

BERICHTE AUS DER BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT

Pflanzung - ein Risiko für die Bestandesstabilität?

Die Bedeutung wurzelschonender Pflanzung und ihre
Umsetzung im Forstbetrieb



Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität?

Die Bedeutung wurzelschonender Pflanzung und
ihre Umsetzung im Forstbetrieb

Titelbild: Rechts: gute Wurzelentwicklung nach sachgerechter Pflanzung, links: oberflächliches Wurzelwachstum nach unsachgemäßer Pflanzung. Im Hintergrund ein wüchsiger 10-jähriger Jungbestand, dessen Wurzelentwicklung oberirdisch nicht eingeschätzt werden kann [Fotos: Alfred Wörle, Robert Nörr].

ISSN 0945 - 8131

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische und elektronische Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers.

Verfasser: Robert Nörr, Martina Baumer

Herausgeber und
Bezugsadresse: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
Am Hochanger 11
85354 Freising
Tel./FAX: 08161 – 71- 4881 / 4971
Email: nad@lwf.uni-muenchen.de
Internet: www.lwf.bayern.de

Verantwortlich: Der Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
Präsident Olaf Schmidt

Redaktion: Dr. Joachim Hamberger, Dr. Reinhard Mößmer

Schriftleitung: Dr. Joachim Hamberger

Redaktionsassistentin: Hildegard Naderer

Dezember 2002, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Vorwort

Stabilität steht im Zentrum forstlicher Bemühungen, wenn es darum geht Sturmschadensflächen wieder zu bewalden. Besorgnis kam daher auf, als zu Beginn der 1990er Jahre den Praktikern häufiger eine unzureichende Wurzel Ausbildung bei Pflanzungen auf den Katastrophenflächen auffiel.

Umfangreichen Wurzelgrabungen durch das Sachgebiet „Waldbau und Forstplanung“ der LWF bestätigten diese Beobachtungen. Die Ergebnisse aus dem über 10-jährigen Forschungsschwerpunkt „Wurzeln“ führten zu grundlegenden Erkenntnissen für eine wurzelgerechte Pflanztechnik. Besonderes Gewicht erhielten sie durch die Feststellung, dass pflanzungsbedingte Wurzeldeformationen auch noch an 40-jährigen Bäumen die Baumstabilität beeinträchtigen können.

Zahlreiche begleitende Diskussionen mit Wissenschaftlern, Arbeitslehrern und Praktikern u.a. auf den Beobachtungsflächen, bei einem gemeinsamen Workshop, bei Vorträgen und Schulungen gaben wichtige Anstöße für vertiefende Untersuchungen und für die Analyse und praxisbezogene Aufbereitung der Ergebnisse. Zum Erfolg der Arbeiten trugen auch das große Engagement und das Zusammenwirken der verschiedenen Bearbeiter über mehr als zehn Jahre wesentlich bei.

Der vorliegende Bericht fasst die wichtigsten Erkenntnisse aus den Wurzeluntersuchungen konzentriert zusammen. Einen Schwerpunkt legten wir dabei auf Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Umsetzung im Forstbetrieb. Als Kurzinformation für den praktischen Betrieb bereiteten wir die Ergebnisse in mehreren LWF-Merkblättern auf.

Die Ergebnisse fordern zum Handeln auf: Zum einen sollten die Bemühungen, Wurzeldeformationen bei der Begründung neuer Kulturen möglichst zu minimieren, intensiv fortgeführt werden. Zum anderen wachsen zunehmend die seit den 1960er Jahren mit der Klemmtechnik gepflanzten Bestände in sturmgefährdete Alter ein; dem Sturmschutz kommt daher im Forstbetrieb eine besondere Bedeutung zu.

In der Beratung stehen wir zudem vor der Aufgabe, die neuen Erkenntnisse und Empfehlungen den privaten und kommunalen Waldbesitzern zu vermitteln.

Dr. Reinhard Mößmer
Sachgebietsleiter für Waldbau und Forstplanung

Seit 1991 haben zahlreiche KollegInnen und StudentInnen zu den vorliegenden Ergebnissen durch ihre Mitarbeit engagiert beigetragen:

Leitung: Ltd. FD Dr. Reinhard Mößmer
Kooperation: Waldarbeitsschule Laubau
Sachgebiet IV „Betriebswirtschaft und Waldarbeit“ der LWF
Idee und Konzept: Dr. Reinhard Mößmer, Dr. Wolf Guglhör

Erstaufnahme 1992

Methodik: Dr. Reinhard Mößmer, H. J. Wirth, Dr. Stefan Nüßlein
Bearbeiter: H. J. Wirth
Außenaufnahmen: Alfred Wörle, stud. Hilfskräfte: Sabine Marka, Udo Endres, Christoph Bach, Markus Brechbiehl und Martin Beitzinger

Wiederholungsaufnahme 1995/96

Bearbeiter: FOI Joachim Dahmer
Außenaufnahmen: Joachim Dahmer, stud. Hilfskräfte: Erwin Groß, Ulrich Elling, Kostja Geitner, Alex Gareiss, Kerstin Wille, Josef Schele, Robert Stein und Anette Scholz
Statistik: Peter Freidinger
Fotoaufnahmen: Felix Ruggiero, Joachim Dahmer

