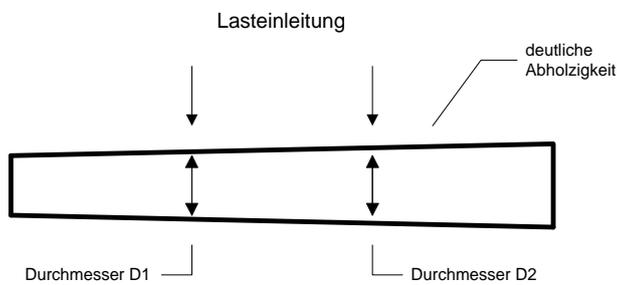


Abbildung 7: einfache Darstellung der Prüfanordnung

Für die Berechnung der beiden genannten Werte wurde ein kreisförmiger Querschnitt der Proben unterstellt. Weiters wurde die Abholzigkeit der Proben vernachlässigt bzw. durch die Mittelwertbildung der Kreisquerschnitte aus beiden Querschnitten im Bereich der Krafteinleitung korrigiert.



$$\text{Mittendurchmesser} = (D1 + D2)/2$$

Abbildung 8: Darstellung der Abholzigkeit und der Ermittlung des mittleren Mittendurchmessers

Die Proben wurden im Bereich der Krafteinleitung bzw. der Auflager vor der Prüfung entrindet, womit bei der Durchmesserermittlung nur der reine Holzquerschnitt erfaßt wurde. Damit wurden auch lasteinleitungsbedingte Eindrückungen (Verformungen) durch die Rinde vermieden, die gegebenenfalls schon bei niedrigen Lasten eine den E-Modul verfälschende Wirkung erzielt hätten.

DIN 52 186 schlägt für die Ermittlung des Biege-E-Moduls den Lastbereich bis zu etwa 1/3 von der maximalen Last (F_{\max}) vor. In Vorversuchen wurde für die vorliegende Prüfserie jeweils ein eigener Last-Durchbiegungsbereich erarbeitet, der den linearen Bereich (maßgeblich für den E-Modul) bestmöglich wiedergibt (meist zwischen 20 – 30 bzw. 20 – 40 % von F_{\max}).

Im Anschluß an die Biegeprüfungen wurden kleine Querschnitte zur Ermittlung des Feuchtegehaltes u [%] nach DIN 52 183 und der Rohdichte ρ_o [g/cm³] nach DIN 52 182 entnommen und bestimmt.

3.4 Bodenuntersuchungen

Als eine der wichtigsten Kenngröße für die Bodeneigenschaften wurde die *Kornverteilung* (volumetrische gestörte Probennahme) jedes Versuchsstandortes bestimmt. Aus der Körnungslinie können die Bodenart und eventuelle Beimengungen abgelesen werden. Die Kornverteilung beeinflusst die Entwicklung und Ausbildung des Wurzelsystems und ist daher ausschlaggebend für den Auszugwiderstand.

Bei Standorten, die sich im direkten Einflußbereich des Bach- bzw. Flußgeschiebes befanden, war eine Bestimmung der Kornverteilung zu schwierig durchzuführen. Auch war, aufgrund des Größtkornes ($d_{\max} \times 2,5 =$ Probenmenge in kg) eine Probennahme nicht immer sinnvoll.

In solchen Fällen ist versucht worden, bei jedem Auszugversuch die Kornzusammensetzung des die Pflanze direkt umgebenden Bodenmaterials nach dem Versuch optisch zu beurteilen. Oft konnten so wertvolle zusätzliche Hinweise in Bezug auf den Auszugwiderstand getroffen werden.

4 ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

4.1 Ergebnisse der Auszugversuche

4.1.1 Allgemein

Die Messungen zum Auszugwiderstand wurden in den beiden Vegetationsperioden 1996 und 1997 an 7 unterschiedlichen Standorten durchgeführt. Der Prüfung sind ausschließlich Einzelpflanzen, die als Wildlinge aufgetreten sind, unterzogen worden. Insgesamt ist an 213 Gehölzen der Auszugwiderstand bestimmt worden. Der gemessene Bereich liegt zwischen 0,66 und 38,09 kN. Bei der niedrigsten Messung handelte es sich um eine Grauerle (6jährig) auf einem Rohboden (sehr lockeres Bodenmaterial), bei der höchsten um eine Esche mit 36 Jahren auf humusreichem, tiefgründigen Standort.

In der folgenden Tabelle 1 sind auch für alle an der Pflanze erhobenen Parameter die gemessenen Bereiche angegeben.

Tabelle 1: Bereiche (kleinster und größter gemessener Wert) und Mittelwerte der gemessenen Parameter wobei n Anzahl der Messungen, WHD Wurzelhalsdurchmesser, KRAFT Auszugwiderstand in kN:

Parameter	n	Minimum	Maximum	Mittelwert
KRAFT (kN)	213	0,664	38,088	5,14
ALTER(a)	213	2	36	9,06
HÖHE (m)	213	0,95	12,20	4,14
VOLUMEN (l)	140	0,003	6,587	0,37
WHD (cm)	213	1,20	17,70	4,87

Der gemessene Auszugwiderstand, definiert als der Widerstand der Pflanze gegenüber oberirdisch angreifenden Zugkräften, stellt einen komplexen Faktor dar, der von vielen Parametern beeinflusst wird. Faktoren wie Art, Alter, Höhe, Wurzelhalsdurchmesser und oberirdisches Volumen sind bei jedem Versuch an jeder Pflanze aufgenommen worden. Mögliche Zusammenhänge mit dem Auszugwiderstand werden hier dokumentiert.

Die Standorte, auf denen die Untersuchungen durchgeführt worden sind, zeigen bewußt sehr große Unterschiede. Ein möglicher Einfluß des Bodensubstrates auf den Auszugwiderstand sollte damit erfaßt werden können. Der Standort ist auch jener Faktor, der sich am meisten auf die Entwicklung von Ufergehölzen und somit auf das Widerstandsverhalten auswirkt.

Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt den Verlauf eines Auszugversuches während einer Messung. Nach dem ersten Ansteigen der Kurve kommt es zum Bruch einer Nebenwurzel (teilweiser Verlust der Tragfähigkeit), jedoch noch nicht zum vollständigen Versagen der gesamten Pflanze. Erst nach dem Erreichen einer Kraft von 2,38 kN bei diesem Beispiel tritt ein völliges Versagen ein. Die größte gemessene Kraft bis zum Versagen wird als Auszugswiderstand bezeichnet.

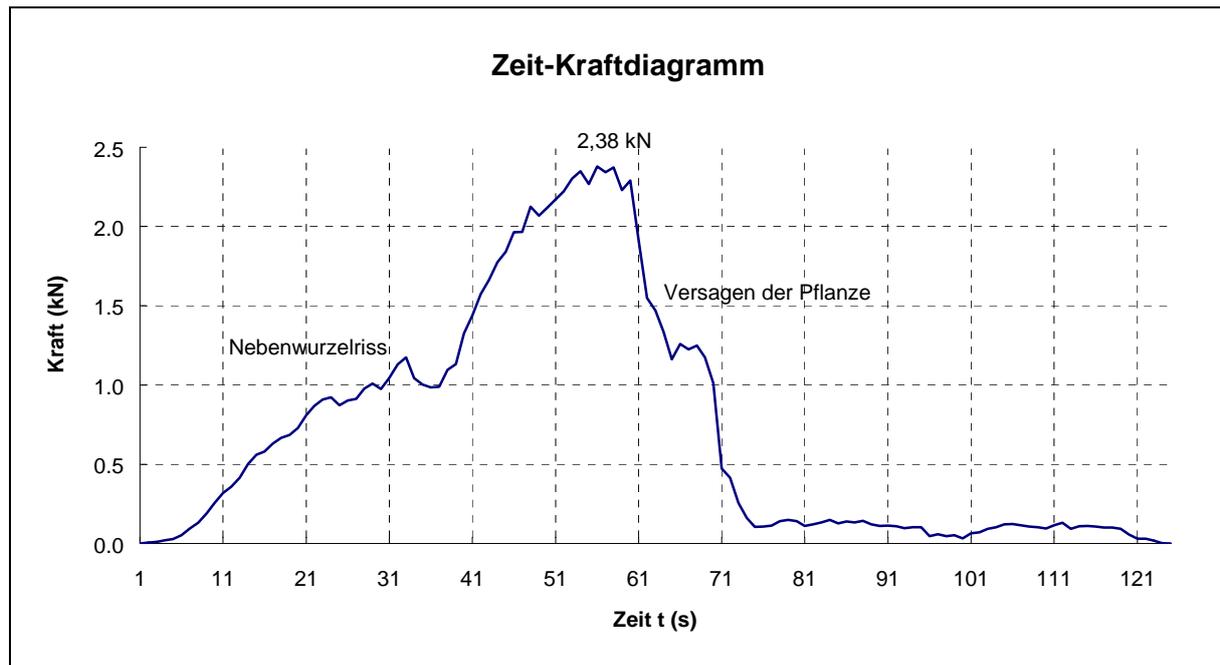


Abbildung 9: Als Beispiel ein Zeit-Kraft - Diagramm eines Auszugversuches; 8-jähriger Bergahorn; Standort: Randbereich eines Schotterablagerungsplatzes in einem Wildbach, kiesig steinig Material vorherrschend

Überlegungen zur Artenauswahl

Das Artenspektrum der Gehölze an Österreichs Wildbächen ist sehr groß. Ein sehr wesentliches Entscheidungskriterium war, daß die ausgewählten 10 Gehölze (6 Weidenarten, *Alnus incana*, *Alnus viridis*, *Acer pseudoplatanus* und *Fraxinus excelsior*) als natürlicher Ufergehölzsaum beinahe überall, auf den unterschiedlichsten Standorten, vorkommen. Weiden sind deshalb vermehrt gewählt worden, da sie für ingenieurbiologische Verbauungen bestens geeignet sind und auch sehr vielfältig zum Einsatz kommen. Der Bedarf nach mehr Wissen hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit und Verwendbarkeit ist in großem Maße gegeben.

Natürlich wären auch noch andere Arten als die von uns ausgewählten untersuchenswert (*Alnus glutinosa*, diverse Weidenarten), doch mußte für diese Arbeit eine Grenze gezogen werden. Es wäre sinnvoll, in weiteren Untersuchungen das Artenspektrum dahingehend zu erweitern.

4.1.2 Gesamtübersicht der Messungen

Die folgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über sämtliche erhobenen Auszugwiderstände in kN. Es sind für jede Gehölzart der kleinste und der größte gemessene Wert und die Bandbreite des Alters angegeben. Die Werte sind im allgemeinen sehr hoch, ähnlich vergleichbaren Untersuchungen in der Schweiz und Südtirol. Der Erosionsfaktor ist in diesen Versuchen nicht berücksichtigt worden. Dies ist eine der Ursachen für die durchaus hohen Werte.

Tabelle 2: Auszugwiderstand (AZW) in kN im Überblick nach Arten getrennt

Art	Anzahl	min. AZW [kN]	max. AZW [kN]	Alter von - bis
Esche	14	1,204	38,088	6-36
Grauerle	25	0,957	20,405	3-19
Bergahorn	22	0,958	16,539	5-16
Grünerle	22	0,664	11,371	6-13
Lavendelweide	78	1,063	17,615	5-21
Purpurweide	7	2,176	10,398	6-8
Reifweide	6	1,008	6,937	5-14
Großblättrige Weide	7	1,098	6,300	4-11
Salweide	5	0,998	6,008	4-6
Schwarzweide	22	1,024	5,992	5-14

Die niedrigsten Messungen liegen laut Tabelle 2 zwischen **0,6 kN** und **0,9 kN**, die höchsten bei **20 kN**, **38 kN** und einer Messung über 40kN. Bei diesen sehr hohen Messungen handelt es sich um große und relativ alte Exemplare von *Fraxinus excelsior*, *Picea abies* und *Alnus incana*. Der Großteil der Werte liegt aber in einem Bereich zwischen **1 kN bis 8 kN**.

Die Anzahl der einzelnen Versuche für die jeweilige Gehölzart ist sehr unterschiedlich. Dies liegt einerseits daran, daß ein wichtiges Ziel der Arbeit war, so viele Arten wie möglich zu erfassen, andererseits konnte oft erst am Standort je nach Gegebenheit entschieden werden, wieviele Exemplare für die Versuche zur Verfügung stehen würden. Aus diesen Umständen heraus ist die Anzahl der Arten sehr unterschiedlich.

4.1.3 Einfluß der pflanzenspezifischen Parameter auf den Auszugwiderstand

Allgemein

Beim Auszugversuch setzt nur der unterirdische Teil der Pflanze (das im Boden verankerte Wurzelsystem) einen Widerstand der angreifenden Zugkraft entgegen. Die Versuche sind zwar im wassergesättigten Boden aber ohne den Einfluß des fließenden Wassers, durchgeführt worden. Äste und Blätter tragen in unserem Fall nicht zum Widerstand der Pflanze bei.

Bei der Frage nach der Erfassung von pflanzenspezifischen Parametern, die in einen möglichen Zusammenhang mit dem Auszugwiderstand gebracht werden können, sind folgende Überlegungen zum Tragen gekommen. Das Wurzelsystem trägt zwar zum Widerstandsverhalten bei, doch ist dieses sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr schwierig zu erfassen. Vielmehr galt die Aufmerksamkeit jenen Faktoren, die vom Ingenieurbiologen rasch und leicht erhoben werden können. Oberirdische Faktoren wie die Gesamthöhe der Pflanze, der Durchmesser des Wurzelhalses, das Alter und das oberirdische Verdrängungsvolumen sind, mit Ausnahme des Verdrängungsvolumens, sehr leicht meßbare Größen. Mit diesen kann dem Praktiker eine einfache Hilfe zur Beurteilung unterschiedlicher Situationen hinsichtlich des Auszugwiderstandes gegeben werden.

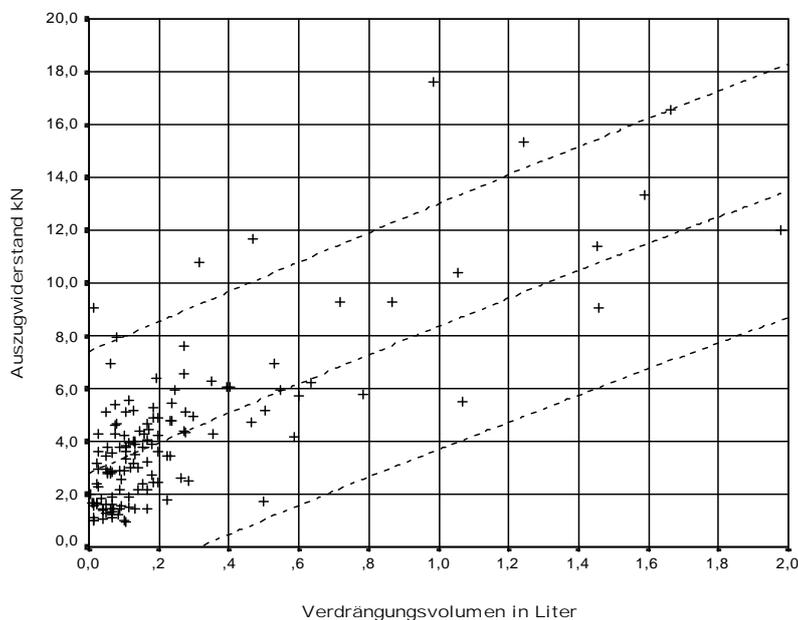
Im Folgenden zeigen verschiedene Abbildungen den Zusammenhang und die Abhängigkeit der erhobenen Parameter vom gemessenen Auszugwiderstand kN. Weiters werden die einzelnen Faktoren daraufhin diskutiert.

4.1.3.1 Oberirdisches Volumen V

Das oberirdische Volumen (Ast- und Blattmasse), welches durch Wasserverdrängung bestimmt worden ist, wird in der folgenden Abbildung 7 in Zusammenhang mit dem Auszugswiderstand dargestellt. Der Großteil der Messungen liegt bei einem Volumen bis 0,5 Liter. Im oberen Bereich sind nur wenige Messungen vorhanden.

Bei den Werten handelt es sich um sämtliche, die auf den 7 unterschiedlichen Standorten bestimmt worden sind. Es sind alle Arten auf den verschiedensten Böden dargestellt. Die Streuung der Punkte ist dementsprechend hoch.

Abbildung 10: Auszugswiderstand (kN) in Abhängigkeit vom Verdrängungsvolumen (Liter); R_{sq} Bestimmtheitsmaß (aus quadratischer Regressionsrechnung) = 0,7357



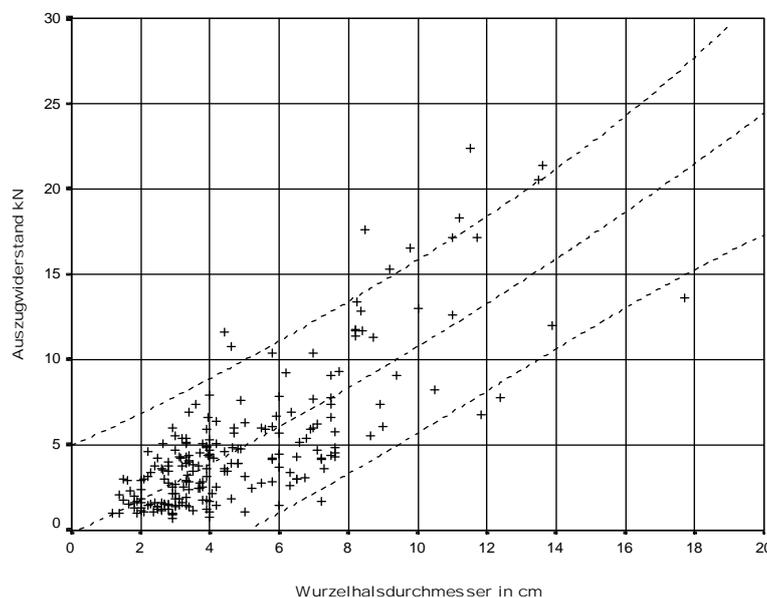
Betrachtet man das Volumen bei etwa 0,3 Liter, so zeigt sich, daß der Auszugswiderstand **zwischen 2,5 und 7,5 kN** um die Mittellinie streut. Der höhere Wert liegt etwa 200% über dem ersten. Diese Abhängigkeit gilt auch für benachbarte Volumswerte.

Die Ursachen für diesen geringen Zusammenhang zwischen dem Volumen V und dem Auszugswiderstand liegen möglicherweise darin, daß die Zusammensetzung des Bodensubstrates, der Aufbau des Bodens und andere Bodenfaktoren (Wassersättigung, Einfluß des fließenden Wassers, etc.) den entscheidenden Einfluß auf den Auszugswiderstand ausüben. Diese Bodenfaktoren sind generell für die Entwicklung und Wachstumsfähigkeit von Gehölzen verantwortlich. Der nicht sehr hohe Zusammenhang zwischen dem Volumen V und dem Auszugswiderstand kann für unsere Untersuchungen somit erklärt werden.

4.1.3.2 Wurzelhalsdurchmesser d

Der Wurzelhalsdurchmesser d wurde unmittelbar nach bzw. beim Stammanlauf bestimmt. Um eine genaue Messung zu erhalten, wurden bei nicht kreisförmigem Querschnitt zwei Durchmesser, jeweils um 90° versetzt klupiert und gemittelt. Bei strauchförmigen Gehölzen wurde der Durchmesser unter den beginnenden Verzweigungen gemessen. Es ist dies ein in der Praxis leicht aufzunehmender Faktor, der in der folgenden Abbildung 8 mit dem Auszugwiderstand in Verbindung gesetzt wird.

Abbildung 11: Auszugwiderstand (kN) in Abhängigkeit vom Wurzelhalsdurchmesser WHD (cm)

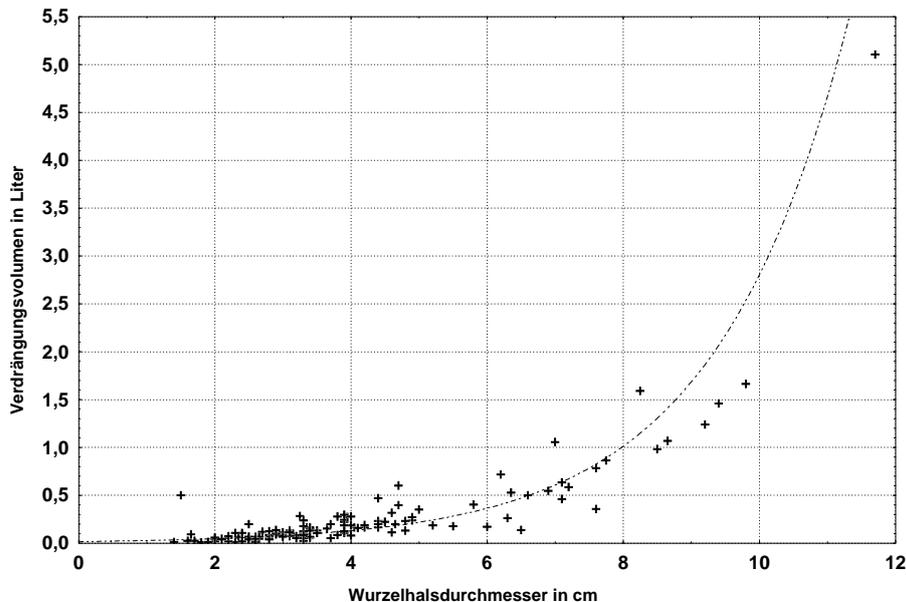


Ähnlich wie bei der vorigen Abbildung 7 ist auch hier die Streuung um die Mittellinie deutlich. Zu jedem Wurzelhalsdurchmesser gibt es eine entsprechende Bandbreite des Auszugwiderstandes. Jedem Durchmesser kann ein bestimmter zu erwartender Bereich der Auszugkraft zugeordnet werden. Dies gilt für die von uns durchgeführten Versuche.