Wiederholungsaufnahme 2000/01 und Abschlussbericht

Bearbeiter: FOI Robert Nörr, Martina Baumer
Außenaufnahmen: Martina Baumer, Robert Nörr, stud. Hilfskräfte: Marcel Nentwich, Bernd Watzlawek, Markus Popp, Frank Steffens, Ulrich Schmitz, Christof Maar, Tobias Stock, José Alonso Canalejo, Stefan Auth
Statistik: Martina Baumer, Holger Holland-Moritz, Robert Nörr
Fotoaufnahmen: Felix Ruggiero, Georg Jackl, Martina Baumer, Christof Maar, Alfred Wörle
Grafiken: Heiner Schorsack, Martina Baumer, Robert Nörr

Inhaltsverzeichnis

Einführung: Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität?.....	1
1 Methode	2
1.1 Untersuchungsflächen	2
1.2 Wurzelgrabungen	2
1.3 Datenerhebung.....	4
1.4 Vertiefende Untersuchungen.....	5
2 Beeinflussen Wurzeldeformationen Stabilität und Wachstum unserer Bäume?.....	6
2.1 Wurzelwachstum und Erschließung des Wurzelraumes.....	6
2.2 Auswirkungen auf das Sprosswachstum.....	7
2.3 Auswirkungen der verschiedenen Deformationsarten	8
3 Erfordern Wurzeldeformationen Steuerungsmaßnahmen durch den Forstbetrieb?	11
3.1 Werden Deformationen durch Pflanzung verursacht bzw. verstärkt?.....	11
3.2 Wachsen sich Wurzeldeformationen wieder aus?	14
3.2.1 10 Jahre nach der Pflanzung	14
3.2.2 40 Jahre nach der Pflanzung	16
4 Ursachen von Wurzeldeformationen	19
4.1 Pflanzung und Pflanzenanzucht.....	19
4.1.1 Reaktion auf Störungen	19
4.1.2 Auswirkungen auf die Wurzeldeformationen	20
4.1.3 Auswirkungen auf das Wurzelbild	21
4.2 Pflanzverfahren.....	22
4.2.1 Buchenbühler Schrägpflanzverfahren	22
4.2.2 Winkelpflanzung	23
4.2.3 Hohlspatenpflanzung.....	25
4.2.4 Bohrverfahren	26
4.2.5 Rhodener Verfahren	30

4.3	Das Sortiment.....	32
4.4	Der Wurzelschnitt.....	34
4.4.1	Erkennbarkeit des Wurzelschnitts.....	34
4.4.2	Folgen des Wurzelschnitts.....	35
4.5	Der Standort.....	36
4.6	Die Baumart.....	38
4.6.1	Buche.....	38
4.6.2	Eiche.....	39
4.6.3	Esche.....	40
4.6.4	Bergahorn.....	40
4.7	Pflanzqualität.....	42
5	Empfehlungen.....	43
6	Zusammenfassung: Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität?.....	50
7	Veröffentlichungen.....	53
Anhang	57
	Anhang 1: Wurzeldeformationen.....	57
	Anhang 2: LWF-Merkblätter.....	59

Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität?

- Pflanzverfahren und Wurzelentwicklung -

Die gewaltigen Stürme „Vivian“ und „Wiebke“ zerstörten 30 000 ha Wald in Bayern und hinterließen eine Vielzahl von Kahlflächen. Vielerorts waren die Bedingungen für eine natürliche Wiederbewaldung so ungünstig, dass sich die Forstbetriebe zur Pflanzung entschlossen. Um stabile Mischbestände zu begründen, wurden in den Folgejahren von der Bayerischen Staatsforstverwaltung 87 Mio. Pflanzen gesetzt, davon 90 % Laubbäume.

Bereits in den 1980er Jahren kamen erste Hinweise, dass manche Wurzeln von gepflanzten Bäume seltsam verformt sind und nur sehr oberflächlich wachsen. Bedenken wurden laut, ob die Standfestigkeit dieser Bäume mit Wurzeldeformationen ausreicht, um - entsprechende Pflege vorausgesetzt - stabile Bestände zu erziehen.¹

Mit umfangreichen Wurzelgrabungen sollten deshalb vorrangig folgende Fragen beantwortet werden:

- **Beeinflussen Wurzeldeformationen Wachstum und Stabilität unserer Bäume?**
- **Erfordern Wurzeldeformationen Steuerungsmaßnahmen durch den Forstbetrieb?**
 - Werden Wurzelverformungen durch Pflanzung verursacht bzw. verstärkt?
 - Kommen Wurzeldeformationen häufig vor?
 - Wachsen sich Wurzeldeformationen wieder aus?
- **Wodurch werden Wurzeldeformationen verursacht?**
 - Ungeeignete Pflanzverfahren?
 - Ungenügende Pflanzqualität?
 - Zu große Sortimente?
 - Schwer durchwurzelbare Standorte?
 - Fehlender oder zu starker Wurzelschnitt?

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen folgt als entscheidende Frage:

- **Wie lassen sich Wurzeldeformationen vermeiden?**

¹ Wegen der hohen Bedeutung der Wurzelentwicklung für die Bestandesstabilität wurde das Projekt „Pflanzverfahren und Bewurzelung“ vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten gefördert.