Ab einem Durchmesser des Wurzelhalses von 7-8 cm gibt es weniger Werte. Dieser Bereich könnte in weiteren Untersuchungen abgedeckt werden. **Jedoch ist die Anwuchsphase eines Gehölzes, mit noch geringem Durchmesser, die entscheidende Zeit, ob die Sicherheit am Standort gegeben ist oder nicht. In dieser Initialphase können größere Hochwässer eine Gefahr für den Gehölzbestand sein.**

Die folgende Abbildung 9 zeigt die Gegenüberstellung des Verdrängungsvolumens V (Y-Achse) und des Wurzelhalsdurchmessers d (X-Achse) für alle erhobenen Messungen.

Abbildung 12: Oberirdisches Verdrängungsvolumen (Liter) in Abhängigkeit vom Wurzelhalsdurchmesser (cm)
 R_{sq} Bestimmtheitsmaß (aus quadratischer Regressionsrechnung) = 0,8309



Mit steigendem Wurzelhalsdurchmesser läßt sich deutlich ein exponentieller Anstieg des oberirdischen Volumens V erkennen. Für jeden Wurzelhalsdurchmesser kann ein eng abgegrenzter Bereich des entsprechenden Volumens angegeben werden.

Es besteht nun die Möglichkeit, über diesen Zusammenhang (Abbildung 9) für jeden Wurzelhalsdurchmesser d ein oberirdisches Volumen V anzugeben. Mit diesem Volumswert kann in der Abbildung 7 eine bestimmte Bandbreite des zu erwartenden Auszugwiderstandes kN abgelesen werden. Die dabei entstehende untere Grenze des Auszugwiderstandes kN dürfte die entscheidende sein, um die Stabilität eines Gehölzes zu gewährleisten.

4.1.3.3 Gesamthöhe h

Auch die Höhe der Gehölze ist für alle Messungen bestimmt worden (siehe Anhang) und steht in einer gewissen Abhängigkeit zum Auszugwiderstand. Zu beachten ist aber, daß die Höhe von sehr vielen Parametern mitbestimmt wird, wie beispielsweise der Wüchsigkeit, Konkurrenz am Standort, Dichte des Bestandes, Art des Bodenaufbaues etc.

Ein deutlicher Zusammenhang ist aufgrund unserer Untersuchungen nicht zu erkennen. Die Wuchshöhe eines Gehölzes ist daher nicht optimal für die Beurteilung der Größe des Auszugwiderstandes geeignet.

4.1.3.4 Alter der Gehölze

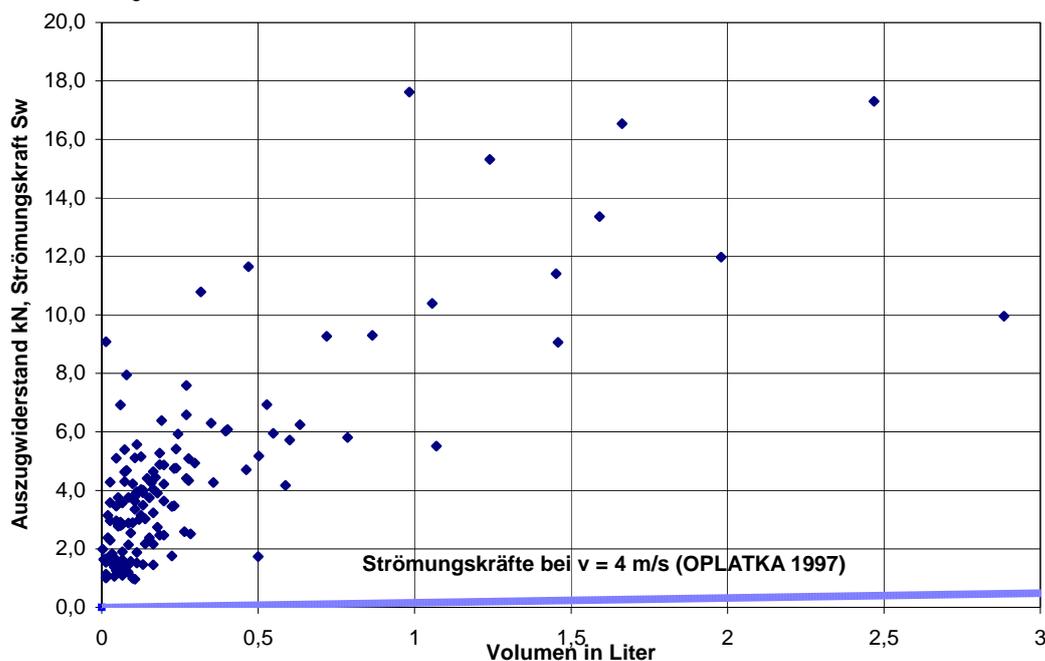
Ein Zusammenhang zwischen dem Alter einer Pflanze und seinem Auszugwiderstand ist kaum zu erkennen. Die Schwankungen des Auszugwiderstandes bei gleichem Alter sind erheblich, da die Wüchsigkeit und die Vitalität von Gehölzen nicht durch das Alter, sondern vielmehr durch die gesamten Bedingungen des Standortes ausgedrückt werden.

Vergleich mit Strömungskräften

Die in der folgenden Abbildung 10 dargestellte Strömungslinie bei einer Fließgeschwindigkeit von $v = 4 \text{ m/s}$, entstammt einer Untersuchung, die auf der ETH Zürich von M. OPLATKA 1996/97 durchgeführt worden ist. In dieser Arbeit wurden ganze Weiden durch einen dafür geeigneten Wasserkanal gezogen. Die dabei auftretenden Strömungskräfte sind genau bestimmt worden. In Abhängigkeit vom Volumen V sind diese Ergebnisse im Diagramm dargestellt.

Die auftretenden Strömungskräfte, in Abhängigkeit vom oberirdischen Volumen V sind geringer als die von uns gemessenen Auszugwiderstände kN . Das deckt sich auch mit der Aussage Oplatkas, daß der Auszugwiderstand kN um das 5-10fache über den entsprechenden Strömungskräften liegt.

Abbildung 13: Gegenüberstellung der Strömungskräfte bei $v=4\text{m/s}$ (OPLATKA 1997) und der Ergebnisse der Messungen zum Auszugwiderstand in Funktion des oberirdischen Volumens V



4.1.4 Unterschiede der einzelnen Gehölzarten

Esche (*Fraxinus excelsior*)

Ähnlich wie der Bergahorn kommt die Esche uferbegleitend bis in eine Höhenlage von etwa 1350m vor. Auch die Bedingungen, die an den Standort gestellt werden, wie feuchte, frische Böden, sind mit dem Bergahorn vergleichbar. Meist wurde, nach den Auszugversuchen, ein flacher weitreichender Wurzelteller mit büstenartigen, dichten Verzweigungen festgestellt.

Insgesamt wurden 14 Messungen von **1,204 und 38,088 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 5 und 36 Jahren. Der hier auftretende höchste Auszugwiderstand wird von einem 36jährigen Exemplar aufgebracht.

Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*)

Der Bergahorn, vorkommend vom Hügelland bis in eine Höhe von etwa 1650m, ist an vielen Standorten uferbegleitend, nicht aber im direkten Einflußbereich des fließenden Wassers gefunden worden. Die Wurzelbildung auf den meist humusreichen Böden im Randbereich von Fließgewässern verlief meist sehr intensiv und flach verzweigend. Je nach Nährstoffversorgung am Standort wurde ein mehr oder weniger dichtes Feinwurzelnetz ausgebildet, das einen wesentlichen Teil zum Auszugwiderstand beigetragen hat.

Insgesamt wurden zum Bergahorn 22 Messungen von **0,958 bis 16,539 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 6 und 16 Jahren.

Grünerle (*Alnus viridis*)

Die Grünerle kommt in den Alpen hauptsächlich von der montanen bis subalpinen Stufe bis 2400m vor. Sie ist typisch für die Besiedelung von Lawinhängen. Die Ausbildung von Wurzelbrut (oberirdische Triebe, die von den Wurzeln ausgehen) war an einem, vom fließenden Wasser bestimmten Standort, sehr deutlich ausgebildet. Weiters war an diesem Standort zu beobachten, daß die Wurzeln deutlich vom fließenden Wasser weg wuchsen. Im Gegensatz zu den dort vorkommenden Weiden, die ihre

Wurzeln direkt in den durchfluteten Bodenbereich trieben. Meist wurde ein eher flacher, mit zahlreichen Feinwurzeln ausgebildeter Wurzelteller bestimmt. Die Werte des Auszugwiderstandes sind ähnlich wie bei den Weidenarten.

Insgesamt wurden 22 Messungen von **0,664 bis 11,371 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 6 und 13 Jahren.

Grauerle (*Alnus incana*)

In den Alpen kommt die Grauerle bis in eine Höhenlage von 1800m vor. Sie bevorzugt sickernasse, zum Teil zeitweilig überflutete Böden und ist häufig gewässerbegleitend anzutreffen. Die Form des Wurzelsystemes war großteils sehr variabel. Vom sich flach verzweigenden Wurzelteller mit einem dichten Feinwurzelnetz bis hin zu mehreren gleich starken Wurzeln gab es viele Übergänge. Die jeweils herrschenden Bedingungen am Standort, d. h. der Bodenaufbau, die Kornzusammensetzung und die Nährstoffversorgungen dürften auch hier die maßgebenden Einflußfaktoren sein. Es treten bei der Grauerle standortsabhängig durchwegs sehr hohe Auszugswiderstände auf.

Insgesamt wurden 25 Messungen von **0,957 bis 20,405 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 3 und 19 Jahren.

Lavendelweide (*Salix eleagnos*)

Die Lavendelweide, als typischer Rohbodenbesiedler auf Kalk- und Dolomitgestein, kommt bis in eine Höhe von 2000m vor. Vorgefunden wurde sie auf den jeweiligen Standorten in dichten Beständen, vergesellschaftet mit *Salix myrsinifolia* und *Salix daphnoides*. Meist standen die Pflanzen im direktem Einflußbereich des fließenden Wassers und zeigten sehr oft deutliche Überschotterungszeichen wie Adventivwurzeln im oberen Stammbereich. Das Wurzelsystem selbst war großteils sehr extensiv ausgebildet mit einer mehr oder weniger senkrecht nach unten weggehenden Wurzel und, abhängig vom Nährstoffangebot in den oberen Bodenschichten, feineren Seitenwurzeln.

Insgesamt wurden 78 Messungen von **1,063 bis 17,615 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 5 und 21 Jahren.

Schwarzweide (*Salix myrsinifolia*)

Gemeinsam mit Lavendelweide und Reifweide kommt die Schwarzweide an Fließgewässern bis auf eine Höhe von 1600m vor. Sie bevorzugt staunasse, nährstoffreiche Böden und ist häufig auf Rohböden anzutreffen. In unserem Fall handelte es sich um Exemplare, die im direkten Einfluß des fließenden Wassers standen und deutliche Überschotterungszeichen, in Form von Adventivwurzeln im oberen Stammabschnitt, zeigten. Das Wurzelsystem bestand, ähnlich wie bei der Lavendelweide, meist aus wenigen gleichwertigen Wurzeln. Kleinere Exemplare wurden komplett ausgezogen, hingegen rissen bei besser verwurzelt Pflanzen die Wurzeln meist 40-50cm nach dem Stammanlauf. Der Rest der Wurzeln verblieb somit im Erdreich.

Insgesamt wurden 22 Messungen von **1,024 bis 5,992 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 5 und 14 Jahren.

Großblättrige Weide (*Salix appendiculata*)

Diese sehr schattenresistente, bis auf eine Höhe von 2330m vorkommende Weidenart wurde auf typischen Rohböden gefunden. Trotz der am Standort vorherrschenden Staunässe konnten relativ hohe Auszugswiderstände bestimmt werden. Die Form der Wurzelsysteme variiert stark mit den standörtlichen Gegebenheiten. Es treten sowohl senkrecht weggehende Wurzeln, als auch flache, feinverzweigte Systeme auf. Es tritt eine deutliche Anpassung an die vorherrschenden Bodenbedingungen auf.

Insgesamt wurden 7 Messungen von **1,098 bis 6,3 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 4 und 11 Jahren.

Reifweide (*Salix daphnoides*)

Diese Baumweide der montanen Stufe ist mit wenigen Exemplaren auf den verschiedensten Standorten gefunden worden. Über die Form des Wurzelsystemes kann aufgrund unserer Untersuchungen keine genauere Angabe gemacht werden. Bei den wenigen geprüften Pflanzen trat aber eine deutliche Adventivwurzelbildung infolge Überschotterung im unteren Stammabschnitt auf. Die Werte des Auszugswiderstandes gleichen denen der übrigen Weidenarten sehr. Insgesamt wurden 6 Messungen von **1,008 bis 6,937 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 5 und 14 Jahren.

Purpurweide (*Salix purpurea*)

Nur einige wenige Exemplare wurden von dieser sehr weitverbreiteten Weidenart geprüft. In größeren Beständen ist sie auf den von uns ausgewählten Standorten nicht aufgetreten. Meist ist sie nur als geringe Beimischung gefunden worden. Die Purpurweide ist eine hinsichtlich des Standortes sehr vielseitige Art, die sowohl als Rohbodenbesiedler an Fließgewässern als auch auf ziemlich trockenen Böden vorkommt.

Insgesamt wurden 7 Messungen von **2,176 bis 10,398 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 6 und 8 Jahren.

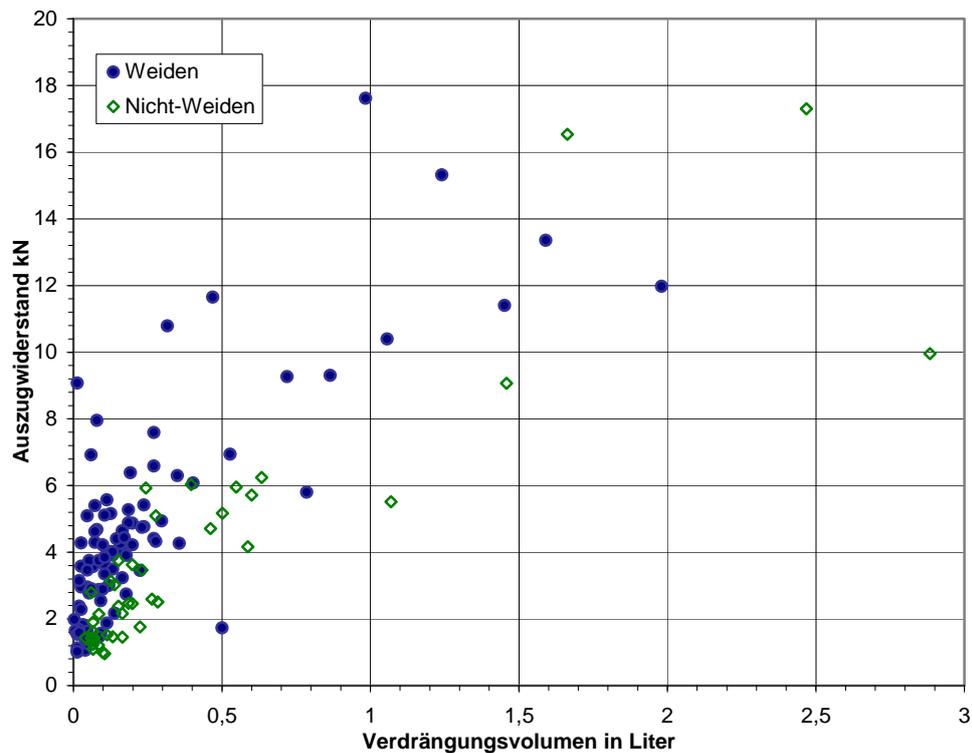
Salweide (*Salix caprea*)

Die Salweide als typischer Rohboden- und Waldpionier kommt bis auf einer Höhe von 2000m vor. Sie meidet allerdings sehr nasse Böden und bevorzugt frische, trockene Lehm- oder Rohböden. Die wenigen Messungen liegen etwa im selben Bereich wie die übrigen Weidenarten.

Insgesamt wurden 5 Messungen von **0,998 bis 6,008 kN** durchgeführt. Das Alter der Pflanzen lag zwischen 4 und 6 Jahren.

Unterscheidung zwischen Weiden und Nicht-Weiden

Im Folgenden wurde zwischen *Weiden* (*Salix eleagnos*, *Salix myrsinifolia*, *Salix purpurea*, *Salix caprea*, *Salix appendiculata* und *Salix daphnoides*) und *Nicht-Weiden* (*Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus*



excelsior, *Alnus incana* und *Alnus viridis*) unterschieden.

Abbildung 14: Unterschiede des Auszugwiderstandes kN von Weiden und Nicht-Weiden bei gleichen Volumina (Liter)

Im Bereich bis ungefähr 0,5 Liter ist deutlich abzulesen, daß Weiden bei gleichem Volumen einen höheren Auszugwiderstand aufweisen als Nicht-Weiden. Für das Versagen der Tragfähigkeit bzw. der Stabilität der Weidenpflanzen mußten größere Auszugkräfte aufgebracht werden. **Die vorliegenden Daten legen den Schluß nahe, daß die Verwendung von Weiden für die Ufersicherung gerade in der entscheidenden Initialphase einen höheren Beitrag zur Stabilisierung gewährleisten kann als andere Arten.**

Der Zusammenhang zwischen Wurzelhalsdurchmessers d (cm) und Auszugwiderstand (kN) bei Weiden und Nicht-Weiden ist in der folgende Abbildung 12 dargestellt.

Die Abbildung 12 zeigt, daß **Weiden bei gleichem Wurzelhalsdurchmesser tendenziell einen höheren Auszugwiderstand bei den durchgeführten Untersuchungen aufwiesen als Nicht-Weiden**. Gerade bei einem Durchmesser bis 5 cm ist die Unterscheidung sehr deutlich zu erkennen. Vergleicht man dies mit der Aussage, daß Weiden auch bei gleichen Volumina gegenüber Nicht-Weiden größere Ausreisskräfte aufweisen, so ist zu erkennen, daß Weiden in den ersten Vegetationsperioden sich rascher bewurzeln, schneller an Zuwachs gewinnen und mehr oberirdische Blatt- und Astmasse bilden.

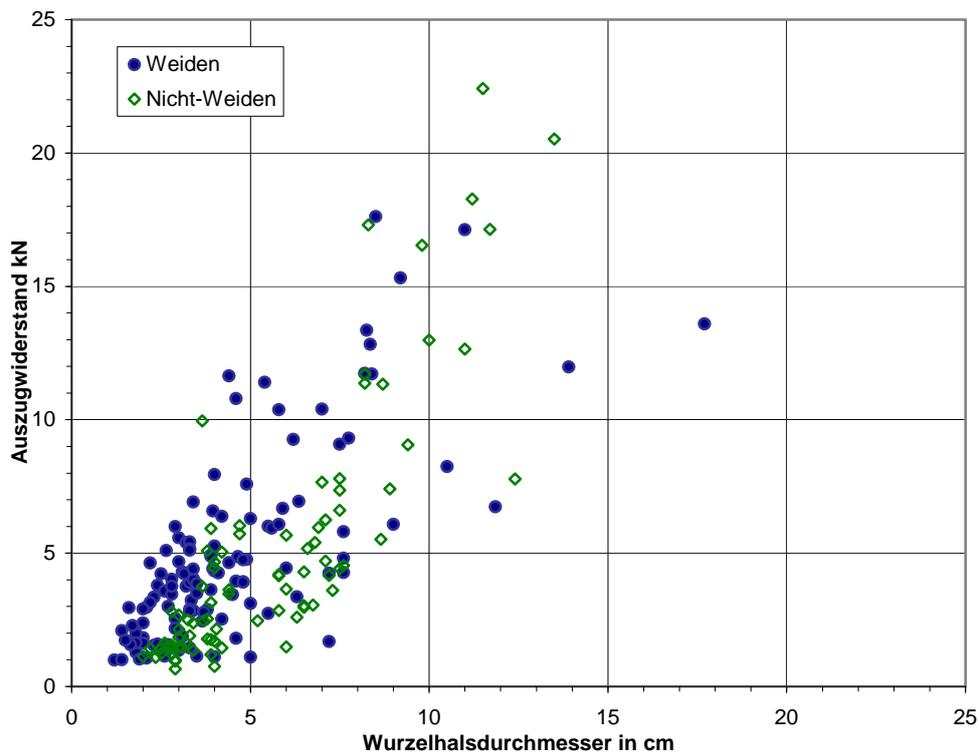


Abbildung 15: Unterschiedliche Auszugwiderstände kN von Weiden und Nicht-Weiden bei gleichem Wurzelhalsdurchmesser (cm)

Ähnliches zeigt auch die folgende Abbildung 13. **In den ersten 10 Vegetationsperioden weisen Weiden wiederum einen höheren Auszugwiderstand als Nicht-Weiden auf**. Danach sind es die Nicht-Weiden (Bergahorn, Esche, Grünerle und Grauerle), die größere Widerstandskräfte aufweisen. Die Schwankungen sind aber auch hier sehr groß.