1 Methode

1.1 Untersuchungsflächen

Nach den Stürmen „Vivian“ und „Wiebke“ legte die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft im Jahr 1991 52 Versuchsflächen auf großen Sturmkahlfächen in den Hauptschadensgebieten Bayerns an, um die Wurzelentwicklung von Laubbäumen (Buche, Eiche, Bergahorn und Esche) nach Pflanzung zu untersuchen. Aufgenommen wurden die gängigen Pflanzverfahren wie Buchenbühler Verfahren, Winkelpflanzung, Hohlspaten sowie Bohrverfahren mit Bohrerdurchmessern von 10 bis 30 cm. Als Referenz einer natürlichen Wurzelentwicklung dienten Naturverjüngung und Saat. Durch Wurzelgrabungen im Jahr 1992 und Wiederholungsaufnahmen im Jahr 1995/96 und 2000 ließ sich die Wurzelentwicklung der Laubbäumen in den ersten 10 Jahre dokumentieren und analysieren.

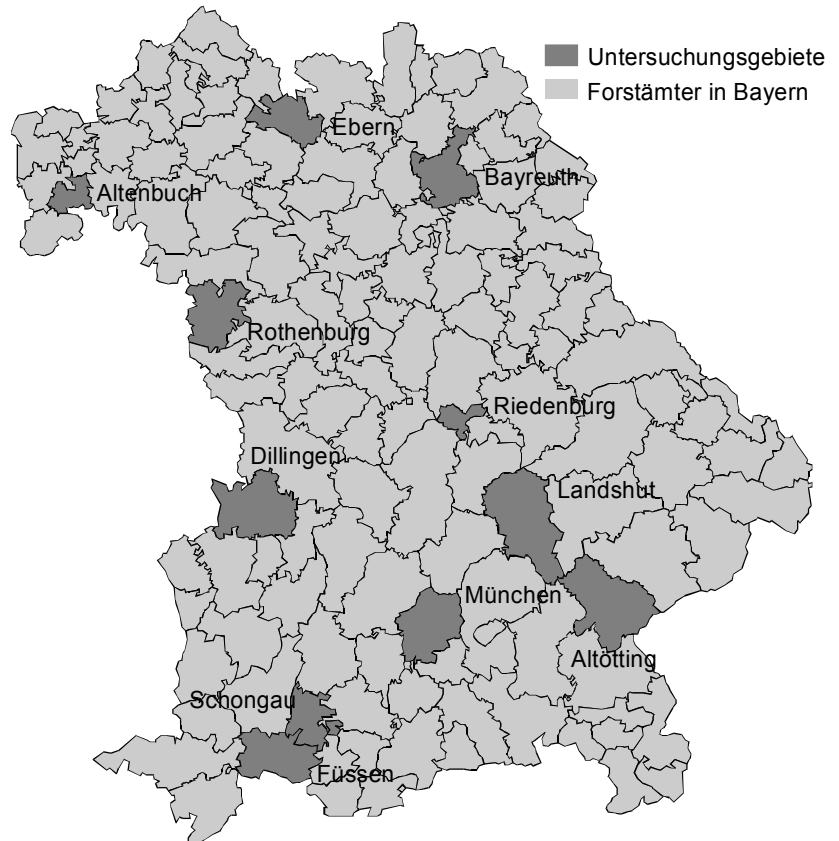


Abb. 1: Lage der Untersuchungsflächen.

11 Forstämter, verteilt über ganz Bayern.

1.2 Wurzelgrabungen

Die Ausgrabungen erfolgten im Liniestichprobenverfahren. Nach dem Zufallsprinzip wurde auf jeder Versuchsfläche eine Aufnahme Gerade diagonal zu den Pflanzreihen eingelegt, um den Einfluss einzelner Pflanzler auszuschließen. Bei den Wiederholungsaufnahmen wurden die Probenlinien parallel um wenige Meter verschoben, wobei darauf geachtet wurde, dass die Ausgangsbedingungen für alle Grabungen vergleichbar blieben.

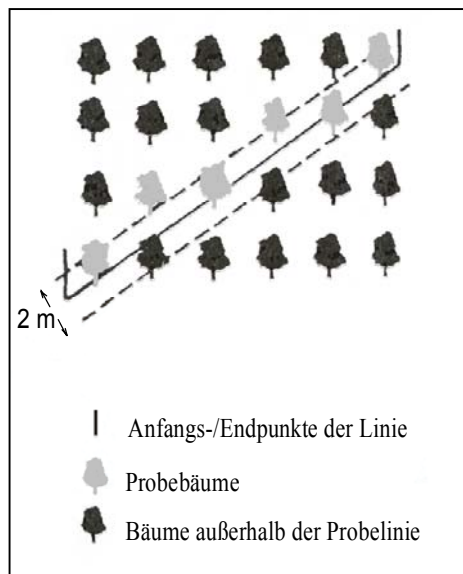


Abb. 2: Probelinie einer Untersuchungsfläche.

Innerhalb einer Streifenbreite von 2 m wurden 40 Bäume einer Baumart unabhängig von ihrer Vitalität ausgegraben und deren Wurzel- und Sprossparameter erhoben.

Tab. 1: Stichprobenumfang der Wurzelgrabungen auf den Sturmkahlfleichen.