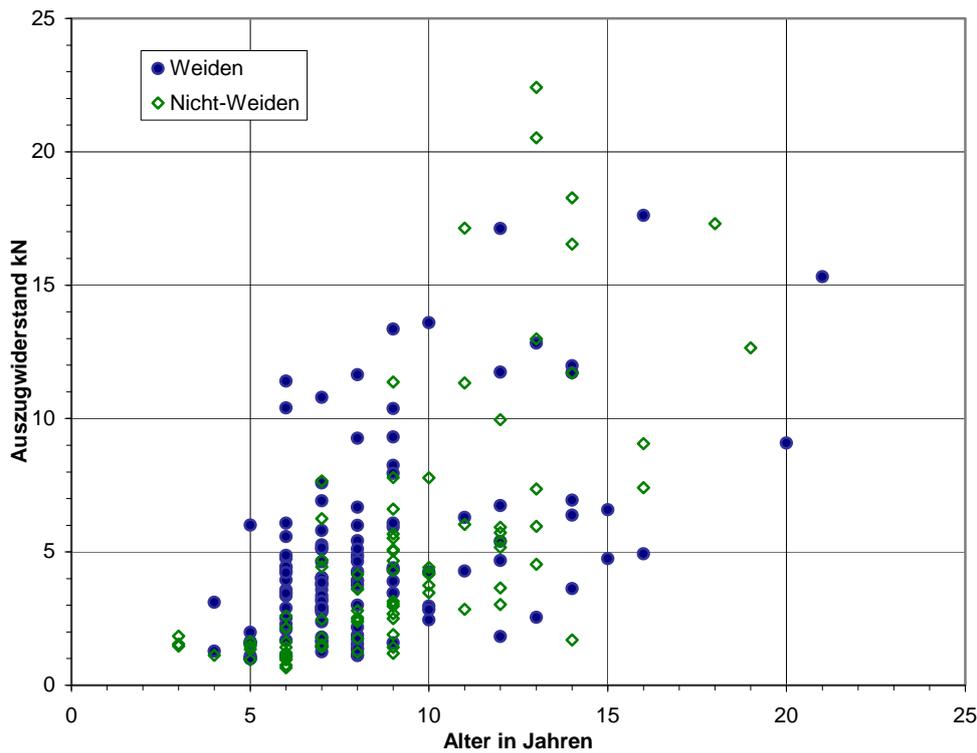


Abbildung 16: Unterschiedliche Auszugswiderstände kN von Weiden und Nicht-Weiden bei gleichem Alter

Unterscheidung nach einzelnen Arten

Die folgenden Abbildungen 14 und 15 zeigen jeweils für alle Gehölzarten die Abhängigkeit des Auszugswiderstandes kN vom oberirdischen Volumen V bzw. vom gemessenen Wurzelhalsdurchmesser.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Arten sind nicht so deutlich ausgebildet. Es sind keine Tendenzen in der jeweiligen Abhängigkeit zu erkennen.

Untersuchungen auf einheitlichen Standorten, d.h. unter gleichen Wachstumsbedingung könnten möglicherweise nähere Angaben zu den jeweiligen Arten bringen. Der Aufbau des Bodens, seine Kornzusammensetzung, die Nährstoff- und Wasserversorgung und der Einfluß des fließenden Wassers haben entscheidende Auswirkung auf die Ausbildung des Wurzelsystemes und damit auch auf den Auszugswiderstand. Die Voraussetzungen des Standortes dürften die artspezifischen Unterschieden überwiegen. Diese Vermutung wird auch in Untersuchungen von M. OPLATKA (1995) und PHILLIPS und WATSON (1994) vertreten.

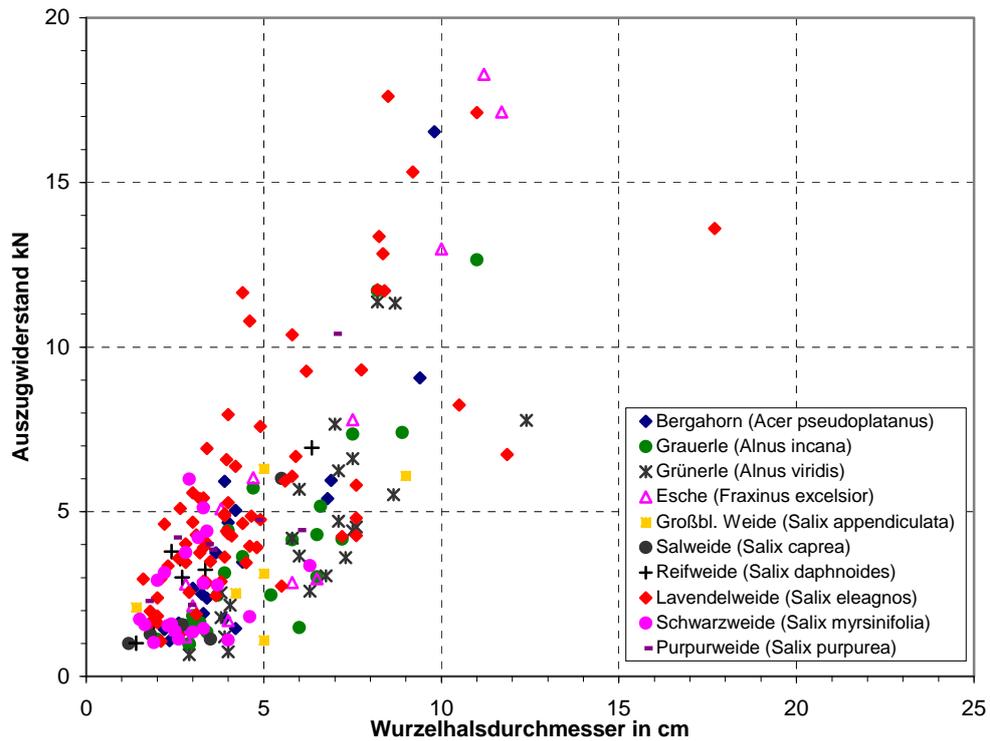


Abbildung 17: Wurzelhalsdurchmesser in cm in Abhängigkeit vom Auszugwiderstand kN für alle Gehölzarten

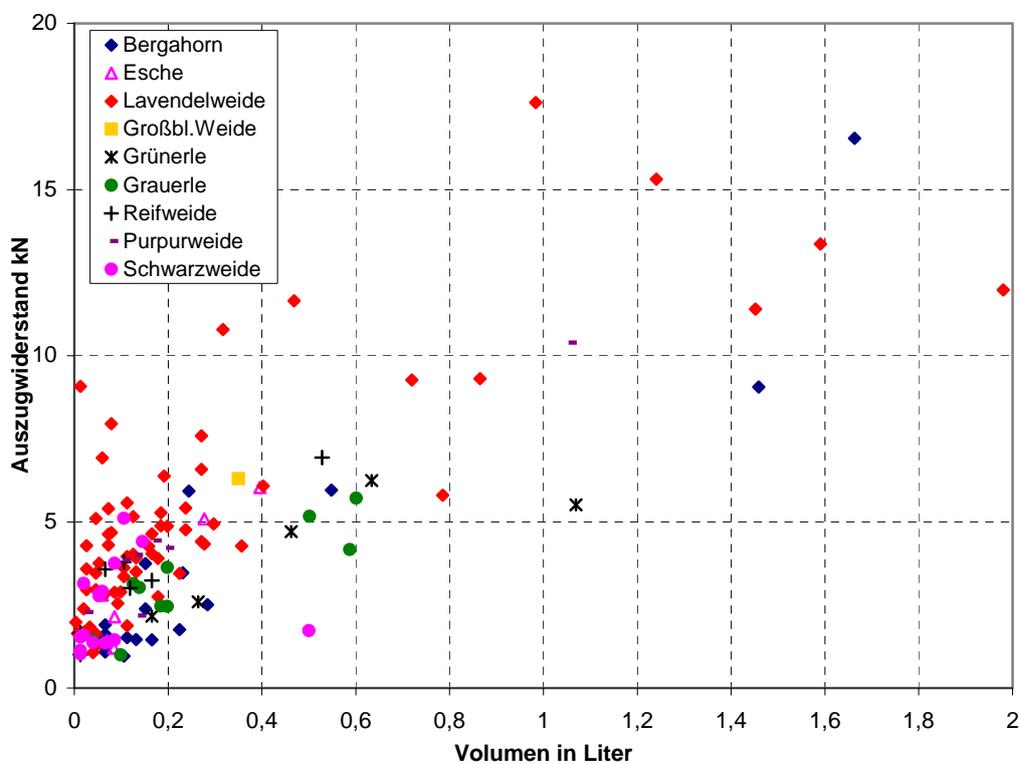


Abbildung 18: Oberirdisches Volumen V in Abhängigkeit vom Auszugwiderstand kN für alle Gehölzarten

4.1.5 Resultate auf den einzelnen Standorten

Allgemein

Es wurden an insgesamt 7 unterschiedlichen Standorten in Österreich die Messungen zum Auszugswiderstand durchgeführt. Wenn es möglich war, wurde eine entsprechende Bodenprobe am Standort entnommen und im Labor die Kornverteilung bestimmt. An einigen Standorten war es hingegen aufgrund des sehr groben, schottrigen bis steinigen (Fluß-) Materials nicht möglich, eine repräsentative Probe zu entnehmen (siehe dazu auch Kapitel 3). In solchen Fällen ist versucht worden, bei jedem Versuch das Material nach dem Versuch verbal zu beschreiben und so ein gewisses Prozeßverständnis zu gewinnen.

Im folgenden werden die Ergebnisse des Auszugswiderstandes auf den einzelnen Standorten dargestellt.

Standort 1

Das gesamte Einzugsgebiet des *Bizauerbaches (Vorarlberg)* liegt geologisch gesehen im Bereich der Helvetischen Zone der Schichtfolge der Kreideformation (hauptsächlich mittlere und obere Kreide), die abseits des Kanisfluh - Mittagsfluhgewölbes allein herrschen. Es ist eine reichgegliederte Schichtfolge von helvetischer Fazies. In den maßgebenden Eigentümlichkeiten sind sie ganz nach Art der gleich alten Schichten an der Nordseite der Schweizer Alpen und im Schweizer Mittelland. Zahlreiche tonige Einlagerungen machen die Kreidegesteine wenig wasserdurchlässig, Hangrutschungen sind eine Folge davon.

Auf den großteils sehr humosen Oberböden bilden die einzelnen Gehölze kräftige, tiefreichende Wurzelsysteme aus. Teilweise wird die lockere, nährstoffreiche Auflage sehr stark und dicht durchwurzelt. Eschen zeigen deutliche Knöllchenausbildungen an den Wurzeln.

Fast bei allen Messungen, mit einigen wenigen Ausnahmen, reißen alle oder mehrere Wurzeln in unterschiedlicher Entfernung vom Stammanlauf. Die durchschnittliche Länge der ausgezogenen Wurzeln liegt zwischen 40 und 80cm.

Auf den beiden, sehr nahe zusammenliegenden Meßstandorten sind folgende Arten den Messungen zum Auszugswiderstand unterzogen worden:

Bergahorn (Acer pseudoplatanus)

Esche (Fraxinus excelsior)

Großblättrige Weide (Salix appendiculata)

Diese Arten sind im Uferbereich des Bizauerbaches mengenmäßig am häufigsten aufgetreten. Die beiden Standorte unterscheiden sich hinsichtlich der Zusammensetzung der Ufervegetation kaum. Insgesamt wurden 28 Messungen in einem Bereich von **0,958 bis 38,088 kN** durchgeführt.

Standort 2

Der *Dürrenbach (Vorarlberg)* ist ein linksufriger Zubringer der Bregenzerache. Die Einmündung in die Bregenzerache (= Messtandort) erfolgt bei Fluß-km 49,8 in einer Seehöhe von rund 817m. Der Bachlauf bildet auf dem Schwemmkegel die Grenze zwischen den Gemeinden Au und Schoppernaut. Im Jahre 1987 führte ein starkes Ereignis zu einem Murenabgang, wobei etwa 20.000 m³ Material in den Vorfluter Bregenzerache abgedriftet ist. Genau an dieser Stelle führte wir im Sommer 1996 und 1997 unsere Versuche zum Auszugwiderstand durch.

Auf diesem Standort sind an folgenden Gehölzarten Messungen zum Auszugwiderstand durchgeführt worden.

Schwarzweide (Salix myrsinifolia)

Lavendelweide (Salix eleagnos)

Reifweide (Salix daphnoides)

Purpurweide (Salix purpurea)

Grauerle (Alnus incana)

Auf diesem sehr einheitlichen Standort, der im direkten Kontakt mit dem fließenden Wasser stand, dominierten verschiedene Weidenarten. Das Bodenmaterial des Standortes wurde bestimmt durch grob-steiniges, kiesiges Material. Es konnte eine feinere, sandige Auflage bei allen Versuchen festgestellt werden. Ein Zeichen dafür war auch die häufige Ausbildung von Adventivwurzeln, speziell an den Weiden war diese zu erkennen.

Insgesamt wurden 86 Messungen in einem Bereich von **0,997 bis 10,398 kN** durchgeführt.

Standort 3

Die Untersuchungen am *Mellenbach (Vorarlberg)*, der ebenfalls ein Zubringer der Bregenzerache ist, wurden in seinem Oberlauf durchgeführt.

Der Meßstandort selbst war geprägt von sehr groben, steinigem Material. Auch hier fanden sich Zeichen einer Überschotterung in Form von zahlreichen Adventivwurzeln an den Weiden.

Am Mellenbach sind folgende Gehölzarten den Untersuchungen zum Auszugwiderstand unterzogen worden:

Schwarzweide (Salix myrsinifolia)

Lavendelweide (Salix eleagnos)

Purpurweide (Salix purpurea)

Reifweide (Salix daphnoides)

Grünerle (Alnus viridis)

Insgesamt wurden 22 Messungen in einem Bereich von **2,159 bis 17,615 kN** durchgeführt.

Standort 4

Alle Messungen am *Krallerbach (Salzburg)* wurden an einem Standort durchgeführt. Es handelte sich dabei um einen breiten Schotterablagerungsplatz des Baches, der im Randbereich einen sehr dichten und einheitlichen Weidenbestand aufwies. Das Untergrundmaterial war überwiegend kalkhaltig

Folgende Gehölzarten wurden den Untersuchungen zum Auszugwiderstand unterzogen:

Lavendelweide (Salix eleagnos)

Großblättrige Weide (Salix appendiculata)

Insgesamt wurden 15 Messungen in einem Bereich von **2,45 bis 17,13 kN** durchgeführt.

Standort 5

Folgende Gehölzarten wurden den Untersuchungen zum Auszugwiderstand am *Löhnersbach (Salzburg)* unterzogen:

Grünerle (Alnus viridis)

Großblättrige Weide (Salix appendiculata)

Insgesamt wurden 19 Messungen in einem Bereich von **0,664 bis 7,776 kN** durchgeführt.

Standort 6

Das Einzugsgebiet des *Plambach (Niederösterreich)*, ein linksufriger Zubringer der Pielach, liegt zur Gänze im Flysch. Folgende Gehölzarten wurden den Untersuchungen zum Auszugwiderstand unterzogen:

Grünerle (Alnus viridis)

Grauerle (Alnus incana)

Esche (Fraxinus excelsior)

Bergahorn (Acer pseudoplatanus)

Insgesamt wurden 12 Messungen zum Auszugwiderstand in einem Bereich von **0,957 bis 22,411 kN** durchgeführt.

Standort 7

Das Einzugsgebiet des *Färbergraben (Oberösterreich)* zählt zum voralpinen Hügelland. Das Grundgestein ist hauptsächlich Kreideflysch. Folgende Gehölzarten wurden den Untersuchungen zum Auszugwiderstand unterzogen:

Grauerle (Alnus incana)

Salweide (Salix caprea)

Bergahorn (Acer pseudoplatanus)

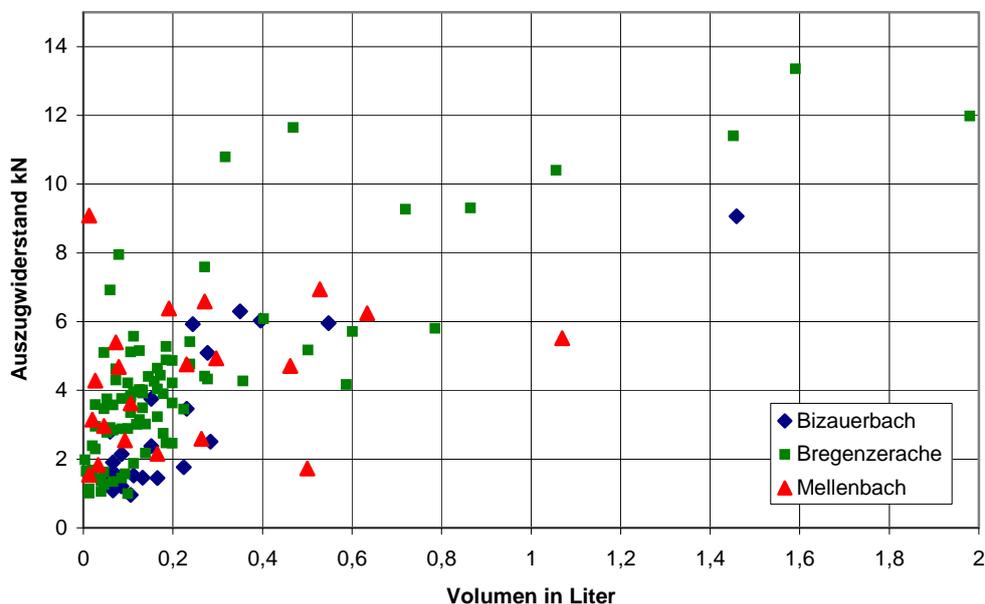
Schwarzweide (Salix myrsinifolia)

Esche (Fraxinus excelsior)

Insgesamt wurden 19 Messungen zum Auszugwiderstand in einem Bereich von **0,998 bis 6,008 kN** durchgeführt.

Darstellung der Ergebnisse auf den einzelnen Standorten

Die folgenden Abbildungen 16 und 17 zeigen die gemessenen Volumina bzw. den Wurzelhalsdurchmesser in Funktion des Auszugwiderstandes kN. Die Standorte 1 bis 3 sind hinsichtlich des Bodens und des Standortes sehr ähnlich. Eine wesentliche Differenzierung kann nicht erkannt werden.



Der Wurzelhalsdurchmesser d ist an allen Gehölzen auf sämtlichen Standorten bestimmt werden. In Abhängigkeit vom jeweiligen Standort lassen sich bei unseren Untersuchungen keine eindeutigen Tendenzen erkennen.

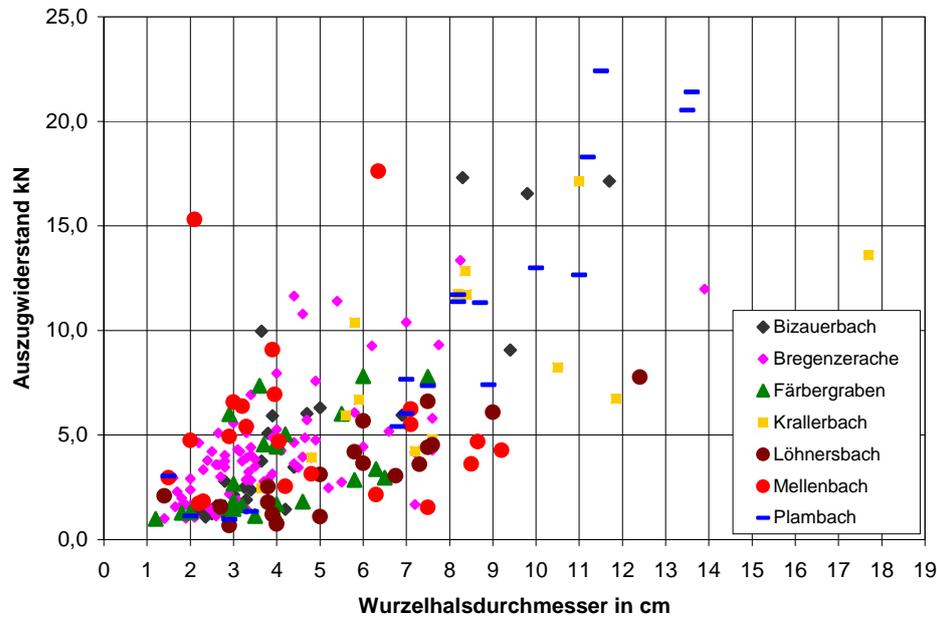


Abbildung 20: Wurzelhalsdurchmesser d in cm in Abhängigkeit vom Auszugswiderstand für die einzelnen Standorte

4.1.6 Zusammenfassung und Schlußbemerkung

(1)

Die Faktoren Volumen V und Wurzelhalsdurchmesser d , die an den Gehölzen bestimmt worden sind, zeigen keine eindeutige direkte Abhängigkeit vom gemessenen Auszugwiderstand kN (siehe Abbildungen 7 und 8). Jedoch läßt sich aufgrund unserer Untersuchungen ein starker Zusammenhang zwischen dem Volumen V und dem Wurzelhalsdurchmesser d herauslesen. Mit Hilfe dieser Abhängigkeit ist es möglich, für ein bestimmtes Volumen V eine Bandbreite des Auszugwiderstandes kN (abzulesen in der Abbildung 7), anzugeben. Die untere Grenze dieses Bereiches ist entscheidend. Sie gibt den minimalen Wert an, den der Auszugwiderstand kN bei einem bestimmten Volumen V erreichen soll, damit es zu keinem Versagen der Pflanze kommt.

(2)

Die pflanzenspezifischen Parameter Höhe h und Alter zeigen keine eindeutige Abhängigkeit vom Auszugwiderstand kN . Diese beiden Werte werden von sehr vielen anderen Faktoren mitbestimmt und beeinflusst. Zu nennen ist an dieser Stelle der Aufbau und die Zusammensetzung des vorherrschenden Bodenmaterials, seine Kornzusammensetzung und die Wasser- und Nährstoffversorgung.

(3)

Bei der Gegenüberstellung von Weiden und Nicht-Weiden zeigen alle Weidenarten höhere Auszugwiderstände bei gleichem Volumen V bzw. Wurzelhalsdurchmesser d . Weiden weisen gerade in der Anwuchsphase in den ersten Vegetationsperioden höhere Kräfte auf, bewurzeln und sichern somit rascher den Boden als die Nicht-Weiden Bergahorn, Esche, Grau- und Grünerle.

(4)

Eine Unterscheidung der einzelnen Arten hinsichtlich des gemessenen Auszugwiderstandes kN konnte aufgrund unserer Untersuchungen nicht festgestellt werden. Die Bedingungen am jeweiligen Standort dürften die artspezifischen Eigenheiten überwiegen. Diese Erkenntnis ist auch bei OPLATKA (1997) nachzulesen.

(5)

Die Vielfalt der Standortbedingungen läßt aufgrund unserer Untersuchungen keine Tendenzen hinsichtlich des Auszugwiderstandes kN erkennen. Generell ist beobachtet worden, daß auf jenen Böden, die den Pflanzen eine optimale Wasser- und Nährstoffversorgung gewährleisten und eine dementsprechend gute Entwicklung des Wurzelsystemes gegeben ist, die Auszugwiderstände größer waren.

4.2 Ergebnisse der Biegeuntersuchungen

4.2.1 Ergebnisse E-Modul

Folgende Auflistung (in absteigender Größe) zeigt den **durchschnittlichen E-Modul** der einzelnen getesteten Holzarten. Es handelt sich dabei um einen Mittelwert, der aus den Mittelwerten der einzelnen Durchmesserklassen gebildet worden ist.

* Purpurweide	10940	N/mm ²
* Esche	10795	N/mm ²
* Salweide	8796	N/mm ²
* Lavendelweide	8485	N/mm ²
* Silberweide	7346	N/mm ²
* Bergahorn	6983	N/mm ²
* Grünerle	5098	N/mm ²
* Grauerle	4568	N/mm ²

Auswertungen nach der Durchmesserklasse ergeben für die getesteten Holzarten unterschiedliche Entwicklungen des E-Moduls.

Tabelle 3: Entwicklungen des E-Moduls innerhalb der einzelnen Holzarten (n.b. = nicht bestimmt):

	<20mm	20-30mm	30-40mm	>40mm	Einheit:
Purpurweide	12444	10689	9558	n.b.	[N/mm ²]
Salweide	9421	8616	9635	7349	
Silberweide	6658	7701	8784	6544	
Lavendelweide	9751	8595	8332	6515	
Grünerle	5247	5005	5329	4828	
Grauerle	4174	4459	5347	3974	
Esche	10571	9636	13972	8910	
Bergahorn	6561	7306	7673	6439	

Es ist ein großer Unterschied zwischen den Arten auszumachen. So weist die Grauerle einen durchschnittlichen E-Modul von 4,5 kN/mm² auf, die Purpurweide hingegen einen Wert von 10.9 kN/mm². Folgendes Diagramm veranschaulicht diese Unterschiede der Arten in den jeweiligen Durchmesserklassen:

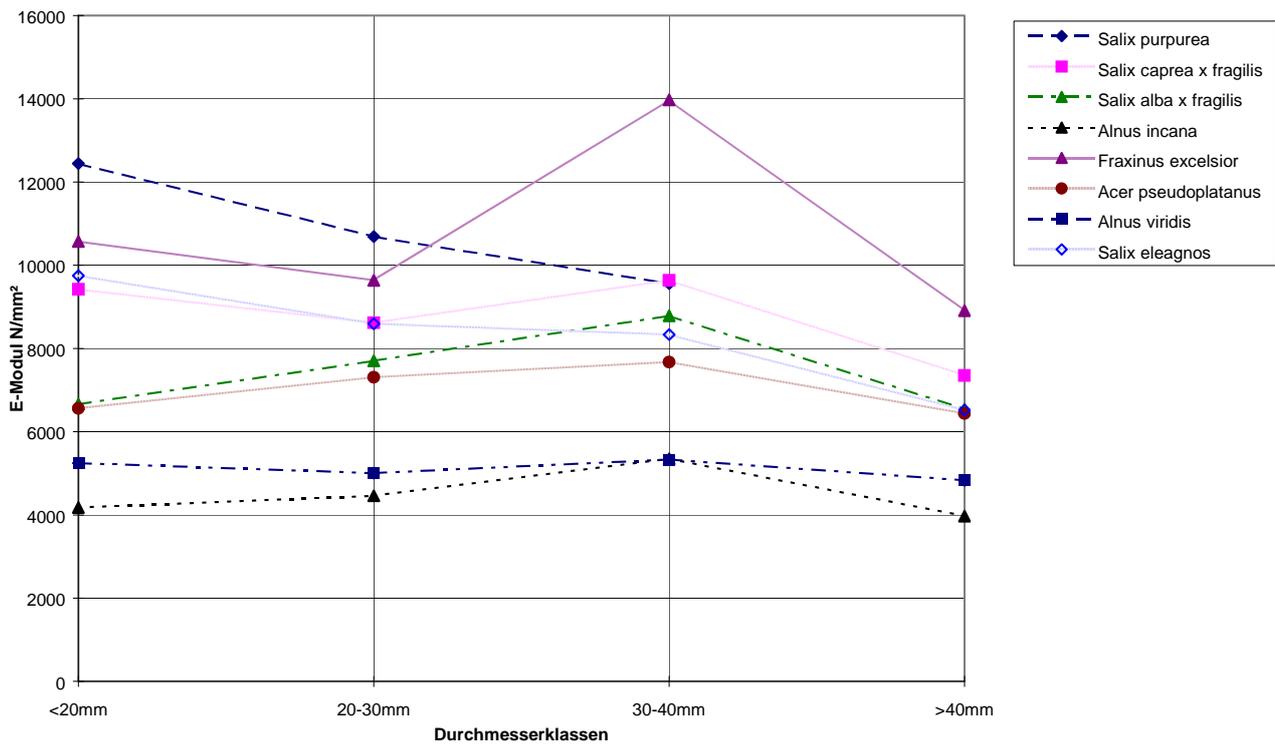


Abbildung 21: Durchschnittlicher E-Modul der einzelnen Arten für die jeweiligen Durchmesserklassen

Bei der Purpur- sowie der Lavendelweide nimmt der E-Modul mit steigendem Durchmesser ab. Bei den anderen Arten ist bis zu einem Durchmesser von 30-40 mm ein tendenzieller Anstieg festzustellen. Bei einem Durchmesser >40 mm sinkt der E-Modul-Wert bei allen Arten.

4.2.2 Ergebnisse Biegefestigkeit

Die folgende Auflistung in absteigender Größe zeigt die durchschnittliche Biegefestigkeit für die getesteten Holzarten:

- * Purpurweide 74,51 N/mm²
- * Lavendelweide 67,50 N/mm²
- * Salweide 63,51 N/mm²
- * Esche 62,92 N/mm²
- * Bergahorn 58,56 N/mm²
- * Silberweide 46,73 N/mm²
- * Grauerle 40,09 N/mm²
- * Grünerle 33,75 N/mm²

Die Werte variieren zwischen 33 N/mm² und 74 N/mm². Die Purpurweide weist die größte Biegefestigkeit auf, Grau- und Grünerle die geringste.

Nachfolgende Tabelle zeigt für sämtliche Holzarten die gemessene Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Durchmesserklasse:

Tabelle 4: Entwicklung der Biegefestigkeit innerhalb der einzelnen Holzarten (n.b. = nicht bestimmt)

	< 20mm	20-30mm	30-40mm	> 40mm	Einheit [N/mm ²]
Purpurweide	83,04	71,81	68,59	n.b.	
Salweide	62,56	64,78	68,58	57,08	
Silberweide	48,91	48,26	47,73	42,06	
Grauerle	40,99	38,45	43,38	36,38	
Esche	61,24	63,64	70,69	56,06	
Bergahorn	57,74	59,27	61,47	55,94	
Grünerle	32,70	33,90	35,40	33,00	
Lavendelweide	79,30	70,10	62,50	47,50	

Bei den Arten Purpurweide, Silberweide und Lavendelweide sinkt der Wert der Biegefestigkeit mit zunehmendem Durchmesser. Die restlichen Holzarten zeigen keine eindeutige Tendenz in der Zu- oder Abnahme.

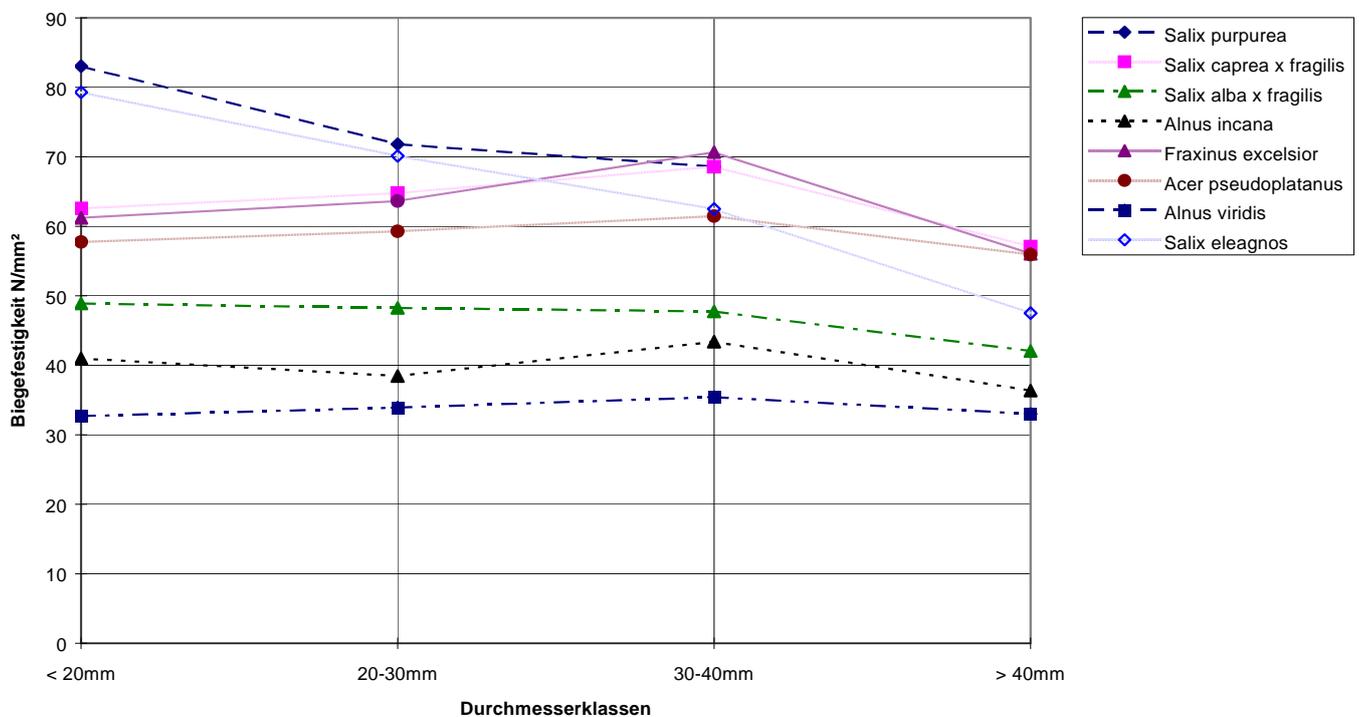


Abbildung 22: Durchschnittliche Biegefestigkeit der einzelnen Arten der jeweiligen Durchmesserklassen

Beim Vergleich der Arten zeigen die Biegefestigkeitswerte deutliche Unterschiede. Die Korrelation zwischen Biegefestigkeits- und E-Modul-Werten ist leicht zu ersehen.

Die Bedeutung dieser Kenngrößen für das biomechanische Verhalten der Pflanze wird im folgenden Kapitel ersichtlich. Sie ermöglichen die Berechnung von Durchbiegung und Bruchmoment.

4.2.3 Durchbiegungs- und Bruchverhalten

Die Biegesteifigkeit bestimmt wesentlich den Widerstand der Pflanze und damit ihre Wirkung auf die Strömungskraft. Die Wechselwirkung zwischen Pflanze und Strömung beeinflusst in einem bepflanzten Abschnitt die Geschwindigkeitsverteilung, welche für das Ausmaß der Erosion und damit für die Stabilität einer Verbauung ausschlaggebend ist.

Die folgende Abbildung 20 macht den Zusammenhang zwischen Biegesteifigkeit und Durchbiegevermögen sichtbar. Es wird exemplarisch für eine angenommene Kraft von 10 N und einer Probenlänge von 1 m in einem Durchbiegungsvergleich das unterschiedliche Verhalten der Arten dargestellt.

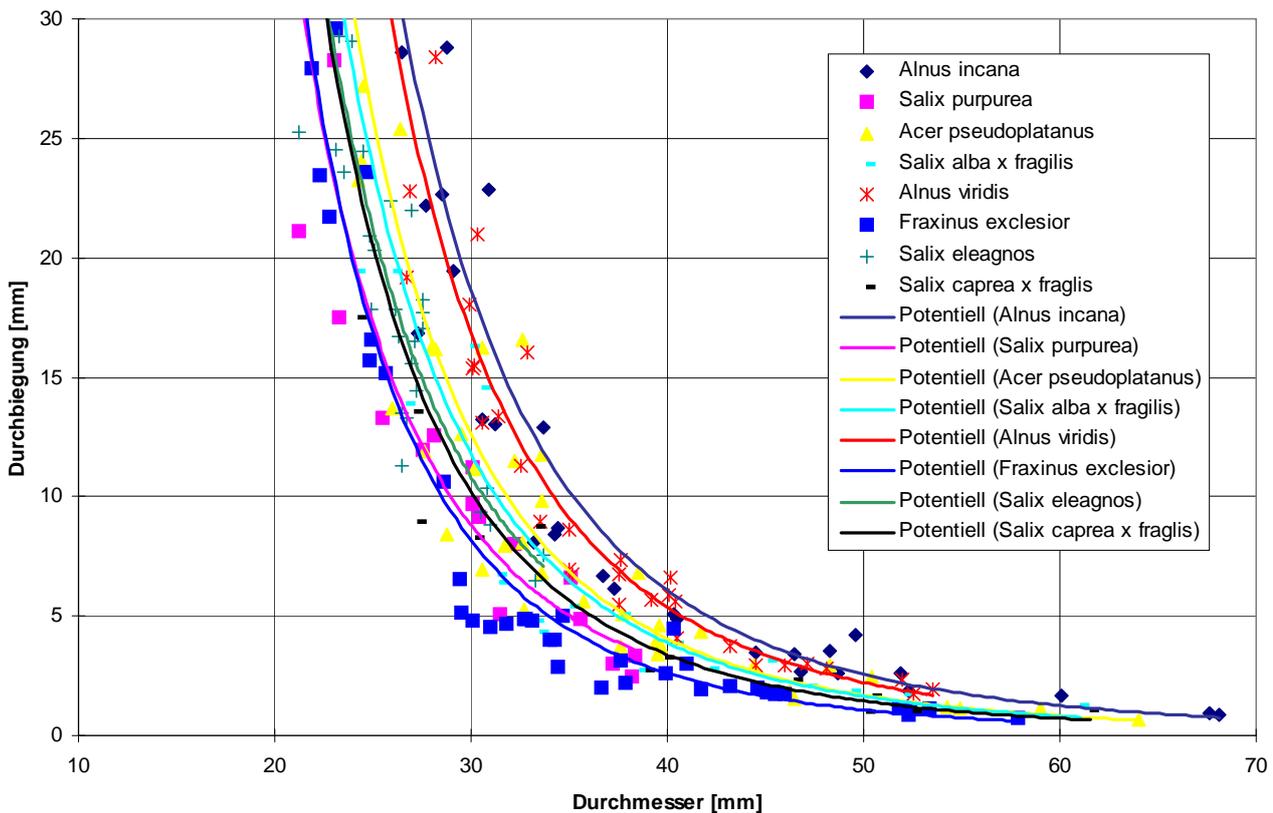


Abbildung 23: Durchbiegungsvergleich (Länge 1000 mm, Kraft 10 N)

In die Berechnung der Durchbiegung geht die einwirkende Kraft linear ein, der Durchmesser aber mit der 4. Potenz (s. Formeln (4) – (6)).

Es läßt sich ablesen, daß das Durchbiegungsvermögen im Bereich von 40 mm abrupt abnimmt, die plötzliche Abflachung der Trendlinien zeigt dies deutlich. Die Durchbiegung läßt durch das rasch zunehmende Widerstandsmoment stark nach. Die folgende Abbildung 21 veranschaulicht die möglichen Maximalbelastungen der Proben bei unterschiedlichen Durchmessern. Es lassen sich die Holzarten und deren Maximalbelastung bis zum Bruch bei den verschiedenen Durchmessern vergleichen.

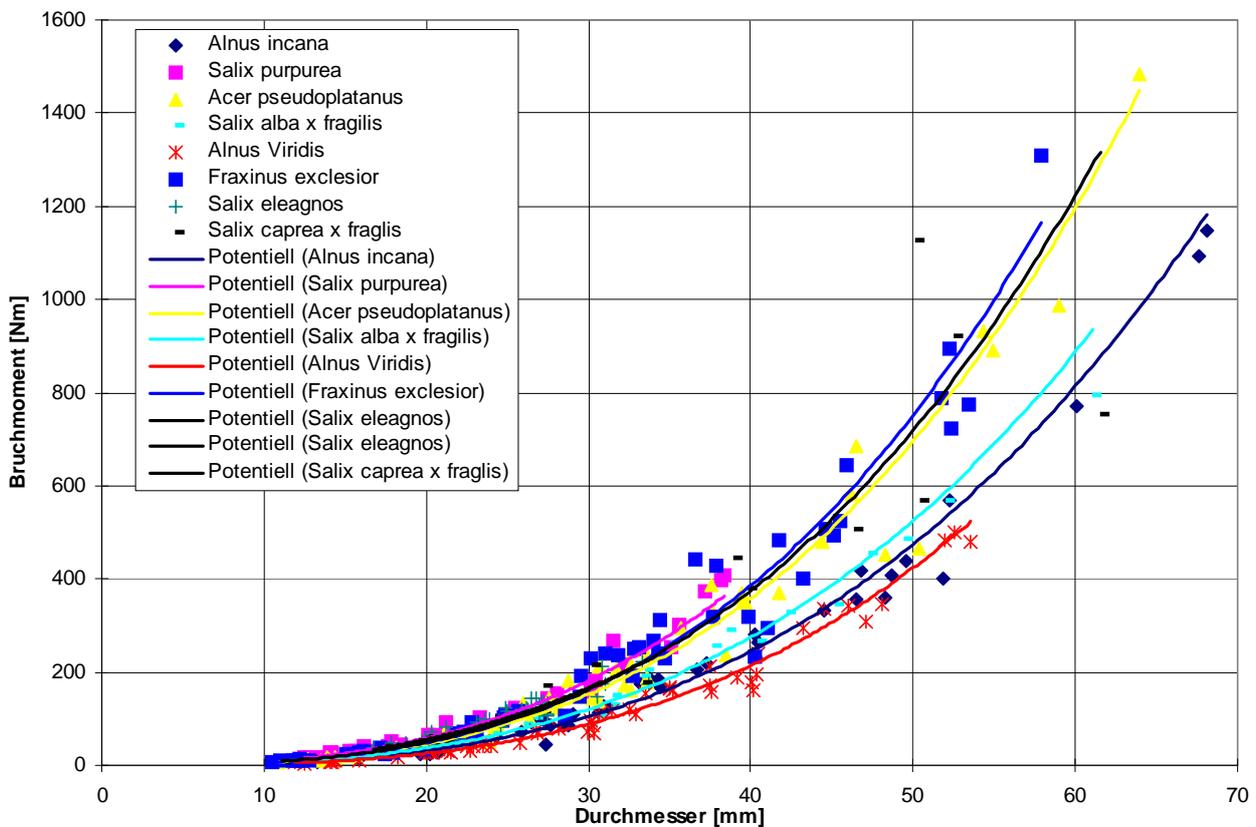


Abbildung 24: Bruchmoment – Durchmesser

Das Bruchmoment steigt mit zunehmendem Durchmesser exponentiell an. Je größer der Durchmesser, umso höher ist das zum Versagen führende Bruchmoment. Die Fläche zwischen der oberen und der unterem Trendlinie umfaßt die Bandbreite der auftretenden Bruchmomente. Anhand der dargestellten Trendlinien kann man die möglichen Maximalbelastungen abschätzen. Daraus lassen sich Toleranzgrenzen festlegen, unterhalb derer ein Versagen (Bruch) nicht zu erwarten ist.

4.2.4 Zusammenfassung - Schlußbemerkung

Die Auswertung der erhobenen Daten zeigt, daß sich die untersuchten Arten deutlich voneinander unterscheiden. Es liegt eine starke Streuung der E-Modul-Werte bei den Arten vor. Es besteht eine Abhängigkeit vom Durchmesser und den Wachstumsbedingungen. Bei Durchmessern >40 mm sinken die E-Moduln bei allen Arten eindeutig. Da der Durchmesser in der vierten Potenz in das Flächenträgheitsmoment eingeht, bestimmt dieser Faktor bei größeren Durchmessern die Biegesteifigkeit ungleich stärker als der E-Modul. Dies wird auch veranschaulicht durch den exponentiellen Anstieg der Bruchmomente bei zunehmendem Durchmesser.

Ein Erklärungsansatz für die geringeren E-Moduln bei Durchmesser >40 mm könnte sein, - da eine ausreichende Steifigkeit der Äste alleine durch den Materialzuwachs gegeben ist, so daß sie durch Eigengewichts- oder Windbiegekräfte nicht mehr gefährdet sind – daß in die Festigkeitseigenschaften des Materials weniger investiert wird. Diese Annahme müßte aber durch Untersuchungen, die die genauen Anteile von Holz und Mark bzw. juvenilem Holz und Spätholz in die Berechnung der Flächenträgheitsmomente einbeziehen, überprüft werden.

Wie aus der Darstellung des Durchbiegeverhaltens (siehe Abbildung 20) hervorgeht, weisen die verschiedenen Arten eine große Bandbreite an Biegevermögen auf. **Generell läßt dieses Biegevermögen ab dem Durchmesser >40 mm deutlich nach.** Dies weist darauf hin, daß Pflegeeingriffe ab einem Durchmesser von ca. 40 mm angebracht sind. So wird gewährleistet, daß ein Bewuchs sich bei Hochwasser flexibel verhält, den Boden bedecken und schützen kann und damit Erosionsprozesse möglichst verhindert.

5 FOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

(1)

Die 10 geprüften Gehölzarten, die mengenmäßig sehr häufig an Österreichs Wildbächen zu finden sind, zeigen eine weite Bandbreite des Auszugwiderstandes. Der Bereich liegt zwischen **0,6** und **38kN**.

(2)

Obwohl beim durchgeführten Auszugversuch nur der unterirdische Teil der Pflanze (das im Boden verankerte Wurzelsystem) einen Widerstand der angreifenden Zugkraft entgegensetzt, **kann in der vorliegenden Untersuchung mit Hilfe des Wurzelhalsdurchmessers d bzw. mit dem Volumen V ein zu erwartender Bereich der Auszugkraft angegeben werden.**

Die untere Grenze dieses Bereiches gibt dabei die kleinst mögliche Auszugkraft an, bei der es zum Versagen der Pflanze kommt. Bei noch kleineren Werten ist die Stabilität des Gehölzes mit Sicherheit gegeben.