	ANZAHL DER UNTERSUCHTEN BÄUME		
	1992	1995/1996	2000
Buche	406	389	336
Esche	522	494	395
Bergahorn	374	286	365
Eiche	819	736	699
Summe	2121	1905	1795

Seit 1991 wurden in diesem Projekt annähernd 6000 Wurzeln ausgegraben, um abgesicherte Aussagen über Pflanzverfahren, Pflanzensortiment, Standort und Wurzelschnitt zu erhalten. Zusammen mit weiteren, vertiefenden Untersuchungen der LWF (über 1700 Wurzeln) stellen sie die umfangreichsten Wurzelgrabungen seit den 1960er Jahren dar.



Abb. 3: Mit einem Minibagger werden zunächst seitliche Hilfsgräben angelegt.

Anschließend wird der gesamte Wurzelballen von unten herausgehoben.

1992 und 1995/96 ließen sich die Wurzeln noch per Hand mit Wiedehopfhau und Spaten ausgegraben. Dieses ausgesprochen anstrengende Verfahren erwies sich für die Wiederholungsaufnahme im Jahre 2000 als ungeeignet, da die Bäume inzwischen eine Höhe bis zu 12 m und eine Wurzeltiefe bis zu 1,20 m erreicht hatten. Sobald es Standort und Hangneigung erlaubten, wurde ein Minibagger eingesetzt. Handgrabungen mit Wiedehopfhau blieben aus ergonomischen und ökonomischen Gründen die Ausnahme.

1.3 Datenerhebung

Nach dem Freilegen wurden die Wurzeln umgehend gesäubert, vermessen und klassifiziert. Aufgenommen wurden insgesamt über 50 Parameter pro Baum:

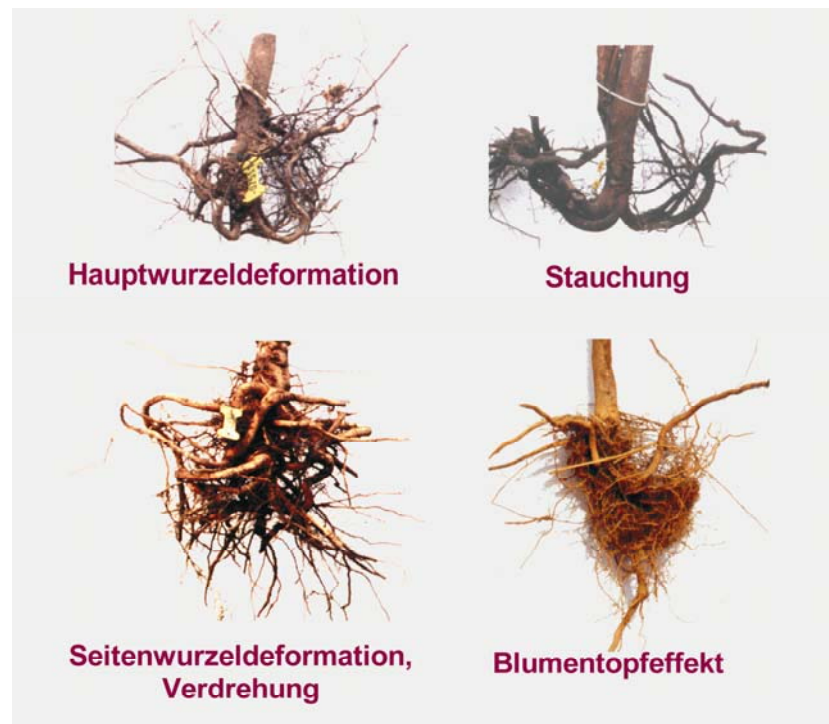
Aufnahmeparameter Wurzel: u.a.	Aufnahmeparameter Spross: u.a.
<ul style="list-style-type: none"> - Wurzelbild - Wurzeltiefe - Seitliche Wurzelausbreitung - Wurzelhalsdurchmesser - Feinwurzelbesatz - Wurzelschnitt - Wurzeldeformationen - Erschließung des Wurzelraumes - Wurzelschäden 	<ul style="list-style-type: none"> - Sprosshöhe - Jahrestriebe - Soziale Stellung - Vitalität - Sprossschäden

Tab. 2: Übersicht der wichtigsten Aufnahmeparameter.

Mit den Wurzelgrabungen sollten vor allem Ursachen und Auswirkungen der **Wurzeldeformationen** untersucht werden. Wurzeldeformationen werden dabei definiert als Verformungen der Wurzel, die zum Zeitpunkt der Aufnahme zu einer wesentlichen Abweichung von der ursprünglichen Wuchsrichtung geführt hatten. Unterschieden wurden die **Deformationsarten** „Haupt“- und „Seitenwurzeldeformation“, die weiter differenziert wurden.

Abb. 4: Die häufigsten Deformationsarten.

Hauptwurzel- und Seitenwurzeldeformation, differenziert u.a. nach Stauchung, Verdrehung und Blumentopfeffekt.