(3)

Andere pflanzenspezifische Parameter wie die Wuchshöhe oder das Alter, eignen sich kaum für die Beurteilung des Auszugwiderstandes.

(4)

Im Gegensatz zu den Nicht-Weiden (*Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Alnus incana*, *Alnus viridis*), **eignen sich die getesteten Weidenarten in der Anwuchsphase besser zur Stabilisierung des Bodens. Weiden zeigen bei gleichem Volumen bzw. Wurzelhalsdurchmesser höhere Auszugwiderstände.** In der Anwuchsphase (die ersten Vegetationsperioden) bewirken Weiden somit eine raschere und stärkere Durchwurzelung des Bodens.

Der Einsatz von Weiden in der Ingenieurbiologie bzw. die Förderung von jungen Weidenbeständen wirken sich, aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse, auf die Sicherheit eines Standortes positiv aus.

(5)

Eine Differenzierung der einzelnen Arten hinsichtlich des Auszugwiderstandes kann, aufgrund der vorliegenden Arbeit, nicht festgestellt werden. Die Bedingungen des jeweiligen Standortes sind zum Großteil mitentscheidend und beeinflussen die Größe des Auszugwiderstandes stark.

(6)

Die durchschnittlichen E-Moduln bzw. Biegefestigkeiten zeigen für die einzelnen Arten deutliche Unterschiede. Salix purpurea und Fraxinus excelsior zeigen die höchsten E-Moduln, während die beiden Erlenarten (Alnus incana und Alnus viridis) die kleinsten durchschnittlichen E-Moduln aufweisen. Siehe auch Tabelle Seite 40 und Abbildung 21 auf Seite 41.

Auch bei der durchschnittlichen Biegefestigkeit zeigt Salix purpurea den größten Wert. Die beiden Erlenarten (Alnus incana und Alnus viridis) weisen die kleinsten gemessenen durchschnittlichen Biegefestigkeiten auf. Siehe auch Tabelle Seite 41 und Abbildung 22 auf Seite 42.

(7)

Der **E-Modul** und die **Biegefestigkeit** allein sagen aber noch zu wenig über das Biegeverhalten der verschiedenen Gehölze aus. **Sie sind sehr wichtige Materialkennwerte, die in die Berechnung der Durchbiegung und des Bruchmomentes einfließen.**

(8)

Es hat sich gezeigt, daß ab einem Durchmesser von 40 mm das Biegeverhalten für alle getesteten Gehölzarten stark abnimmt. Ab diesem Durchmesser kann mit pflegenden Eingriffen (Auf-Stock-Setzen) die Elastizität von Gehölzen wieder hergestellt werden.

6 AUSBLICK – WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN

Die vorliegende Studie legt wesentliche Grundlagendaten zur Beschreibung der biologisch-technischen Eigenschaften von Ufergehölzen dar. Die Resultate dazu sind in den vorigen Abschnitten dargestellt worden.

Trotz der erstmalig systematischen Aufarbeitung dieses ingenieurbiologischen Fachbereiches, sind offene Fragen und weitere Arbeitsansätze während der Arbeit aufgetreten.

Die großen Schwankungen der Boden- und Standortbedingungen legen den Schluß nahe, Versuche zum Auszugwiderstand auf einheitlichen Böden, über mehrere Jahre durchzuführen. Mit einer solchen systematischen Erfassung von artspezifischen Auszugwiderständen soll eine bessere und genauere Beurteilung für jede Art getroffen werden können.

Die von uns durchgeführten Untersuchungen zum Auszugwiderstand fanden ohne den Einfluß des fließenden Wassers statt. Da aber aus zahlreichen Naturbeobachtungen bekannt ist, daß die Erosion des Bodens die Stabilität eines Gehölzes sehr wesentlich beeinflußt, sind Versuche dazu als sehr sinnvoll zu betrachten.

Die Elastizitätsuntersuchungen konnten nur an 8 Gehölzarten durchgeführt werden. Eine Ausdehnung auf andere Gehölze, die in der Ingenieurbiologie Verwendung finden, sollte in einer weiterführenden Arbeit angestrebt werden.

7 LITERATURANGABEN

ABRAMSON L. W. et al. (1996): Slope stability and stabilization methods; John Wiley & Sons, Inc.

BACKHAUS , ERICHSON, PLINKE, WEIBER (1996): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 8. Auflage. Springer Verlag

BRETSCHNEIDER H., LECHER K., SCHMIDT M. (1993): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin.

BÜHL A., ZÖFEL P. (1994): SPSS für Windows Version 6. Praxisorientierte Einführung in die moderne Datenanalyse. Addison – Wesley Publishing Company.

BROMHEAD E. N. (1992): The stability of Slopes; Second Edition; Blackie Academic & Professional.

COUTTS M. P. (1983): Root architecture and tree stability. Plant and soil 71. p. 171-188.

DIN 52 186 Prüfung von Holz – Biegeversuch

DIN 52182 Prüfung von Holz - Bestimmung der Rohdichte

DIN 52183 Prüfung von Holz - Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft (1987): Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau. Forschungsbericht. VCH-ForschungsgesellschaftmbH, Wennheim, Deutschland.

DVWK 90 (1990):Uferstreifen an Fließgewässern; Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. ; Verlag Paul Parey

GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE e.V. (1980): Ingenieurbiologie; Uferschutzwald an Fließgewässern; Jahrbuch 1980. Karl Krämer Verlag Stuttgart.

GRAY D. H., SOTIR R. B. (1996) Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization - A practical guide for erosion control; John Wiley & Sons, Inc.

HAMMANN DE SALAZAR K., DITTRICH A. (1995): Hydraulische Belastbarkeit ingenieurbiologischer Bauweisen. Manuskript des Vortrages am 12.9.1995 auf der Tagung zur Gewässerpflege in Riedlingen (Ulm), WBW-Baden/Württemberg.

HAPLA F., SABOROWSKI J. (1984): Überlegungen zur Wahl des Stichprobenumfangs bei Untersuchungen der physikalischen und technologischen Holzeigenschaften. Forstarchiv, 55. Jahrgang (1984) S. 135-138.

HÄHNE K., 1991: Der Einfluß von Gräser- und Gehölzwurzeln auf die Scherfestigkeit von Böden und damit auf die Standsicherheit von Hängen und Böschungen. Dissertation am Institut für Landschaftsbau - Fachbereich Landschaftsentwicklung - der Technischen Universität Berlin.

KERN K. (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung. Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. Springer Verlag.

KOLLMANN F. (1951): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Erster Band; Springer Verlag.

MÜCKENHAUSEN E. (1993): Die Bodenkunde und ihre geologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. DLG-Verlag Frankfurt am Main.

NIKLAS K. J., MOON F.C. (1988): Flexural stiffness and modulus of elasticity of flower stalks from *Allium sativum* as measured by multiple resonance frequency spectra. American Journal of Botany 75 (10); p. 1517 - 1525.

OPLATKA M., 1995: Beanspruchung von Weiden durch die Strömung, Bericht über den Ausreisswiderstand von Weiden; Versuche in Neuseeland. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 1995. Bundesamt für Straßenbau.

ÖNORM ISO 3129 Holz - Stichprobenverfahren und allgemeine Anforderungen an physikalische und mechanische Prüfungen

PASCHE E. (1997): "Können wir Pflanzen in ihrer hydraulischen Wirkung zuverlässig abschätzen?" Zeitschrift für Ingenieurbioogie, Nr. 3/1997.

PHILLIPS C. J., WATSON A. J. (1994): Structural tree root research in New Zealand: a review; Landcare Research Science Series No. 7; Lincoln, Canterbury, New Zealand.

PRECHT M., KRAFT R. (1992): Biostatistik 1. 5. Auflage, Oldenburg Verlag München Wien.

PREISLER G., BOLLRICH G. (1985): Technische Hydromechanik, Band 1 und 2. VEB Verlag für Bauwesen Berlin.

RÖSSERT R., (1992): Hydraulik im Wasserbau. 8. Auflage, R. Oldenburg Verlag München Wien.

SACHS L. (1992): Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden, 7. Auflage. Springer Verlag.

SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

SIMMER K., (1987): Grundbau 1. Bodenmechanik und Erdstatische Berechnungen. B. G. Teubner Stuttgart.

TEISCHINGER A., FELLNER J. (1997): Heimisches Holz, Proholz Holzinformation, Wien

TOBIAS S., 1991: Bautechnisch nutzbare Verbundfestigkeit von Boden und Wurzel. Dissertation an der ETH Zürich.

WAGENFÜHR R. (1988): Anatomie des Holzes unter besonderer Berücksichtigung der Holztechnik. VEB Fachbuchverlag Leipzig.

WENDEHORST R. (1994): Baustoffkunde. 24. Auflage; Vincentz Verlag Hannover

8 ANHANG

σ_B	Biegespannung
F	Kraft N
$F - \max$	Bruchlast in N
d	Probendurchmesser in mm
l	Stützweite in mm
l'	Abstand der Kraftangriffspunkte in mm
E_B	Biege-Elastizitätsmodul in N/mm ²
ΔF	eine beliebige Kraftdifferenz in N im elastischen Verformungsbereich der Probe
Δf	die der Kraftdifferenz ΔF entsprechende Durchbiegung in Probenmitte in mm
β_B	die Biegefestigkeit ist die bis zum Bruch der Probe auftretende größte rechnerische Biegespannung
M	Biegemoment
W	Widerstandsmoment
d_1	mittlerer Probendurchmesser
u	Holzfeuchte in %
ρ_0	Darr-Rohdichte in g/cm ³
\min_{1-n}	kleinster gemessener Wert
\max_{1-n}	größter gemessener Wert

8.2 Daten zu den Auszugversuchen

Standort	file	Art	Höhe (m)	WHD (cm)	Alter (a)	V (l)	kN
Bizauerbach	bb01	Acer pseudoplatanus	3,1	3,1	5	0,132	1,461
Bizauerbach	bb02	Acer pseudoplatanus	2,7	2,7	7	0,112	1,52
Bizauerbach	bb03	Fraxinus excelsior	2,7	2,8	6	0,084	1,204
Bizauerbach	bb04	Acer pseudoplatanus	3,9	3,9	8	0,224	1,762
Bizauerbach	bb05	Fraxinus excelsior	2,6	2,5	6	0,07	1,423
Bizauerbach	bb06	Acer pseudoplatanus	3,9	4,2	7	0,165	1,452
Bizauerbach	bb08	Fraxinus excelsior	5,6	3,8	9	0,277	5,09
Bizauerbach	bb09	Acer pseudoplatanus	4,1	4,4	10	0,231	3,468
Bizauerbach	bb10	Acer pseudoplatanus	8,5	9,8	14	1,663	16,539
Bizauerbach	bb11	Fraxinus excelsior	9,15	11,7	11	5,102	17,141
Bizauerbach	bb12	Acer pseudoplatanus	7,65	9,4	16	1,459	9,063
Bizauerbach	bb13	Acer pseudoplatanus	3,7	2,9	6	0,106	0,958
Bizauerbach	bb14	Salix appendiculata	4,1	5	11	0,35	6,3
Bizauerbach	bb15	Acer pseudoplatanus	3,1	3,4	8	0,152	2,38
Bizauerbach	bb16	Acer pseudoplatanus	3,1	2,5	8	0,066	1,231
Bizauerbach	bb17	Acer pseudoplatanus	2,8	2,35	6	0,066	1,09
Bizauerbach	bb18	Fraxinus excelsior	4,9	4,7	11	0,396	6,028
Bizauerbach	bb19	Acer pseudoplatanus	2,9	3,3	9	0,066	1,905
Bizauerbach	bb20	Fraxinus excelsior	2,5	3	6	0,086	2,142
Bizauerbach	bb22	Fraxinus excelsior	2,3	2,8	8	0,059	2,797
Bizauerbach	bb23	Acer pseudoplatanus	5,7	6,9	13	0,548	5,954
Bizauerbach	bb24	Acer pseudoplatanus	3,8	3,25	9	0,284	2,506
Bizauerbach	bb25	Acer pseudoplatanus	3,4	2,2	9	0,059	1,426
Bizauerbach	bb26	Acer pseudoplatanus	4,1	3,65	10	0,152	3,75
Bizauerbach	bb27	Acer pseudoplatanus	2,9	2,6	6	0,066	1,622
Bizauerbach	bb28	Acer pseudoplatanus	4,4	3,9	12	0,244	5,924
Bregenzerach	ba01	Salix myrsinifolia	4,1	3,15	8	0,099	4,22
Bregenzerach	ba03	Salix myrsinifolia	2,4	1,65	5	0,092	1,573
Bregenzerach	ba04	Salix eleagnos	5,2	7,75	9	0,865	9,305
Bregenzerach	ba05	Salix daphnoides x myrs.	2,5	2,4	7	0,106	3,791

Bregenzerach	ba06	Salix daphnoides x myrs.	3,3	3,35	7	0,165	3,235
Bregenzerach	ba07	Salix eleagnos	2,5	2,65	7	0,046	5,097
Bregenzerach	ba08	Salix daphnoides x myrs.	2,85	2,65	7	0,066	3,573
Bregenzerach	ba09	Salix eleagnos	2,6	2,6	6	0,026	3,584
Bregenzerach	ba10	Salix eleagnos	3,8	3,95	6	0,271	4,413
Bregenzerach	ba11	Salix eleagnos	3,5	3	6	0,112	5,572
Bregenzerach	ba12	Salix eleagnos	3,9	4,9	6	0,238	4,764
Bregenzerach	ba13	Salix eleagnos	3,8	4,65	6	0,198	4,869
Bregenzerach	ba14	Salix daphnoides x myrs.	3,8	2,7	8	0,119	3,006
Bregenzerach	ba15	Salix purpurea	3,5	7	6	1,056	10,398
Bregenzerach	ba16	Salix purpurea	1,8	6	6	0,172	4,438
Bregenzerach	ba17	Salix eleagnos	3,8	7,6	7	0,785	5,804
Bregenzerach	ba19	Salix eleagnos	3,3	4,9	7	0,271	7,592
Mellenbach	mb01	Alnus viridis	3,5	6,3	6	0,264	2,592
Mellenbach	mb02	Alnus viridis	2,9	4,05	6	0,165	2,159
Mellenbach	mb03	Alnus viridis	3,6	7,1	7	0,462	4,707
Mellenbach	mb04	Alnus viridis	3,6	7,1	7	0,634	6,246
Mellenbach	mb05	Alnus viridis	4,45	8,65	9	1,069	5,516
Mellenbach	mb06	Salix eleagnos	3	3	12	0,079	4,68
Mellenbach	mb07	Salix eleagnos	4,65	3,95	15	0,271	6,583
Mellenbach	mb08	Salix daphnoises x myrs.	6,3	6,35	14	0,528	6,937
Mellenbach	mb09	Salix eleagnos	4,3	8,5	16	0,983	17,615
Mellenbach	mb10	Salix eleagnos	3	3,9	14	0,106	3,624
Krallerbach	kb02	Salix eleagnos	5,2	3,65	10	,	2,453
Krallerbach	kb03	Salix eleagnos	5,5	5,9	8	,	6,683
Krallerbach	kb04	Salix eleagnos	6,4	4,8	8	,	3,92
Krallerbach	kb05	Salix eleagnos	8,8	8,4	14	,	11,715
Krallerbach	kb07	Salix eleagnos	4,3	5,6	9	,	5,937
Krallerbach	kb08	Salix eleagnos	6,1	5,8	9	,	10,372
Krallerbach	kb09	Salix eleagnos	7,5	7,6	8	,	4,811
Krallerbach	kb10	Salix eleagnos	7,2	17,7	10	,	13,601
Krallerbach	kb11	Salix eleagnos	6,7	7,2	10	,	4,25
Krallerbach	kb12	Salix eleagnos	9,7	11	12	,	17,125
Krallerbach	kb13	Salix eleagnos	8,3	8,2	12	,	11,744

Krallerbach	kb14	Salix eleagnos	4,8	10,5	9	,	8,241
Krallerbach	kb15	Salix eleagnos	6,2	8,35	13	,	12,834
Krallerbach	kb16	Salix eleagnos	8,2	11,85	12	,	6,737
Krallerbach	kb17	Salix appendiculata	2	4,2	6	,	2,529
Löhnersbach	lb01	Alnus viridis	2,7	4	6	,	0,75
Löhnersbach	lb02	Alnus viridis	2,5	3,8	7	,	1,779
Löhnersbach	lb03	Alnus viridis	2,65	2,9	6	,	0,664
Löhnersbach	lb04	Alnus viridis	2,9	3,8	8	,	2,541
Löhnersbach	lb05	Salix caprea	2,6	2,7	5	,	1,566
Löhnersbach	lb06	Alnus viridis	3,8	3,9	9	,	1,199
Löhnersbach	lb07	Alnus viridis	5,5	7,5	10	,	4,418
Löhnersbach	lb08	Alnus viridis	4,7	7,6	13	,	4,536
Löhnersbach	lb09	Salix appendiculata	2	1,4	6	,	2,098
Löhnersbach	lb10	Alnus viridis	6,4	12,4	10	,	7,776
Löhnersbach	lb11	Alnus viridis	4,7	7,3	8	,	3,603
Löhnersbach	lb12	Alnus viridis	5,1	6,75	9	,	3,056
Löhnersbach	lb13	Alnus viridis	5,1	6	9	,	5,678
Löhnersbach	lb14	Alnus viridis	4,7	5,8	10	,	4,196
Löhnersbach	lb15	Alnus viridis	5,6	6	12	,	3,655
Löhnersbach	lb16	Salix appendiculata	3,25	5	4	,	3,117
Löhnersbach	lb17	Salix appendiculata	4,6	9	6	,	6,084
Löhnersbach	lb18	Salix appendiculata	3,5	5	5	,	1,098
Löhnersbach	lb19	Alnus viridis	4,8	7,5	9	,	6,607
Plambach	pb01	Alnus viridis	8,8	7	7	,	7,658
Plambach	pb02	Alnus viridis	7,9	8,2	9	,	11,371
Plambach	pb03	Alnus viridis	7,4	8,7	11	,	11,33
Plambach	pb04	Cornus mas	7,8	7	9	,	6,023
Plambach	pb06	Alnus incana	8,6	7,5	13	,	7,356
Plambach	pb07	Alnus incana	10,3	13,5	13	,	20,53
Plambach	pb08	Alnus incana	9,8	11	19	,	12,651
Plambach	pb09	Alnus incana	8,9	8,9	16	,	7,404
Plambach	pb10	Alnus incana	10,5	8,2	14	,	11,708
Plambach	pb11	Fraxinus excelsior	12,2	11,2	14	,	18,28
Plambach	pb12	Acer pseudoplatanus	8,3	6,8	12	,	5,397

Plambach	pb13	Fraxinus excelsior	9,8	10	13	,	12,985
Plambach	pb14	Fraxinus excelsior	12	11,5	13	,	22,411
Plambach	pb16	Euonymus europaeus	2,5	1,5	5	,	3,03
Plambach	pb17	Alnus incana	2,9	3,4	5	,	1,347
Plambach	pb18	Alnus incana	2,6	2,9	5	,	0,957
Plambach	pb19	Alnus incana	2	2	4	,	1,126
Plambach	pb20	Picea abies	10,2	13,6	36	,	21,405
Färbergraben	fg01	Sambucus nigra	2	2	2	,	1,314
Färbergraben	fg02	Alnus incana	3,2	3,2	5	,	1,639
Färbergraben	fg03	Alnus incana	3,1	2,8	3	,	1,542
Färbergraben	fg04	Alnus incana	3	3	3	,	1,47
Färbergraben	fg05	Alnus incana	3,4	3	3	,	1,84
Färbergraben	fg06	Sambucus nigra	3	3,7	4	,	4,541
Färbergraben	fg07	Salix caprea	2,1	1,2	5	,	0,998
Färbergraben	fg08	Salix caprea	2,15	1,8	4	,	1,284
Färbergraben	fg09	Salix caprea	6,1	5,5	5	,	6,008
Färbergraben	fg10	Salix caprea	3,8	3,5	6	,	1,134
Färbergraben	fg11	Sambucus nigra	5,7	6	5	,	7,822
Färbergraben	fg12	Salix myrsinifolia	4,2	2,9	8	,	5,992
Färbergraben	fg14	Acer pseudoplatanus	5	4	9	,	4,673
Färbergraben	fg15	Acer pseudoplatanus	4,2	3	9	,	2,677
Färbergraben	fg16	Alnus incana	5,5	4	7	,	4,434
Färbergraben	fg17	Acer pseudoplatanus	5,2	4,2	9	,	5,04
Färbergraben	fg18	Salix myrsinifolia	5,2	4,6	7	,	1,813
Färbergraben	fg19	Salix myrsinifolia	4,9	6,3	7	,	3,368
Färbergraben	fg20	Euonymus europaeus	2,4	3,6	8	,	7,354
Färbergraben	fg21	Fraxinus excelsior	5,9	5,8	11	,	2,851
Färbergraben	fg22	Fraxinus excelsior	5,5	4	14	,	1,698
Färbergraben	fg23	Fraxinus excelsior	6,3	6,5	9	,	2,964
Färbergraben	fg24	Salix myrsinifolia	5,3	4	8	,	1,107
Färbergraben	fg25	Fraxinus excelsior	8,1	7,5	9	,	7,791
Rauschenb.	rb01	Alnus incana	4,4	6,5	9	,	4,3
Rauschenb.	rb02	Alnus incana	4,3	6	7	,	1,485
Rauschenb.	rb03	Alnus incana	5	5,8	8	,	4,147

Mellenbach	me04	Salix myrsinifolia	1,5	2,3	8	0,013	1,539
Mellenbach	me05	Salix eleagnos	1,65	2	12	0,033	1,831
Mellenbach	me06	Salix purpurea	3,3	4,8	15	0,231	4,753
Mellenbach	me07	Salix myrsinifolia	1,4	2,2	7	0,02	3,149
Mellenbach	me08	Salix myrsinifolia	1,6	1,5	8	0,5	1,731
Mellenbach	me09	Salix eleagnos	1,45	2,1	10	0,046	2,963
Mellenbach	me10	Salix eleagnos	5,4	9,2	21	1,241	15,314
Mellenbach	me11	Salix eleagnos	0,95	3,3	11	0,026	4,281
Mellenbach	me13	Salix eleagnos	3	3,2	12	0,073	5,396
Mellenbach	me14	Salix eleagnos	3,3	4,2	14	0,191	6,383
Mellenbach	me15	Salix eleagnos	1,8	2,9	13	0,092	2,545
Mellenbach	me16	Salix eleagnos	4,6	3,9	16	0,297	4,936
Bregenzerache	br01	Salix eleagnos	1,6	1,8	5	0,003	1,982
Bregenzerache	br02	Salix purpurea	2,3	2,5	6	0,198	4,219
Bregenzerache	br03	Salix eleagnos	2,75	3,3	8	0,238	5,418
Bregenzerache	br04	Salix daphnoides	1,4	1,4	5	0,013	1,008
Bregenzerache	br05	Salix eleagnos	1,95	3,1	6	0,073	4,299
Bregenzerache	br06	Salix eleagnos	1,9	3,5	6	0,132	3,493
Bregenzerache	br07	Salix eleagnos	2,2	4,6	6	0,112	3,955
Bregenzerache	br08	Salix eleagnos	2,7	2,2	7	0,073	4,626
Bregenzerache	br09	Salix myrsinifolia	3,5	2,8	8	0,086	3,757
Bregenzerache	br10	Salix eleagnos	3,5	3,4	7	0,165	4,041
Bregenzerache	br11	Salix myrsinifolia	2,8	3,3	8	0,106	5,114
Bregenzerache	br12	Salix eleagnos	4,4	4	9	0,079	7,952
Bregenzerache	br13	Salix eleagnos	4,5	5,8	9	0,403	6,079
Bregenzerache	br14	Salix eleagnos	1,8	2	7	0,02	2,385
Bregenzerache	br15	Salix eleagnos	5,1	4	9	0,277	4,329
Bregenzerache	br16	Salix eleagnos	2,75	4,6	7	0,317	10,789
Bregenzerache	br17	Salix eleagnos	1,8	2,3	6	0,106	3,35
Bregenzerache	br18	Salix eleagnos	3,95	3,8	7	0,086	2,879
Bregenzerache	br19	Salix purpurea	2,1	1,7	6	0,026	2,291
Bregenzerache	br20	Salix eleagnos	3,6	2,8	7	0,125	4,024
Bregenzerache	br21	Alnus incana	3,6	3,7	7	0,198	2,463
Bregenzerache	br22	Salix eleagnos	4,7	4,4	8	0,469	11,649

Bregenzerache	br23	Salix eleagnos	3,6	4	7	0,185	5,271
Bregenzerache	br24	Salix myrsinifolia	3,5	3,4	9	0,145	4,407
Bregenzerache	br25	Salix purpurea	3,5	3,4	7	0,132	4,009
Bregenzerache	br26	Salix eleagnos	2,9	3,3	6	0,099	2,891
Bregenzerache	br27	Salix eleagnos	2,8	3,2	7	0,053	3,755
Bregenzerache	br28	Salix eleagnos	3,1	3,1	8	0,112	1,878
Bregenzerache	br29	Salix eleagnos	3,6	3,4	7	0,059	6,922
Bregenzerache	br30	Salix eleagnos	1,9	1,6	7	0,026	2,957
Bregenzerache	br31	Salix eleagnos	4,4	3,3	9	0,178	3,904
Bregenzerache	br32	Salix eleagnos	4,8	3,9	8	0,185	4,881
Bregenzerache	br33	Salix eleagnos	3,4	7,6	8	0,356	4,274
Bregenzerache	br34	Salix eleagnos	3,5	4,5	6	0,224	3,452
Bregenzerache	br35	Salix eleagnos	1,85	3,3	7	0,125	5,156
Bregenzerache	br36	Salix myrsinifolia	2,35	3,3	10	0,053	2,833
Bregenzerache	br37	Alnus incana	2,7	2,9	6	0,099	0,997
Bregenzerache	br38	Alnus incana	3,2	6,6	12	0,502	5,171
Bregenzerache	br39	Salix eleagnos	1,8	2	7	0,046	1,629
Bregenzerache	br40	Salix myrsinifolia	2,4	3,7	7	0,053	2,775
Bregenzerache	br41	Salix myrsinifolia	2	2	7	0,059	2,914
Bregenzerache	br42	Salix purpurea	2,2	2,9	8	0,139	2,176
Bregenzerache	br43	Salix eleagnos	10	6,2	8	0,719	9,266
Bregenzerache	br44	Salix eleagnos	2,2	2,1	6	0,04	1,063
Bregenzerache	br45	Alnus incana	3,4	5,2	8	0,185	2,47
Bregenzerache	br46	Alnus incana	1,5	7,2	10	0,587	4,166
Bregenzerache	br48	Salix myrsinifolia	1,4	2,4	9	0,02	1,593
Bregenzerache	br49	Salix purpurea	1,6	3,5	7	0,106	3,852
Bregenzerache	br50	Salix myrsinifolia	3,2	2,5	8	0,04	1,377
Bregenzerache	br51	Salix eleagnos	3,1	4,8	8	0,132	3,916
Bregenzerache	br52	Salix myrsinifolia	2,15	2,6	8	0,013	1,132
Bregenzerache	br53	Salix eleagnos	2,3	2,8	9	0,046	3,462
Bregenzerache	br55	Salix eleagnos	3,3	4,4	8	0,165	4,641
Bregenzerache	br56	Salix eleagnos	3,05	2,6	7	0,046	1,26
Bregenzerache	br57	Salix eleagnos	2,15	1,8	5	0,007	1,643
Bregenzerache	br58	Alnus incana	3,4	4,7	12	0,601	5,716

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

Bregenzerache	br59	Salix myrsinifolia	2,3	1,9	5	0,013	1,024
Bregenzerache	br60	Alnus incana	3,4	3,9	9	0,125	3,144
Bregenzerache	br61	Alnus incana	3,55	4,4	8	0,198	3,631
Bregenzerache	br62	Salix eleagnos	3,6	4,1	6	0,158	4,261
Bregenzerache	br63	Salix eleagnos	2,9	3,4	7	0,066	2,843
Bregenzerache	br64	Salix myrsinifolia	3,95	3,3	7	0,086	1,452
Bregenzerache	br65	Salix eleagnos	3,45	5,5	7	0,178	2,745
Bregenzerache	br66	Salix eleagnos	4,3	8,25	9	1,591	13,359
Bregenzerache	br67	Salix myrsinifolia	3,1	3	8	0,066	1,35
Bregenzerache	br68	Alnus incana	2,3	2,8	7	0,04	1,433
Bregenzerache	br69	Alnus incana	1,95	6,5	12	0,139	3,022
Bregenzerache	br70	Salix daphnoides	1,55	1,9	7	0,013	1,662
Bizauerbach	bb30	Fraxinus excelsior	10	14	36	6,587	38,09

8.3 Daten zu den Biegeversuchen

Salix eleagnos

Prüfergebnisse			Stützweite: x . . . Mittelwert						
			I _V	I _A	s . . . Standardabweichung				
			[mm]	[mm]					
Durchmesserreihe 20 - 30mm			450	195	Salix eleagnos				
Pr.	Biegefe st.	E- Modul	m _u	m _o	u	m _{ohne Rinde}	V _o	ρ _o	Alter
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[g]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
1	65,2	7675	126,15	72,79	73,31	11,35	20,29	0,559	8
2	77,8	9066	63,57	37,46	69,70	7,98	14,63	0,545	8
3	69,7	6750	119,78	77,95	53,66	12,62	22,21	0,568	10
4	85,7	12940	108,09	77,84	38,86	7,25	11,85	0,612	7
5	87,3	13165	60,42	34,10	77,18	7,87	13,00	0,605	10
6	56,5	6097	72,51	43,29	67,50	8,96	16,22	0,552	6
7	76,9	8177	67,20	39,34	70,82	7,33	12,58	0,583	7
8	82,6	8508	131,03	79,23	65,38	13,52	23,95	0,565	7
9	73,0	9922	96,53	52,20	84,92	7,95	14,00	0,568	6
10	66,2	8426	136,47	78,67	73,47	11,30	20,44	0,553	8
11	58,6	5860	161,80	88,39	83,05	15,00	25,08	0,598	10
12	61,9	6765	87,03	53,35	63,13	7,33	12,93	0,567	7
13	56,8	9262	47,94	29,90	60,33	6,82	12,67	0,538	8
14	77,3	9954	206,07	116,48	76,91	16,41	28,07	0,585	11
15	75,2	7164	88,57	50,52	75,32	11,41	19,72	0,579	8
16	76,4	9352	114,17	66,60	71,43	13,81	22,58	0,612	9
17	55,0	4433	64,11	37,06	72,99	6,60	12,17	0,542	8
18	66,8	8508	134,51	76,09	76,78	12,72	22,09	0,576	10
19	72,2	7872	72,44	43,39	66,95	10,20	17,18	0,594	7
20	86,8	13171	74,84	45,06	66,09	9,04	15,62	0,579	9
21	69,8	5476	104,70	58,74	78,24	7,15	12,37	0,578	8
22	73,9	10527	46,06	29,65	55,35	6,61	11,08	0,597	8
23	78,9	10957	40,80	22,15	84,20	5,37	9,91	0,542	8
24	71,1	8134	86,97	52,49	65,69	14,44	25,61	0,564	6
25	66,0	6697	107,62	63,39	69,77	16,31	28,77	0,567	7
26	63,4	8572	87,67	48,93	79,17	10,44	17,44	0,599	7
27	64,1	9382	55,67	32,66	70,45	7,27	12,90	0,564	8
28	60,9	9046	52,72	30,04	75,50	5,48	10,06	0,545	8
29	75,3	9634	99,91	56,46	76,96	14,13	25,60	0,552	7
30	52,6	6744	64,69	38,01	70,19	7,55	13,45	0,561	7

31	76,5	9813	124,87	67,95	83,77	15,73	27,24	0,577	7
32	63,7	6979	75,55	44,56	69,55	9,36	16,49	0,568	8
x₁₋₃₂	70,1	8595	93,14	54,52	70,83	10,17	17,76	0,572	
s₁₋₃₂	9,4	2120	36,94	21,15	9,61	3,38	5,81	0,021	
Salix eleagnos									
	Biegefe st.	E- Modul	m_u	m_o	u	m_{ohne} Rinde	V_o	ρ_o	
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[g]	[cm ³]	[g/cm ³]	
x₁₋₅₈	67,5	8485	129,47	76,17	71,15	13,79	24,31	0,536	
s₁₋₅₈	12,5	2002	116,08	69,81	8,98	9,84	17,44	0,023	
min₁₋₅₈	35,1	4433	26,25	14,69	38,86	3,22	5,95	0,504	
max₁₋₅₈	90,7	13171	519,74	319,77	88,59	47,35	84,79	0,612	
Durchmesserreihe 30 - 40mm				600	255	Salix eleagnos			
	Biegefe st.	E- Modul	m_u	m_o	u	m_{ohne} Rinde	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[g]	[cm ³]	[g/cm ³]	
33	65,5	10258	101,1	60,39	67,41	13,82	25,25	0,547	8
34	54,2	6500	122,05	69,42	75,81	15,99	31,71	0,504	9
35	70,2	8596	117,39	68,26	71,97	15,11	24,69	0,612	9
36	46,4	6971	192,63	108,12	78,16	25,37	47,92	0,529	10
37	61,6	8548	142,5	84,93	67,79	18,7	33,58	0,557	8
38	51,2	6962	140,6	80,56	74,53	18,39	31,11	0,591	10
39	66,7	7559	108,08	60,82	77,70	14,71	26,11	0,563	7
40	74,5	7290	183,31	103,75	76,68	22,58	37,1	0,609	11
41	67,3	8265	184,43	105,55	74,73	14,98	26,28	0,570	7
42	53,4	8411	131,33	72,68	80,70	16,6	30,7	0,541	8
43	79,1	12313	112,29	66,06	69,98	15,01	25,31	0,593	8
44	59,9	8316	128,99	73,69	75,04	19,29	35,85	0,538	11
x₃₃₋₄₄	62,5	8332	138,73	79,52	74,21	17,55	31,30	0,563	
s₃₃₋₄₄	9,9	1608	31,53	17,37	4,16	3,51	6,77	0,033	
Durchmesserreihe > 40mm				750	315	Salix eleagnos			
	7,0	E- Modul	m_u	m_o	u	m_{ohne} Rinde	V_o	ρ_o	
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[g]	[cm ³]	[g/cm ³]	
45	48,7	6426	519,74	319,77	62,54	41,30	73,71	0,560	10
46	62,5	7908	379,99	226,41	67,83	32,26	56,10	0,575	10
47	45,0	7539	318,84	194,73	63,73	30,02	56,11	0,535	10
48	35,8	5047	366,20	226,30	61,82	31,27	53,83	0,581	11
49	57,7	6807	510,46	307,11	66,21	44,88	76,53	0,586	10
50	35,1	5363	508,42	293,39	73,29	47,35	84,79	0,558	9
x₄₅₋₅₀	47,5	6515	433,94	261,29	65,90	37,85	66,85	0,566	
s₄₅₋₅₀	11,2	1146	88,89	51,81	4,27	7,58	13,14	0,019	
Durchmesserreihe <20mm				300	125	Salix eleagnos			

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

	Biegefe st.	E- Modul	m_u	m_o	u	m_{ohne} Rinde	V_o	ρ_o	
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[g]	[cm ³]	[g/cm ³]	
51	79,0	10260	26,84	17,58	52,67	5,62	9,58	0,587	8
52	90,7	9593	31,19	18,81	65,82	6,04	10,47	0,577	5
53	66,8	7718	26,25	15,89	65,20	4,07	7,26	0,561	6
54	82,7	13033	29,68	16,89	75,73	4,27	7,25	0,589	5
55	71,9	9009	26,52	14,69	80,53	3,22	5,95	0,541	4
56	77,2	8933	34,36	21,53	59,59	5,89	10,99	0,536	7
57	83,6	10477	54,37	28,83	88,59	3,43	5,95	0,576	6
58	82,6	8981	31,01	16,67	86,02	4,42	7,74	0,571	12
x₅₁₋₅₈	79,3	9751	32,53	18,86	71,77	4,62	8,15	0,567	
s₅₁₋₅₈	7,4	1582	9,26	4,52	12,93	1,10	1,96	0,020	

Alnus viridis

Prüfergebnisse			Stützweite:		x . . . Mittelwert			
			I_V	I_A	s . . . Standardabweichung			
			[mm]	[mm]				
Durchmesserreihe < 20mm			300	125		Alnus viridis		
	Biegefest. t.	E- Modul	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
1	31,2	3736	9,59	4,27	124,59	10,58	0,40	8
2	34,0	4419	9,24	4,65	98,71	10,63	0,44	8
3	27,5	4742	6,42	2,98	115,44	6,81	0,44	6
4	34,1	4913	5,19	2,14	142,52	4,95	0,43	6
5	29,8	8751	5,14	2,19	134,70	6,05	0,36	6
6	37,4	5728	6,6	2,91	126,80	7,61	0,38	7
7	36,5	4265	4,33	1,98	118,69	4,34	0,46	5
8	24,0	5447	3,74	1,87	100,00	4,43	0,42	7
9	27,1	5224	6,01	2,51	139,44	5,50	0,46	6
10	28,1	n. b.	2,86	1,38	107,25	3,18	0,43	6
11	27,0	n. b.	3,53	1,75	101,71	4,03	0,43	6
12	38,1	n. b.	3,38	1,69	100,00	4,02	0,42	7
13	35,9	n. b.	3,44	1,53	124,84	3,33	0,46	7
14	28,1	n. b.	3,81	1,55	145,81	3,12	0,50	6
15	45,2	n. b.	3,64	1,68	116,67	4,07	0,41	6
16	38,7	n. b.	3,26	1,41	131,21	3,28	0,43	6
x_{1-16}	32,7	5247	5,01	2,28	120,52	5,37	0,43	
s_{1-16}	5,7	1451	2,08	0,98	15,84	2,42	0,03	
Durchmesserreihe 20 - 30mm				450	195	Alnus viridis		
	Biegefest. t.	E- Modul	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
17	36,5	5735	21,63	10,16	112,89	24,36	0,42	9
18	40,7	6922	24,40	10,59	130,41	26,53	0,40	8
19	31,6	4728	18,06	8,62	109,51	20,19	0,43	8
20	35,3	5676	19,50	7,93	145,90	19,62	0,40	8
21	25,7	2889	13,95	6,54	113,30	16,75	0,39	7
22	35,8	3782	25,19	12,65	99,13	29,09	0,43	7
23	30,6	4554	18,66	9,00	107,33	20,3	0,44	8
24	34,0	5974	13,23	6,20	113,39	13,89	0,45	7
25	34,1	5123	15,20	6,96	118,39	16,77	0,42	6
26	38,0	4166	13,24	5,60	136,43	13,67	0,41	7

27	36,0	4819	17,30	8,45	104,73	19,82	0,43	7
28	40,2	5733	22,35	8,91	150,84	21,93	0,41	7
29	39,3	7273	14,68	6,24	135,26	14,45	0,43	5
30	32,2	4679	11,20	5,22	114,56	12,11	0,43	6
31	27,0	4712	27,73	12,04	130,32	28,73	0,42	7
32	29,7	4053	17,96	8,46	112,29	18,24	0,46	7
33	29,2	4273	18,81	8,37	124,73	19,33	0,43	6
x₁₇₋₃₃	33,9	5005	18,42	8,35	121,14	19,75	0,42	
s₁₇₋₃₃	4,5	1116	4,66	2,14	14,81	5,11	0,02	
Durchmesserreihe 30 - 40mm				600	255	Alnus viridis		
	Biegefest.	E- Modul	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
34	31,8	5092	46,88	20,08	133,47	51,92	0,387	8
35	37,9	6524	40,35	18,28	120,73	46,31	0,395	7
36	41,8	6026	40,03	18,45	116,96	43,36	0,426	8
37	35,6	5390	28,99	12,17	138,21	31,68	0,384	8
38	30,4	4615	44,90	19,70	127,92	47,83	0,412	7
39	40,1	6484	39,15	16,86	132,21	41,40	0,407	9
40	37,9	5219	33,23	14,37	131,25	34,03	0,422	7
41	35,1	5375	36,60	15,59	134,77	36,41	0,428	5
42	32,8	5072	47,28	19,81	138,67	50,58	0,392	9
43	32,3	5277	29,92	14,12	111,90	33,77	0,418	9
44	38,9	5242	34,30	15,74	117,92	35,19	0,447	6
45	41,1	6267	44,21	20,42	116,50	45,53	0,448	10
46	31,2	3609	32,55	15,08	115,85	35,47	0,425	9
47	25,1	3812	25,32	10,91	132,08	24,90	0,438	8
48	38,4	5927	31,79	14,66	116,85	32,60	0,450	7
x₃₄₋₄₈	35,4	5329	37,03	16,42	125,68	39,40	0,419	
s₃₄₋₄₈	4,7	862	6,88	2,97	9,25	7,91	0,022	
Durchmesserreihe >40mm				750	315	Alnus viridis		
Proben	Biegefest.	E- Modul	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
	t.							
Nr.:	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
49	31,9	4208	81,75	36,88	121,66	84,74	0,435	11
50	37,1	5225	76,59	35,09	118,27	79,38	0,442	9
51	35,1	4013	126,81	61,75	105,36	138,61	0,445	12
52	31,7	4554	84,52	38,09	121,90	84,18	0,452	9
53	29,9	4591	69,21	29,61	133,74	75,27	0,393	9
54	36,0	5188	64,14	29,34	118,61	68,72	0,427	9
55	30,0	4546	48,29	21,79	121,62	50,37	0,433	7
56	35,2	5211	100,44	44,80	124,20	101,29	0,442	11
57	39,0	5833	58,62	26,65	119,96	64,38	0,414	10

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

58	25,1	3912	52,33	23,33	124,30	52,43	0,445	9
59	36,8	6177	65,15	28,41	129,32	64,56	0,440	9
60	28,4	4481	43,95	20,75	111,81	44,61	0,465	9
x₄₉₋₆₀	33,0	4828	72,65	33,04	120,90	75,71	0,436	
s₄₉₋₆₀	4,2	706	23,57	11,55	7,37	25,64	0,019	
						Alnus viridis		
	Biegefest.	E- Modul	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
x₁₋₆₀	33,75	5097,85	30,34	13,69	122,06	32,02	0,426	
s₁₋₆₀	4,83	1025,32	26,69	12,25	12,58	28,00	0,024	
min₁₋₆₀	24,00	2889,00	2,86	1,38	98,71	3,12	0,362	
max₁₋₆₀	45,20	8751,00	126,81	61,75	150,84	138,61	0,497	