In der Aufnahme 2000 wurden die Deformationen zusätzlich in fünf **Deformationsstärken** unterteilt (Definitionen siehe Anhang 1):

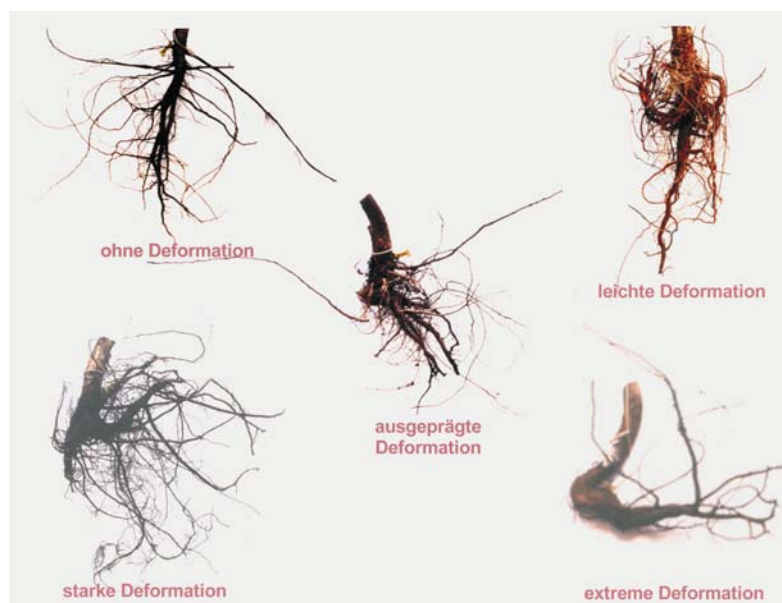


Abb. 5: Fünf Deformationsstärken am Beispiel von gepflanzten Eichen.

Um die Auswirkungen der Wurzeldeformationen auf die Durchwurzelung des Bodens in die Tiefe und zur Seite abzuschätzen, wurde zusätzlich die **Tiefen- und Seitenerschließung** des Wurzelraumes okkular in fünf Stufen von „keine Erschließung“ bis „optimale Erschließung“ klassifiziert.

1.4 Vertiefende Untersuchungen

Aufgrund der Wurzelgrabungen des Projekts V 19 III in den Jahren 1992, 1995/96 und deren Diskussion mit Forstbetrieben und Waldarbeiterschulen bauten wir in der Folgezeit das Thema Wurzelentwicklung zu einem Forschungsschwerpunkt am Sachgebiet „Waldbau und Forstplanung“ aus. Offene Fragen klärten wir durch zusätzliche Grabungen, deren Ergebnisse in diesen Bericht miteinbezogen wurden:

- Wurzeluntersuchung an Altbäumen (Fichte, Douglasie, Bergahorn und Buche)²
Wachsen sich Wurzeldeformationen im höheren Alter wieder aus?
- Wurzelentwicklung beim Rhodener Verfahren im Vergleich zu Bohrverfahren³
Führt das Rhodener Verfahren zu einer zufriedenstellenden Wurzelentwicklung?
- Bohrverfahren auf bindigen Böden⁴

Verursachen Bohrverfahren insbesondere bei Großpflanzen auf verdichteten Böden spezifische Deformationen wie z. B. den Blumentopfeffekt?

² Veröffentlichung in Bearbeitung

³ AFZ/Der Wald Nr. 8/2000, S. 407 - 409

⁴ Interner Bericht der LWF „Bohrverfahren auf bindigen Böden“

2 Beeinflussen Wurzeldeformationen Stabilität und Wachstum unserer Bäume?

- Wurzeldeformationen werden die Bestandesstabilität dann negativ beeinflussen, wenn die Wurzeln wegen ihrer Verkrümmungen den Wurzelraum nicht wirkungsvoll erschließen. Ein besonderer Augenmerk gilt dabei dem Tiefenwachstum der Wurzeln.
- Darüber hinaus ist es denkbar, dass Deformationen das Spross- und Wurzelwachstum hemmen.

10 Jahre nach der Pflanzung ergibt sich folgendes Bild:

2.1 Wurzelwachstum und Erschließung des Wurzelraumes

Mit zunehmender Deformationsstärke verringerte sich bei den untersuchten Pflanzungen die **maximale Wurzeltiefe** z.T. deutlich. So erreichten extrem deformierte Wurzeln nach 10 Jahren nur zwei Drittel der Wurzeltiefe der schwächer deformierten Wurzeln (Abb. 6). Der sprunghafte Rückgang der Wurzeltiefe bei extremen Hauptwurzeldeformationen ließ sich für alle Pflanzverfahren, Baumarten und Standorte nachweisen.

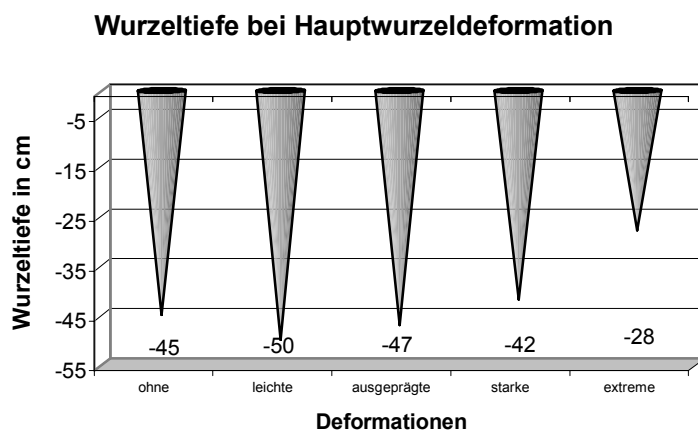


Abb. 6: Maximale Wurzeltiefe (10-jährig) nach Deformationsstärke der Hauptwurzel.

Die Wurzeltiefe ging bei extremen Deformationen¹ auffällig stark zurück.

Für die Stabilität ist nicht nur die maximale Wurzeltiefe, sondern auch Anordnung, Anzahl und Stärke der Wurzeln in bestimmten Tiefen, das sogenannte **Wurzelbild** (oder auch Wurzelarchitektur), von Bedeutung. Je stärker die Wurzeln deformiert waren, desto häufiger bildeten sie Flachwurzelsysteme aus (Abb. 7). Pfahlwurzeln (in der Jugend v.a. bei Bergahorn, Eiche und Buche sehr häufig) waren kaum mehr zu erkennen.

¹ Die geringere Wurzeltiefe der nicht deformierten Wurzeln ließ sich nicht abschließend klären. Da kleinere Wurzeln weniger deformiert werden als große (siehe Kap. 4.3), ist es denkbar, dass die kleineren Pflanzen eines Sortiments zwar weniger deformiert wurden, aber auch insgesamt langsamer wuchsen (s.a. Sprosswachstum).

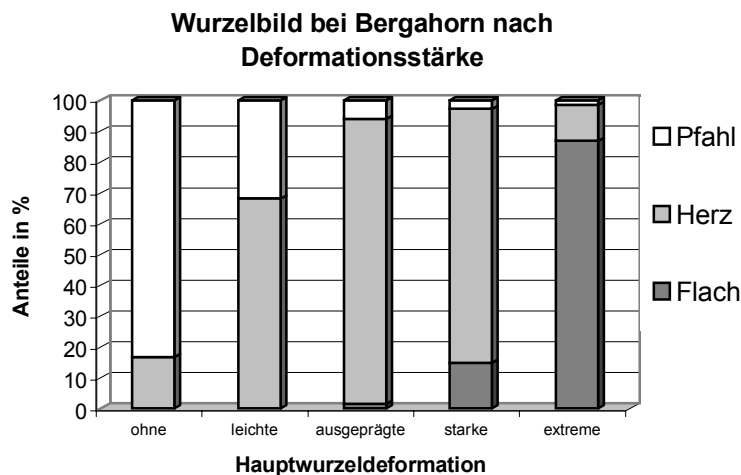


Abb. 7: Wurzelbild (10-jährig) am Beispiel des Bergahorn.

Mit zunehmender Stärke der Hauptwurzeldeformation nahm der Flachwurzelanteil zu, während der Pfahlwurzelanteil zurückging. Bei extremen Deformationen dominierten mit über 80 % die Flachwurzeln.

Als Folge einer geringeren Wurzeltiefe und Durchwurzelungsintensität reduziert sich der Widerstand gegen die durch Windbelastung entstehenden Kräfte. Während Pfahlwurzelssysteme diese Kräfte durch die Pfahlwurzel „direkt“ in die Erde leiten, bildet das oberflächlich angelegte Flachwurzelssystem einen Hebelarm, der den Kraftfluss in die äußeren Bereiche des Wurzelballens lenkt. Wegen der insgesamt geringeren Wurzelmasse und den kleineren Wurzeldurchmesser in der Randzone ist dort die Verankerungsfähigkeit deutlich reduziert (KUHN und POLOMSKI 2001). Herz- und Senkerwurzelssysteme, deren Tiefenwurzeln direkt unter dem Stock entspringen, weisen hingegen eine ähnliche Widerstandskraft gegen Windbelastungen auf, wie die Pfahlwurzelssysteme.

- **Mit zunehmender Deformationsstärke verflacht sich das Wurzelsystem. Daraus resultiert eine geringeren Erschließung des Wurzelraumes.**
- **Bei Bäumen mit Wurzeldeformationen ist mit einer reduzierten Verankerung im Boden zu rechnen, sofern sich die Wurzeln in den Folgejahren nicht regenerieren können.**

2.2 Auswirkungen auf das Sprosswachstum

Zwischen der Stärke der Wurzeldeformationen und dem Sprosswachstum war kein direkter Zusammenhang (z.B. Abnahme der Sprosshöhe mit zunehmender Deformationsstärke) festzustellen.

Das bedeutet, dass sich bei den untersuchten 10-jährigen Kulturen der Zustand der Wurzeln oberirdisch **nicht** erkennen ließ.

Sprosshöhe bei Hauptwurzeldeformationen

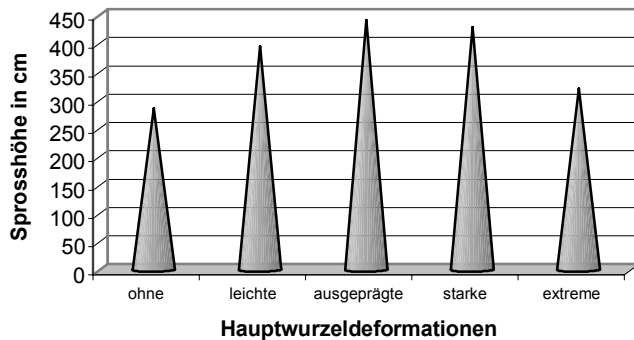


Abb. 8: Sprosshöhe (10-jährig) nach Deformationsstärke der Hauptwurzel.

Extrem deformierte, aber auch nicht deformierte² Bäume wiesen das geringste Wachstum auf.

Dies lässt sich damit erklären, dass für die Wasser- und Nährstoffaufnahme vor allem die Fein- und Seitenwurzeln von Bedeutung sind und weniger die Tiefenwurzeln. Bäume mit deformierten, oberflächlichen Wurzeln können deshalb sogar ein besseres Sprosswachstum besitzen als tiefwurzeln Bäume mit wenig Seitenwurzeln. Erst bei extremen Deformationen scheinen Wasser- und Nährstoffaufnahme gestört zu sein.