Acer pseudoplatanus

Prüfergebnisse										x . . . Mittelwert	
				Stützweite:	l_V	l_A	s . . . Standardabweichung				
					[mm]	[mm]					
Durchmesserreihe >40mm					750	315	Acer pseudoplatanus				
	F-max	Biegefest.	E-Modul	d_1	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Bd	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	[mm]	a
1	1588,8	42,50	4540	38,5	48,82	26,57	83,74	54,65	0,486	64,3	9
2	9903,4	57,70	5885	64,0	143,42	84,36	70,01	155,52	0,542	44	15
3	2591,9	74,50	9021	37,6	52,88	30,12	75,56	55,00	0,548	75	10
4	3100,4	37,00	4212	50,4	71,13	39,67	79,30	81,32	0,488	61,9	19
5	6214,3	59,30	6622	54,3	117,34	70,07	67,46	117,17	0,598	29,7	15
6	2190,5	62,50	6593	37,7	42,91	25,71	66,90	45,90	0,560	71,4	14
7	5939,6	54,80	6494	54,9	88,35	49,90	77,05	95,25	0,524	54,7	11
8	2368,5	58,30	5964	39,6	59,32	31,20	90,13	67,10	0,465	69	11
9	3008,8	40,80	4289	48,3	66,18	36,17	82,97	66,42	0,545	70,2	11
10	2324,9	56,80	7361	39,7	62,08	32,83	89,10	68,23	0,481	78,5	7
11	3894,7	60,30	8097	46,2	61,81	36,82	67,87	62,65	0,588	53,5	23
12	6591	49,00	5075	59,0	77,8	44,54	74,67	88,35	0,504	52,4	21
13	3194,5	55,80	5979	44,4	49,41	28,21	75,15	51,91	0,543	88,1	14
14	2414,8	60,30	7116	39,4	32,92	17,86	84,32	37,85	0,472	47,6	14
15	4570,9	69,50	9331	46,5	54,38	31,76	71,22	54,62	0,581	63,1	13
x₁₋₁₅	3993,1	55,94	6439	46,7	68,58	39,05	77,03	73,46	0,528		
s₁₋₁₅	2268,7	10,17	1580	8,4	29,00	17,55	7,69	30,68	0,044		
Durchmesserreihe 30 - 40mm					600	255	Acer pseudoplatanus				
	F-max	Biegefest.	E-Modul	d_1	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Bd	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	[mm]	a
16	1490,2	51,00	5408	33,60	28,44	13,33	113,35	25,83	0,516	66,6	7
17	2911,8	61,40	8123	39,50	57,66	35,96	60,34	58,65	0,613	51,2	15
18	1845,4	63,20	7817	33,60	39,17	20,72	89,04	45,20	0,458	58,3	9
19	2896,4	51,90	5188	41,70	60,16	32,98	82,41	61,41	0,537	60,7	7
20	1076,9	63,70	6766	28,00	30,04	15,02	100,00	27,94	0,538	65,4	6
21	1674,2	75,90	11186	30,60	17,11	10,11	69,24	19,33	0,523	54,7	9
22	1609,2	65,60	8481	31,70	25,81	14,53	77,63	25,31	0,574	59,5	8
23	1349,9	52,50	5487	32,20	30,63	16,61	84,41	33,50	0,496	58,3	8
24	1070,0	48,50	4780	30,60	27,45	16,46	66,77	29,20	0,564	66,6	8
25	1115,4	52,60	7326	30,20	18,38	9,97	84,35	21,56	0,462	51,2	10

26	1940,4	72,10	11207	32,70	37,80	22,24	69,96	37,82	0,588	71,4	12	
27	1412,3	76,80	11702	28,80	23,91	14,36	66,50	27,25	0,527	50	11	
28	1387,5	47,50	4518	33,60	31,14	17,66	76,33	28,06	0,629	52,4	10	
29	2307,6	65,90	7431	35,70	33,51	19,18	74,71	36,55	0,525	55,9	12	
30	1680,2	63,00	7412	32,60	26,94	16,94	59,03	26,06	0,650	50	12	
x₁₆₋₃₀	1734,1	61,47	7673	32,96	32,84	18,77	75,77	34,13	0,549			
s₁₆₋₃₀	605,8	9,68	2358	3,83	12,69	7,50	11,51	12,87	0,058			
Durchmesserreihe 20 - 30mm					450	195	Acer pseudoplatanus					
	F-max	Biegefe	E-	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Bd	Alter	
		st.	Modul									
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	[mm]	a	
31	897,1	62,10	8370	24,30	11,82	6,69	76,68	13,11	0,510	22,5	7	
32	1657,1	47,50	3629	32,60	24,47	12,95	88,96	27,26	0,475	39,4	6	
33	465,7	55,30	6300	20,30	11,19	6,49	72,42	12,80	0,507	74,2	10	
34	687,4	72,70	10945	21,10	10,64	5,98	77,93	12,54	0,477	28,1	7	
35	909,9	62,20	7955	24,40	15,18	8,17	85,80	17,68	0,462	40,5	7	
36	742,2	52,70	5014	24,10	10,44	5,79	80,31	11,24	0,515	41,6	11	
37	504,2	60,80	9528	20,20	10,35	5,72	80,94	11,05	0,518	58,5	6	
38	515,4	52,20	7037	21,40	12,42	7,01	77,18	14,11	0,497	54	6	
39	1030,6	55,60	5510	26,40	16,60	8,89	86,73	18,56	0,479	60,7	6	
40	1270,3	56,30	6632	28,20	20,29	10,59	91,60	23,84	0,444	47,2	7	
41	1373	77,60	10862	26,00	16,08	9,23	74,21	17,38	0,531	40,5	9	
42	992,9	67,10	6937	24,50	18,21	9,89	84,13	20,83	0,475	66,4	7	
43	1491,9	70,50	9863	27,60	18,93	10,82	74,95	19,72	0,549	39,4	9	
44	1522,7	58,90	7099	29,50	27,19	16,06	69,30	28,75	0,559	46,1	12	
45	515,3	37,50	3911	23,90	8,52	4,75	79,37	9,33	0,509	57,4	4	
x₃₁₋₄₅	971,7	59,27	7306	24,97	15,49	8,60	80,03	17,21	0,500			
s₃₄₋₄₈	408,1	10,23	2302	3,53	5,52	3,10	6,36	5,99	0,032			
Durchmesserreihe < 20mm					300	125	Acer pseudoplatanus					
	F-max	Biegefe	E-	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Bd	Alter	
		st.	Modul									
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	[mm]	a	
46	94,9	46,70	7104	10,90	2,93	1,67	75,45	3,75	0,445	40,5	3	
47	338,8	55,70	5418	15,70	5,10	3,00	70,00	6,29	0,477	38,1	6	
48	546,8	61,90	7384	17,78	8,07	4,60	75,43	9,64	0,477	19,4	4	
49	214,7	49,80	6530	14,00	4,35	2,42	79,75	5,56	0,435	38,1	5	
50	321,7	58,30	5914	15,20	5,90	3,25	81,54	7,45	0,436	38,1	4	
51	195,9	61,60	8145	12,65	3,92	2,26	73,45	5,22	0,433	33,3	4	
52	344,8	63,10	7970	15,15	4,77	2,70	76,67	6,30	0,429	21,4	4	
53	178,8	61,90	8390	12,25	3,21	1,69	89,94	3,95	0,428	32,1	4	
54	158,2	40,90	4454	13,50	4,64	2,45	89,39	5,08	0,482	35,7	5	
55	588,8	63,20	4318	18,10	9,00	4,87	84,80	10,18	0,478	35,7	6	
56	536,6	70,80	8504	16,90	8,67	4,80	80,63	10,19	0,471	17,8	6	

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

57	253,2	60,70	5999	13,85	3,88	2,05	89,27	4,42	0,464	34,5	3
58	263,5	56,80	6335	14,35	5,21	2,90	79,66	6,17	0,470	23,8	5
59	371,4	63,50	7282	15,50	4,89	2,74	78,47	5,88	0,466	39,3	4
60	656,4	51,20	4675	20,13	10,50	5,71	83,89	13,08	0,437	27,4	5
x₄₆₋₆₀	337,6	57,74	6561	15,06	5,67	3,14	80,56	6,88	0,455		
s₄₆₋₆₀	171,9	7,73	1420	2,43	2,30	1,26	6,02	2,71	0,021		
							Acer pseudoplatanus				
	F-max	Biegefe	E-	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o		
		st.	Modul								
	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]		
x₁₋₆₀	1759,6	58,56	6983	29,87	30,61	17,37	78,39	32,90	0,508		
s₁₋₆₀	1829,1	9,48	1969	12,77	29,02	16,85	8,16	30,65	0,053		
min₁₋₆₀	94,90	37,00	3629	10,90	2,93	1,67	59,03	3,75	0,428		
max₁₋₆₀	9903,4	77,60	11702	64,00	143,42	84,36	100,00	155,52	0,650		

Fraxinus excelsior

Prüfergebnisse							x . . . Mittelwert			
				Stützweite:	l _v	l _A	s . . . Standardabweichung			
					[mm]	[mm]				
Durchmesserreihe <20mm					300	125	Fraxinus excelsior			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d ₁	m _u	m _o	u	V _o	ρ _o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
1	149,5	55,10	8073	12,10	2,20	1,55	41,94	2,83	0,548	7
2	149,5	70,50	14349	11,05	3,02	2,13	41,78	4,17	0,511	8
3	413,1	65,40	9136	15,90	6,04	4,09	47,68	7,40	0,553	7
4	179,4	69,50	10823	11,80	2,89	2,03	42,36	4,14	0,490	7
5	365,9	67,70	11365	15,10	4,35	3,00	45,00	5,18	0,579	9
6	231,6	82,20	13801	12,15	4,28	2,95	45,08	5,41	0,545	8
7	558,5	45,80	5340	19,80	6,99	4,86	43,83	9,42	0,516	11
8	144,3	48,20	10785	12,40	2,59	1,74	48,85	3,85	0,452	4
9	579,1	72,40	9860	17,20	6,30	4,39	43,51	8,28	0,530	9
10	406,2	48,70	6943	17,45	5,00	3,29	51,98	6,49	0,507	6
11	103,2	56,80	12377	10,50	2,05	1,45	41,38	3,03	0,479	5
12	143,4	55,60	15380	11,80	3,07	2,12	44,81	4,11	0,516	6
13	176,8	54,30	9887	12,75	3,02	2,06	46,60	4,50	0,458	5
14	373,6	65,10	9868	15,40	5,17	3,56	45,22	6,32	0,563	6
15	n.G.	n.G.	0	12,7	2,85	2,01	41,79	3,84	0,523	7
x₁₋₁₅	283,9	61,24	10571	13,96	4,07	2,80	45,00	5,37	0,518	
s₁₋₁₅	162,2	10,72	2803	2,83	1,62	1,11	3,00	1,98	0,038	
Durchmesserreihe 20 - 30mm					450	195	Fraxinus excelsior			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d ₁	m _u	m _o	u	V _o	ρ _o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
16	429,8	53,40	6029	20,00	8,73	6,04	44,54	12,95	0,466	7
17	310,8	72,60	10620	16,20	10,63	7,38	44,04	13,68	0,539	16
18	744,8	66,70	11701	22,30	14,10	10,01	40,86	19,89	0,503	17
19	436,7	56,70	6655	19,70	7,55	4,75	58,95	10,19	0,466	4
20	374,2	52,90	10009	19,15	11,31	7,67	47,46	11,92	0,643	10
21	955,3	80,00	11577	22,80	19,76	13,67	44,55	24,38	0,561	15
22	1179,6	69,40	10350	25,65	19,19	13,99	37,19	24,30	0,576	23
23	280,9	48,60	6456	17,90	9,40	5,17	81,82	11,20	0,462	4
24	339,9	58,90	9904	17,90	8,16	5,86	39,25	12,80	0,458	17
25	720,8	58,10	8057	23,10	20,09	13,45	49,37	20,72	0,649	10

26	1055,5	68,70	11420	24,80	16,87	12,07	39,77	23,70	0,509	9
27	707,1	66,90	10573	21,90	13,99	9,39	48,99	17,80	0,528	8
28	993,0	65,40	7745	24,70	18,86	12,40	52,10	21,67	0,572	10
29	1108,5	71,30	10644	24,90	17,54	12,02	45,92	22,03	0,546	10
30	525,6	54,80	9187	21,20	10,88	6,98	55,87	14,48	0,482	4
x₁₆₋₃₀	695,2	63,64	9636	21,59	14,17	9,63	49,01	17,77	0,535	
s₁₆₋₃₀	321,0	8,81	1756	3,01	4,53	3,32	11,35	5,23	0,062	
Durchmesserreihe 30 - 40mm					600	255	Fraxinus excelsior			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
31	1985,8	71,10	11712	33,10	26,81	17,90	49,78	38,10	0,470	6
32	1803,5	56,10	9340	34,70	36,42	24,81	46,80	38,64	0,642	17
33	833,7	46,30	9561	28,60	25,31	14,57	73,71	28,65	0,509	4
34	1507,4	56,00	12241	32,70	27,84	18,12	53,64	40,25	0,450	6
35	1889,1	82,40	16193	31,00	30,58	21,25	43,91	39,27	0,541	17
36	1149,6	58,80	13945	29,40	28,24	18,63	51,58	29,78	0,626	11
37	1504,8	76,10	17529	29,50	24,92	17,39	43,30	33,34	0,522	12
38	2444,6	78,00	17072	34,40	42,09	28,66	46,86	47,27	0,606	12
39	3474,3	92,00	18626	36,60	45,90	30,63	49,85	51,39	0,596	7
40	3362,2	80,20	14896	37,90	31,35	21,12	48,44	42,61	0,496	8
41	2101,4	69,40	12758	34,00	38,18	26,65	43,26	45,11	0,591	14
42	1807,8	86,10	17198	30,10	32,63	22,19	47,05	35,64	0,623	11
43	1893,4	60,90	12241	34,30	36,30	21,39	69,71	43,90	0,487	5
44	1952,5	71,90	12058	32,80	32,33	21,59	49,75	42,36	0,510	6
45	1859,2	75,10	14207	31,80	26,25	17,52	49,83	35,01	0,500	5
x₃₁₋₄₅	1971,3	70,69	13972	32,73	32,34	21,49	51,16	39,42	0,545	
s₃₄₋₄₈	702,9	12,78	2895	2,70	6,32	4,52	8,88	6,32	0,063	
Durchmesserreihe > 40mm					750	315	Fraxinus excelsior			
Proben	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
46	4925,3	51,90	7570	53,40	93,93	61,61	52,46	110,30	0,559	13
47	2028,8	51,20	10400	39,90	45,82	30,43	50,58	62,02	0,491	8
48	3223,7	58,30	8423	44,60	65,54	43,88	49,36	69,63	0,630	18
49	1977,4	36,50	5790	40,30	57,66	35,24	63,62	64,55	0,546	8
50	5674,3	63,60	10203	52,30	84,99	58,43	45,46	109,54	0,533	19
51	3127,0	54,70	9230	45,10	61,80	41,32	49,56	83,01	0,498	10
52	4595,8	51,20	8022	52,40	96,54	63,55	51,91	110,38	0,576	13
53	2537,2	50,50	9454	43,20	43,22	26,58	62,60	48,50	0,548	9
54	8317,5	68,70	8485	57,90	118,17	81,29	45,37	144,01	0,564	21
55	4090,8	67,64	8799	45,95	64,14	43,52	47,38	73,04	0,596	19
56	4995,5	57,70	8144	51,80	136,29	92,27	47,71	139,07	0,663	22

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

57	3326,4	56,70	8987	45,50	65,11	43,40	50,02	80,12	0,542	10
58	3073,9	67,80	11371	41,75	61,57	40,70	51,28	63,80	0,638	8
59	1864,4	43,40	8008	41,00	58,03	33,75	71,94	66,55	0,507	6
60	2028,8	61,00	10768	37,65	53,62	36,46	47,07	62,65	0,582	18
x₄₆₋₆₀	3719,1	56,06	8910	46,18	73,76	48,83	52,42	85,81	0,565	
s₄₆₋₆₀	1767,0	9,11	1413	6,00	26,84	18,93	7,62	29,59	0,051	
							Fraxinus excelsior			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	
	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
x₁₋₆₀	1708,0	62,92	10795	28,99	31,84	21,19	49,48	37,97	0,541	
s₁₋₆₀	1658,4	11,56	2996	12,84	30,34	20,32	8,55	34,59	0,056	
min₁₋₆₀	103,2	36,50	5340	10,50	2,05	1,45	37,19	2,83	0,450	
max₁₋₆₀	8317,5	92,00	18626	57,90	136,29	92,27	81,82	144,01	0,663	

Alnus incana

Prüfergebnisse				Stützweite:	l _v	l _A	x . . . Mittelwert			
					[mm]	[mm]	s . . . Standardabweichung			
Durchmesserreihe <20mm					300	127,5	Alnus incana			
Proben	F-max	Biegefest.	E- Modul	d ₁	m _u	m _o	u	V _o	ρ _o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
1	126,4	0,00	-	11,20	2,44	1,55	57,42	2,93	0,529	5
2	91,3	0,00	-	11,80	2,81	1,97	42,64	3,89	0,506	4
3	92,1	#BEZUG!	-	11,90	2,85	1,84	54,89	3,75	0,491	5
4	60,5	0,00	-	10,00	2,82	1,75	61,14	3,30	0,530	4
5	359,1	0,00	4249	17,60	7,11	4,66	52,58	9,63	0,484	6
6	51	0,00	-	9,10	2,00	1,41	41,84	2,50	0,564	3
7	137,5	0,00	4099	13,30	3,89	2,62	48,47	5,35	0,490	6
x₁₋₇	131,1	#BEZUG!	4174	12,13	3,42	2,26	51,28	4,48	0,513	4,71
s₁₋₇	105,3	#DIV/0!	106	2,77	1,73	1,13	7,32	2,45	0,029	
Durchmesserreihe 20 - 30mm					450	195	Alnus incana			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d ₁	m _u	m _o	u	V _o	ρ _o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
8	740,0	34,60	4467	27,70	23,69	12,75	85,80	28,60	0,446	n.v.
9	931,7	49,70	4810	26,50	23,70	12,39	91,28	26,25	0,472	6
10	454,2	21,90	2546	27,40	16,67	8,78	89,86	19,13	0,459	5
11	887,2	38,10	4542	28,50	18,76	10,05	86,67	22,38	0,449	8
12	261,6	34,50	1924	19,60	8,77	4,66	88,20	9,60	0,485	5
13	289,0	32,40	3631	20,70	12,91	7,77	66,15	15,50	0,501	8
14	166,6	42,70	7016	15,70	8,58	5,15	66,60	9,67	0,533	7
15	238,5	42,70	5741	17,70	10,10	6,01	68,05	12,90	0,466	6
16	628,7	43,50	5141	24,30	21,59	11,19	92,94	24,83	0,451	8
17	254,7	30,70	3580	20,20	10,18	6,41	58,81	12,47	0,514	8
18	865,8	36,00	3425	28,80	31,32	18,95	65,28	35,90	0,528	7
19	723,7	41,40	3920	25,90	19,24	9,83	95,73	19,82	0,496	7
20	150,3	37,10	5392	15,90	5,55	3,30	68,18	6,70	0,493	5
21	581,6	53,50	6687	22,10	13,53	7,68	76,17	15,14	0,507	10
22	330,0	38,00	4060	20,50	12,82	6,96	84,20	13,50	0,516	8
x₈₋₂₂	500,2	38,45	4459	22,77	15,83	8,79	78,93	18,16	0,488	
s₈₋₂₂	279,7	7,71	1406	4,55	7,14	3,96	12,30	8,15	0,029	
Durchmesserreihe > 40mm					750	315	Alnus incana			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d ₁	m _u	m _o	u	V _o	ρ _o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a

23	2591,0	36,00	4620	48,70	76,92	41,42	85,71	89,44	0,463	11
24	2645,7	41,40	5336	46,80	92,93	48,93	89,92	106,68	0,459	8
25	4899,5	36,20	3127	60,10	165,87	88,04	88,40	180,20	0,489	10
26	2534,5	29,10	3627	51,90	77,29	47,87	61,46	100,89	0,474	11
27	2781,8	36,60	2684	49,60	103,81	51,90	100,02	112,69	0,461	13
28	3611,3	40,50	4860	52,30	124,14	63,68	94,94	125,60	0,507	12
29	2109,1	38,40	4968	44,50	85,55	44,20	93,55	98,66	0,448	7
30	2293,1	32,60	3549	48,30	87,04	46,19	88,44	98,92	0,467	6
31	6935,8	36,00	3400	67,60	208,06	110,69	87,97	229,36	0,483	12
32	7281,6	37,00	3564	68,10	191,41	116,88	63,77	250,21	0,467	10
x₂₃₋₃₂	3768,3	36,38	3974	53,79	121,30	65,98	85,42	139,27	0,472	10
s₂₃₋₃₂	1936,5	3,56	896	8,50	49,34	28,61	12,73	58,96	0,017	
Durchmesserreihe 30 - 40mm					600	255	Alnus incana			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
33	987,8	43,50	3258	30,90	37,85	19,01	99,11	41,18	0,462	3
34	1302,7	41,60	5593	34,40	51,76	27,84	85,92	56,42	0,493	11
35	740,4	47,30	7274	27,30	30,49	16,91	80,31	33,84	0,500	7
36	974,1	41,70	5491	31,20	46,88	24,03	95,09	54,45	0,441	10
37	1442,3	46,40	5825	34,30	62,12	32,26	92,56	68,90	0,468	8
38	1371,2	48,70	6933	33,20	62,79	31,17	101,44	68,19	0,457	4
39	2786,1	36,00	4252	46,50	68,54	36,19	89,39	75,28	0,481	10
40	1605,8	42,20	5600	36,70	62,34	32,02	94,69	64,11	0,499	10
41	2204,1	43,70	5089	40,30	74,72	43,70	70,98	87,71	0,498	8
42	897,9	40,70	5851	30,60	48,22	26,50	81,96	54,09	0,490	8
43	662,5	40,50	5196	27,70	33,28	17,75	87,49	35,32	0,503	7
44	853,4	45,00	4867	29,10	45,90	23,91	91,97	49,13	0,487	8
45	1731,6	43,30	5731	37,30	69,35	34,48	101,13	77,51	0,445	4
46	2056,8	40,20	5165	40,50	81,43	43,41	87,58	95,85	0,453	7
47	1469,7	49,90	4081	33,70	50,86	26,78	89,92	55,18	0,485	6
x₃₃₋₄₇	1405,8	43,38	5347	34,25	55,10	29,06	89,97	61,14	0,477	
s₃₃₋₄₇	600,5	3,64	1018	5,31	15,19	8,30	8,22	18,13	0,021	
							Alnus incana			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	
	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
x₁₋₄₇	1429,6	39,78	4568	31,45	48,95	26,46	79,72	55,61	0,485	
s₁₋₄₇	1611,3	6,14	1233	14,91	48,85	26,81	16,43	56,46	0,027	
min₁₋₄₇	51,0	21,90	1924	9,10	2,00	1,41	41,84	2,50	0,441	
max₁₋₄₇	7281,6	53,50	7274	68,10	208,06	116,88	101,44	250,21	0,564	

Salix alba x fragilis

Prüfergebnisse				Stützweite:	l_v	l_A	x . . . Mittelwert			
					[mm]	[mm]	s . . . Standardabweichung			
Durchmesserreihe <20mm					300	125	Salix alba (Fragilis)			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
1	253,4	55,1	7368	14,31	4,83	2,94	64,29	8,02	0,367	4
2	609,4	51,5	6642	19,60	9,52	5,43	75,32	11,31	0,480	5
3	363,7	46,3	7535	17,10	6,92	3,84	80,21	9,76	0,393	5
4	497,3	41,4	4533	19,70	10,09	5,64	78,90	14,07	0,401	5
5	190,9	49,4	9700	13,50	4,67	2,56	82,42	5,67	0,451	4
6	155,8	41,1	7102	13,41	4,31	2,46	75,20	6,35	0,387	4
7	111,3	54,7	868	10,90	3,11	1,76	76,70	4,22	0,417	5
8	287,6	56,5	8579	14,80	5,75	3,33	72,67	7,04	0,473	5
9	492,1	33,4	3941	21,10	7,91	4,72	67,58	14,56	0,324	5
10	398,8	59,7	10315	16,20	7,20	4,02	79,10	8,57	0,469	5
x₁₋₁₀	336,0	48,91	6658	16,06	6,43	3,67	75,24	8,96	0,416	
s₁₋₁₀	164,3	8,28	2852	3,29	2,30	1,30	5,70	3,47	0,051	
Durchmesserreihe 20 - 30mm					450	195	Salix alba (Fragilis)			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
11	589,6	44,00	5247	23,70	14,67	8,52	72,18	24,98	0,341	6
12	901,2	50,30	7535	26,10	22,66	12,78	77,31	35,12	0,364	8
13	437,3	43,10	5941	21,60	15,45	9,39	64,54	27,68	0,339	5
14	1047,5	54,70	9610	26,70	26,75	14,92	79,29	32,59	0,458	7
15	701,7	49,20	10170	24,20	21,66	12,42	74,40	30,80	0,403	6
x₁₁₋₁₅	735,5	48,26	7701	24,46	20,24	11,61	73,54	30,23	0,381	
s₁₁₋₁₅	243,0	4,78	2173	2,03	5,10	2,62	5,72	4,00	0,050	
Durchmesserreihe 30 - 40mm					600	255	Salix alba (Fragilis)			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
16	2056,6	61,80	8232	35,10	41,97	22,26	88,54	60,19	0,370	
17	1510,5	53,10	11506	33,30	41,09	23,79	72,72	48,81	0,487	8
18	692,3	33,30	5146	30,00	29,30	17,67	65,82	48,23	0,366	8
19	1170,7	48,60	10701	31,50	33,56	18,96	77,00	40,69	0,466	7

20	844,6	38,30	5325	30,60	32,00	19,24	66,32	53,41	0,360	8
21	816,4	42,31	10307	31,40	35,34	18,97	86,29	47,18	0,402	7
22	1601,3	55,30	12415	33,50	47,43	27,33	73,55	58,30	0,469	9
23	2026,6	49,10	6640	37,70	55,39	31,97	73,26	64,51	0,496	7
x₁₆₋₂₃	1339,9	47,73	8784	32,89	39,51	22,52	75,44	52,67	0,427	
s₁₆₋₂₃	541,2	9,36	2846	2,57	8,76	4,98	8,31	7,90	0,058	
Durchmesserreihe > 40mm					750	315	Salix alba (Fragilis)			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
24	3613,6	41,00	5385	52,10	119,36	61,16	95,16	170,70	0,358	10
25	2898,5	44,10	6615	47,25	63,36	50,26	26,06	130,29	0,386	9
26	3089,3	41,00	6015	49,45	89,95	42,92	109,58	119,73	0,358	9
27	2079,6	44,40	7710	42,20	84,07	43,36	93,89	116,58	0,372	8
28	1847,7	51,50	11070	38,60	83,83	44,24	89,49	93,30	0,474	10
29	1688,6	40,90	6494	40,45	54,44	29,32	85,68	79,63	0,368	10
30	2191,8	38,10	5210	45,20	68,98	32,30	113,56	91,26	0,354	7
31	5051,9	35,50	3856	61,10	124,73	63,65	95,96	182,71	0,348	12
x₂₄₋₃₁	2807,6	42,06	6544	47,04	86,09	45,90	88,67	123,03	0,377	
s₂₄₋₃₁	1124,8	4,80	2154	7,28	25,17	12,22	27,01	37,26	0,041	
							Salix alba (Fragilis)			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	
	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
x₁₋₃₁	1297,3	46,73	7346	29,75	37,75	20,71	78,48	53,11	0,403	
s₁₋₃₁	1161,4	7,58	2635	12,93	34,25	17,97	15,43	48,83	0,053	
min₁₋₃₁	111,3	33,30	868	10,90	3,11	1,76	26,06	4,22	0,324	
max₁₋₃₁	5051,9	61,80	12415	61,10	124,73	63,65	113,56	182,71	0,496	

Salix caprea x fragilis

Prüfergebnisse				Stützweite:	l _v	l _A	x . . . Mittelwert			
					[mm]	[mm]	s . . . Standardabweichung			
Durchmesserreihe <20mm					300	125	Salix caprea x fragilis			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
1	532,4	68,38	9082	17,05	8,57	5,04	70,04	9,41	0,536	6
2	259,4	47,21	9515	13,14	5,60	3,46	61,85	6,34	0,546	4
3	324,5	59,10	8419	15,18	5,86	3,50	67,43	7,95	0,440	
4	113,9	58,10	-	10,77	3,13	1,88	66,49	3,66	0,514	5
5	268,8	75,10	11167	13,16	7,58	4,29	76,69	7,93	0,541	3
6	489,6	66,30	9265	16,75	7,17	4,28	67,52	8,68	0,493	4
7	280,8	61,50	8148	14,27	6,40	3,49	83,38	6,72	0,519	4
8	103,7	58,30	-	10,42	2,72	1,71	59,06	3,13	0,546	4
9	97,7	59,50	-	10,15	2,48	1,52	63,16	3,10	0,490	4
10	67,7	62,20	-	8,85	1,82	1,17	55,56	2,42	0,483	3
11	141,3	80,00	-	10,40	3,46	1,94	78,35	3,78	0,513	4
12	169,5	69,50	-	11,58	3,71	2,26	64,16	4,37	0,517	3
13	112,2	56,10	-	10,84	4,94	2,72	81,62	5,53	0,492	3
14	137,0	54,50	10352	11,07	3,92	2,27	72,69	4,65	0,488	4
x₁₋₁₄	221,3	62,56	9421	12,40	4,81	2,82	69,14	5,55	0,509	
s₁₋₁₄	146,5	8,60	1056	2,57	2,09	1,19	8,44	2,30	0,030	
Durchmesserreihe 20 - 30mm					450	195	Salix caprea x fragilis			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
15	538,4	65,50	10791	20,13	18,50	10,98	68,49	19,47	0,564	3
16	445,1	53,60	6269	20,20	20,63	12,52	64,78	22,44	0,558	7
17	605,9	68,70	9016	20,61	22,62	13,25	70,72	24,54	0,540	6
18	447,3	63,60	7923	19,12	18,14	10,53	72,27	18,03	0,584	5
19	474,7	49,60	4704	21,18	20,83	12,85	62,10	21,32	0,603	6
20	428,3	51,50	7446	20,21	15,41	9,68	59,19	13,32	0,727	6
21	292,3	57,00	5443	17,20	10,92	6,83	59,88	13,43	0,509	4
22	625,9	75,00	11360	20,24	16,15	9,29	73,84	17,63	0,527	4
23	1051,2	72,80	11114	24,30	27,86	16,32	70,71	30,74	0,531	5
24	461,7	66,10	9672	19,07	16,33	9,52	71,53	16,68	0,571	5
25	608,8	75,20	10856	20,03	18,90	11,47	64,78	21,64	0,530	5

26	424,8	78,70	8797	17,50	12,94	8,13	59,16	14,93	0,545	5
x₁₅₋₂₆	533,7	64,78	8616	19,98	18,27	10,95	66,45	19,51	0,566	
s₁₅₋₂₆	188,9	9,92	2287	1,81	4,50	2,56	5,46	5,03	0,057	
Durchmesserreihe 30 - 40mm					600	255	Salix capreaexfragilis			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
27	2975,9	60,90	8245	39,88	74,13	46,07	60,91	78,09	0,590	7
28	1385,8	48,40	6275	33,37	53,33	29,58	80,29	57,20	0,517	9
29	3492,0	76,60	10693	38,97	75,34	49,40	52,51	89,59	0,551	6
30	1701,6	79,80	9814	30,25	41,99	24,47	71,60	45,04	0,543	7
31	921,1	59,60	9165	27,17	37,80	22,07	71,27	36,91	0,598	5
32	1351,6	86,20	13615	27,31	41,11	24,17	70,09	43,97	0,550	6
x₂₇₋₃₂	1971,3	68,58	9635	32,83	53,95	32,63	67,78	58,47	0,558	
s₂₇₋₃₂	1022,2	14,47	2467	5,60	16,93	12,01	9,69	21,03	0,030	
Durchmesserreihe > 40mm					750	315	Salix capreaexfragilis			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
33	3614,5	45,10	6353	50,48	116,65	71,29	63,63	135,79	0,525	6
34	5840,7	64,50	9037	52,57	126,95	77,03	64,81	137,88	0,559	8
35	3220,0	51,60	6158	46,44	112,31	65,15	72,39	111,32	0,585	5
36	4792,2	33,00	4494	61,53	167,43	95,13	76,00	183,25	0,519	8
37	7158,7	91,20	10705	50,13	118,25	73,30	61,32	130,87	0,560	8
x₃₃₋₃₇	4925,2	57,08	7349	52,23	128,32	76,38	67,63	139,82	0,550	
s₃₃₋₃₇	1617,9	22,21	2484	5,65	22,50	11,33	6,25	26,45	0,027	
							Salix capreaexfragilis			
	F-max	Biegefes t.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	
	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
x₁₋₃₇	1242,1	63,51	8796	23,6	33,83	20,23	67,84	36,80	0,541	
s₁₋₃₇	1732,0	12,31	2175	13,9	42,66	25,43	7,32	46,70	0,047	
min₁₋₃₇	67,7	33,00	4494	8,9	1,82	1,17	52,51	2,42	0,440	
max₁₋₃₇	7158,7	91,20	13615	61,5	167,43	95,13	83,38	183,25	0,727	

Salix purpurea

Prüfergebnisse							x ... Mittelwert			
				Stützweite	l_v	l_A	s ... Standardabweichung			
				:	[mm]	[mm]				
Durchmesserreihe <20mm					300	125	Salix purpurea			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d_1	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
1	699.8	71.50	8964	18.40	15.46	9.55	61.88	17.18	0.556	7
2	818.8	92.40	11514	17.80	18.98	11.33	67.52	19.20	0.590	4
3	259.1	84.50	15077	12.50	6.07	3.98	52.51	7.80	0.510	3
4	633.1	94.80	12854	16.20	10.51	6.57	59.97	11.79	0.557	4
5	682.7	79.70	10533	17.60	14.45	8.60	68.02	15.75	0.546	4
6	299.4	90.90	12995	12.80	5.86	3.60	62.78	6.23	0.578	4
7	288.2	74.60	13588	13.50	4.07	2.62	55.34	5.53	0.474	4
8	504.7	83.00	12755	15.70	9.02	5.53	63.11	10.03	0.551	5
9	251.4	60.90	9713	13.80	7.25	4.45	62.92	10.49	0.424	3
10	500.5	89.00	13001	15.30	12.22	7.02	74.07	12.60	0.557	4
11	418.3	93.00	14399	14.20	7.71	5.10	51.18	8.90	0.573	2
12	414.9	94.20	13224	14.10	7.11	4.55	56.26	8.19	0.556	4
13	412.3	93.60	16404	14.10	11.20	6.63	68.93	12.07	0.549	5
14	346.4	60.40	9188	15.40	6.67	4.20	58.81	9.67	0.434	4
15	480.7	69.40	10969	16.40	10.59	6.19	71.08	13.26	0.467	4
x₁₋₁₅	466.4	83.04	12444	15.10	9.76	5.98	61.67	11.10	0.533	
s₁₋₁₅	181.2	12.02	2217	1.87	4.27	2.47	6.57	4.02	0.052	
Durchmesserreihe 20 - 30mm					450	195	Salix purpurea			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d_1	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
16	588.9	57.20	7183	21.70	14.94	9.56	56.28	17.57	0.544	7
17	526.4	63.40	9703	20.20	14.09	8.17	72.46	14.69	0.556	6
18	1461.7	69.80	9940	27.50	29.00	17.63	64.49	30.76	0.573	6
19	455.3	53.30	7890	20.40	12.05	7.65	57.52	13.51	0.566	5
20	1065.4	83.70	13153	23.30	21.32	11.89	79.31	21.90	0.543	6
21	961.1	100.20	15900	21.20	22.97	13.94	64.78	23.70	0.588	7
22	664.0	67.30	9544	21.40	14.17	8.84	60.29	16.21	0.545	6
23	683.7	83.60	13165	20.10	15.44	9.03	70.99	15.62	0.578	4

24	734.2	59.90	8585	23.00	17.08	9.96	71.49	18.26	0.545	6
25	676.0	79.10	11758	20.40	16.95	9.75	73.85	17.15	0.569	4
26	1588.3	71.10	8661	28.10	30.04	18.13	65.69	31.35	0.578	7
27	639.2	71.60	11088	20.70	14.43	8.76	64.73	15.35	0.571	6
28	522.8	60.30	8073	20.50	12.92	7.55	71.13	13.50	0.559	7
29	563.9	66.00	10123	20.40	13.03	7.75	68.13	13.46	0.576	7
30	1269.1	76.00	12059	25.50	23.81	15.04	58.31	27.29	0.551	8
x₁₆₋₃₀	843.7	71.81	10689	22.34	18.38	11.01	67.37	19.48	0.564	
s₁₆₋₃₀	367.2	12.10	2302	2.78	6.02	3.71	6.26	6.40	0.014	
Durchmesserreihe 30 - 40mm					600	255	Salix purpurea			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	Alter
Nr.:	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	a
31	2088.0	86.80	13521	31.50	35.67	22.73	56.93	40.31	0.564	9
32	2365.3	68.10	8611	35.60	40.08	24.51	63.53	42.06	0.583	6
33	3196.2	73.30	9435	38.40	47.96	31.11	54.16	51.17	0.608	9
34	1695.2	65.90	7898	32.20	43.36	25.72	68.58	45.34	0.567	6
35	1269.9	60.50	8541	30.10	30.53	19.31	58.10	33.12	0.583	12
36	3130.3	72.90	13062	38.20	51.00	32.85	55.25	56.92	0.577	10
37	1435.1	66.30	8670	30.40	32.10	18.35	74.93	32.64	0.562	10
38	1223.7	58.30	7380	30.10	28.18	17.37	62.23	32.74	0.531	8
39	2921.5	73.70	11713	37.20	63.16	39.09	61.58	70.43	0.555	11
40	2002.4	60.10	6749	35.10	46.30	27.55	68.06	47.20	0.584	6
x₃₁₋₄₀	2132.8	68.59	9558	33.88	41.83	25.86	62.34	45.19	0.571	
s₃₄₋₄₀	750.6	8.53	2375	3.40	10.79	6.97	6.64	12.05	0.021	
							Salix purpurea			
	F-max	Biegefest.	E- Modul	d₁	m_u	m_o	u	V_o	ρ_o	
	[N]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[g]	[g]	[%]	[cm ³]	[g/cm ³]	
x₁₋₄₀	1018.4	74.51	10940	22.53	20.94	12.80	63.93	22.77	0.552	
s₁₋₄₀	798.0	12.64	2528	7.76	14.42	8.99	6.87	15.40	0.039	
min₁₋₄₀	251.4	53.30	6749	12.50	4.07	2.62	51.18	5.53	0.424	
max₁₋₄₀	3196.2	100.20	16404	38.40	63.16	39.09	79.31	70.43	0.608	

8.4 Daten zu den Bodenuntersuchungen

Probennummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10. Quantile :	0.0099	0.0039	0.0008	0.0007	0.0018	0.1010	0.0009	0.5238	0.4056	0.0189	0.0019	0.0109
30. Quantile	0.0996	0.2415	0.0046	0.0032	0.0700	1.8428	0.0034	3.2237	3.2068	2.0345	0.0456	2.2261
50. Quantile	0.1608	1.6945	0.0322	0.0263	0.8535	4.5469	0.0087	9.6810	9.8076	10.1102	0.3793	6.2416
60. Quantile	0.1915	3.8156	0.0664	0.0549	2.1142	7.8516	0.0130	14.1791	14.3082	15.6706	0.6871	9.2470
90. Quantile :	1.2953	23.6997	0.5189	0.3411	19.6366	32.8038	16.1272	70.4442	70.7534	75.1608	1.6720	18.3530

Probennummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anteil in %												
Ton	5.8	8.6	23.89	27.39	11.41	0.48	23.4	0.84	0.5	3.5	10.32	3.5
Schluff	12.2	10.56	35.6	35.45	18	6.8	61.28	2.5	1.58	9.73	22.19	14.8
Sand	81.9	32.7	37.8	37.2	30	23.6	2.1	20	21.7	16.6	67.5	10.6
Kies	0	13.3	1.83	0	9.5	22.6	1.2	16.2	15.6	13.3	0	21.4
Steine	0	34.7	0.85	0	30.8	46.6	11.97	60.4	60.7	56.86	0	49.7
Summe	99.9	99.86	99.97	100	99.71	100.1	99.95	99.94	100.1	99.99	100	100

Probennummer Standort

- 1 Färbergraben
Hang
- 2 Färbergraben Auflandung
- 3 Plambach 02
- 4 Plambach 01
Wald
- 5 Krallerbach A
- 6 Krallerbach B
- 7 Krallerbach C
- 8 Löhnersbach 01
- 9 Löhnersbach 02
- 10 Mellenbach
- 11 Bizauerbach 01
- 12 Bizauerbach 02

8.5 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Idealisierte Darstellung von Widerständen und möglichen Versagensmechanismen einer Steckholzpflanze mit den entsprechenden Kräften. Versagen der Tragfähigkeit (links) und Versagen der Stabilität (rechts) (OPLATKA 1995)	7
Abbildung 2: Schematische Darstellung des Auszugversuches	10
Abbildung 3: Meßverstärker, Konverter und Laptop zur Datenweiterleitung und Aufzeichnung	10
Abbildung 4: Druckabnehmer (Sensor) bis 25kN, links und rechts mit Schäkkel an Gurt bzw. Drallfänger befestigt; in der Mitte des Sensors erfolgt die Weiterleitung der gemessenen Kraft zum Meßverstärker, Konverter und anschließend auf einen Laptop;	11
Abbildung 5: Druckabnehmer (Sensor) bis 25kN im Detail	11
Abbildung 6: Unterschiedlicher Momentenverlauf bei verschiedenen Prüfmethode (WENDEHORST 1994).....	13
Abbildung 7: einfache Darstellung der Prüfanordnung.....	15
Abbildung 8: Darstellung der Abholzigkeit und der Ermittlung des mittleren Mittendurchmessers	15
Abbildung 9: Als Beispiel ein Zeit-Kraft - Diagramm eines Auszugversuches; 8-jähriger Bergahorn; Standort: Randbereich eines Schotterablagerungsplatzes in einem Wildbach, kiesig steiniges Material vorherrschend	18
Abbildung 10: Auszugwiderstand (kN) in Abhängigkeit vom Verdrängungsvolumen (Liter);	21
Abbildung 11: Auszugwiderstand (kN) in Abhängigkeit vom Wurzelhalsdurchmesser WHD (cm)	22
Abbildung 12: Oberirdisches Verdrängungsvolumen (Liter) in Abhängigkeit vom Wurzelhalsdurchmesser (cm)	23
Abbildung 13: Gegenüberstellung der Strömungskräfte bei $v=4m/s$ (OPLATKA 1997) und der Ergebnisse der Messungen zum Auszugwiderstand in Funktion des oberirdischen Volumens V	24
Abbildung 14: Unterschiede des Auszugwiderstandes kN von Weiden und Nicht-Weiden bei gleichen Volumina (Liter)	28
Abbildung 15: Unterschiedliche Auszugwiderstände kN von Weiden und Nicht-Weiden bei gleichem Wurzelhalsdurchmesser (cm)	29
Abbildung 16: Unterschiedliche Auszugwiderstände kN von Weiden und Nicht-Weiden bei gleichem Alter.....	30
Abbildung 17: Wurzelhalsdurchmesser in cm in Abhängigkeit vom Auszugwiderstand kN für alle Gehölzarten.....	31
Abbildung 18: Oberirdisches Volumen V in Abhängigkeit vom Auszugwiderstand kN für alle Gehölzarten	31
Abbildung 19: Auszugwiderstand kN in Abhängigkeit vom oberirdischen Volumen V (Liter) der einzelnen Standorte	36
Abbildung 20: Wurzelhalsdurchmesser d in cm in Abhängigkeit vom Auszugwiderstand für die einzelnen Standorte	37
Abbildung 21: Durchschnittlicher E-Modul der einzelnen Arten für die jeweiligen Durchmesserklassen.....	41
Abbildung 22: Durchschnittliche Biegefestigkeit der einzelnen Arten der jeweiligen Durchmesserklassen.....	42
Abbildung 23: Durchbiegungsvergleich (Länge 1000 mm, Kraft 10 N)	43
Abbildung 24: Bruchmoment – Durchmesser.....	44
Tabelle 1: Bereiche (kleinster und größter gemessener Wert) und Mittelwerte der gemessenen Parameter wobei n Anzahl der Messungen, WHD Wurzelhalsdurchmesser, KRAFT Auszugwiderstand in kN:	17
Tabelle 2: Auszugwiderstand (AZW) in kN im Überblick nach Arten getrennt	19
Tabelle 3: Entwicklungen des E-Moduls innerhalb der einzelnen Holzarten (n.b. = nicht bestimmt):.....	40
Tabelle 4: Entwicklung der Biegefestigkeit innerhalb der einzelnen Holzarten (n.b. = nicht bestimmt)	42