Abb. 9: 10-jährige Eschenwurzel aus einem besonders wüchsigen Bestand (durchschnittliche Baumhöhe 8 m, BHD 6 cm).

Die Hauptwurzel wurde extrem gestaucht und wächst nicht mehr in die Tiefe. Auf das Sprosswachstum hatte selbst diese extreme Deformation keinen nachweisbaren Einfluss.

- **Oberirdisch ließ sich die Wurzelbildung eines Baumes nicht erkennen.**
- **Eine aktive Förderung gut bewurzelter Bäume bzw. ein Heraushauen von Bäumen mit extrem deformierten Wurzeln im Zuge der Pflege ist damit nicht möglich.**

2.3 Auswirkungen der verschiedenen Deformationsarten

Die verschiedenen Deformationsarten (siehe Abb. 4) beeinflussen Spross- und Wurzelwachstum unterschiedlich stark:

² Erklärung siehe Fußnote Wurzeltiefe auf S. 6

Besonders gravierend wirken sich starke/extreme Hauptwurzeldeformationen und Stauchungen auf die Erschließung des Wurzelraumes und auf das Wachstum aus. Die verformten, flachen Wurzeln wachsen nicht mehr in die Tiefe, sondern bleiben an der Oberfläche. Der vertikale Wurzelraum wird nur geringfügig erschlossen. Sprosshöhe und -stärke gehen bei extremen Deformationen deutlich zurück. In den Untersuchungen wiesen 48 % aller gepflanzten Bäume starke/extreme Hauptwurzeldeformationen und 18 % starke/extreme Stauchungen auf.



Abb.10: 10-jährige Esche. Extrem deformierte Hauptwurzeln, gut zu erkennen auch die extreme Stauchung



Abb. 11: 5-jährige Eiche. Deformierte Seitenwurzeln, die z.T. stark verdreht sind.

Starke und extreme Seitenwurzeldeformationen und Verdrehungen waren an 19 % bzw. 5 % aller Pflanzen zu finden. Sie verringern das seitliche Wurzelwachstum, führen aber nur selten zu einseitigen Wurzelsystemen. Erst in Kombination mit Hauptwurzeldeformationen wird das Wurzelwachstum stark beeinträchtigt. Das Sprosswachstum ist bei extremen Seitenwurzeldeformationen deutlich reduziert, Verdrehungen spielen keine nachweisbare Rolle.

Sonderfall Lochpflanzungen:

Eine Konzentration der Wurzeln im Pflanzlochbereich (**Blumentopfeffekt**) ließ sich bei den Bohrverfahren in den ersten Jahren an jeder dritten Pflanze deutlich erkennen. Nach 10 Jahren wuchsen vereinzelte Wurzeln aus dem Bohrloch heraus, die Hauptwurzelmasse blieb aber noch bei jeder vierten Pflanze im Lochbereich konzentriert. Die Seitenerschließung wird dadurch so stark eingeschränkt, dass sich manche Bäume mit der Hand umdrücken lassen. Das Projekt „Bohrverfahren auf bindigen Böden“ führte zu dem Ergebnis, dass die insgesamt stark deformierten Wurzeln zwar vollständig aus dem Bohrloch heraus wuchsen, aber nur extrem oberflächlich wurzelten.



Abb. 12: 5-jähriger Bergahorn Lochpflanzung, Blumentopfeffekt

- **Hauptwurzeldeformationen, Stauchungen und Blumentopfeffekt (bei Lochpflanzung) sind hinsichtlich der Stabilität der Bäume besonders kritisch zu beurteilen.**

Fazit Auswirkungen der Wurzeldeformationen:

- **Wurzeldeformationen führen bei stärkerer Ausprägung zu einer unzureichenden Erschließung des Wurzelraumes, lassen sich aber oberirdisch nicht erkennen.**

3 Erfordern Wurzeldeformationen Steuerungsmaßnahmen durch den Forstbetrieb?

Wurzeldeformationen führen bei den untersuchten Bäumen zu einer Verflachung des Wurzelsystems und reduzieren damit die Verankerung im Boden. Da eine verringerte Stabilität der Bäume die Erreichung der Betriebsziele gefährdet, stellt sich die Frage, ob und inwieweit der Forstbetrieb Maßnahmen zur Vermeidung von Wurzeldeformationen ergreifen soll.

Dafür muss aber erst geklärt werden, ob Deformationen

- durch menschliche Eingriffe verursacht bzw. über das natürliche Maß hinaus verstärkt werden,
- häufig vorkommen,
- sich im Laufe der Jahre durch Wurzelwachstum regenerieren.

3.1 Werden Deformationen durch Pflanzung verursacht bzw. verstärkt?

Maßnahmen zur Reduzierung von Wurzeldeformationen durch den Forstbetrieb können nur Erfolg haben, wenn Deformationen tatsächlich durch Pflanzenanzucht und Pflanzung verursacht oder zumindest verstärkt werden. In vielen Diskussionen wird dies verneint mit der Begründung, dass Wurzelverkrümmungen in gleichem Maße von Natur aus vorkommen. Nach dieser These müssten die vom Menschen unbeeinflussten Wurzeln der Naturverjüngung oder Saat in ähnlicher Weise deformiert sein wie die von Pflanzungen.

Auf den Untersuchungsflächen, die diesem Bericht zugrunde liegen, lag der Anteil von **Wurzeldeformationen** unabhängig von Standort und Baumart um ein Vielfaches höher als bei Naturverjüngungen. Zu diesem Ergebnis kommt auch eine Vielzahl anderer wissenschaftlichen Untersuchungen: u.a. STROHSCHNEIDER 1985, KRAFT 1992, FORSTNER 1988, FRAUNHOFER/KLEY 1989, TOMICEK/RUHM, SAUER 1984, SCHMITZ/GROH 1984, FEICHT/GEYER 1991, HOFFMANN 1966.

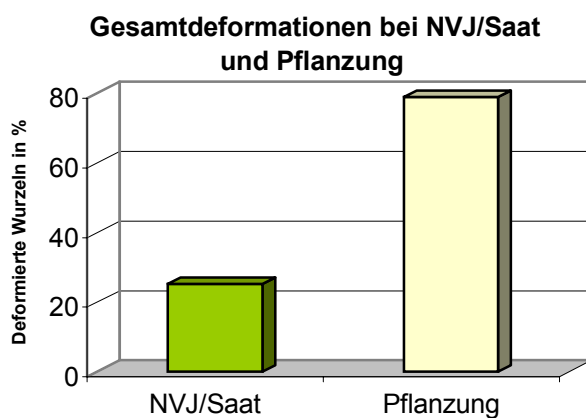


Abb. 13: Gesamtdeformationen (10-jährig) bei Naturverjüngung/Saat und Pflanzung auf den Untersuchungsfläche.

Auch bei Naturverjüngung und Saat traten Verformungen der Wurzeln auf. Allerdings lag der Anteil bei den gepflanzten Bäumen für alle untersuchten Pflanzverfahren und Baumarten um ein Vielfaches höher.

Wurzeldeformationen bei Naturverjüngung und Saat waren nicht nur seltener, sondern auch schwächer ausgeprägt als bei den untersuchten Pflanzungen.

So wies fast jeder fünfte gepflanzte Laubbaum extreme Deformationen auf, aber „nur“ jeder fünfundzwanzigste aus Naturverjüngung.

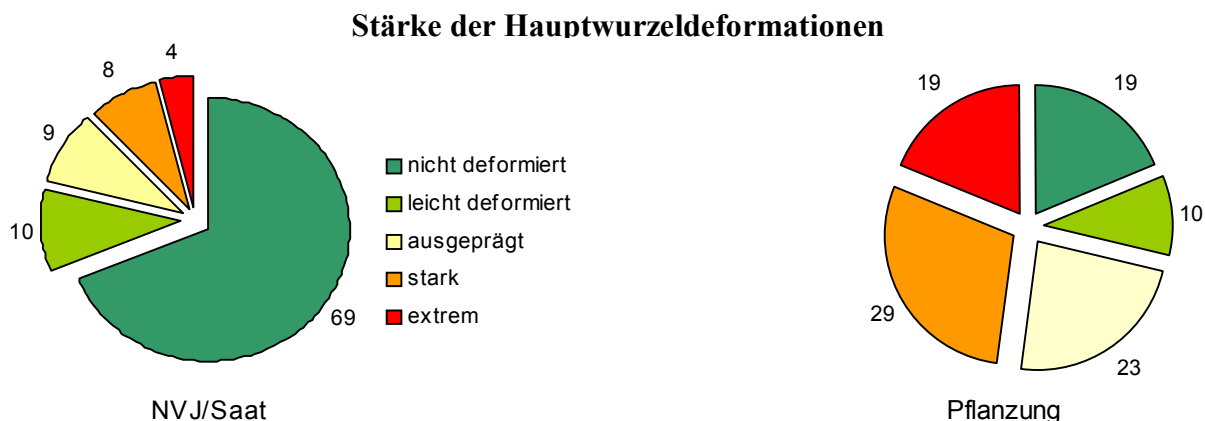


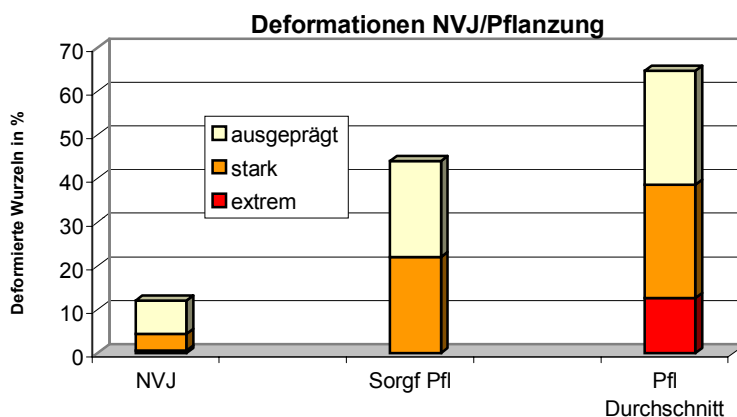
Abb. 14: Stärke der Hauptwurzeldeformationen (10-jährig) bei Naturverjüngung/Saat und Pflanzung auf den Untersuchungsflächen. Anteile in Prozent.

Bei NVJ/Saat waren ausgeprägte bis extreme Wurzeldeformationen hochsignifikant seltener zu finden als bei den untersuchten Pflanzungen.

Wurzelgrabungen an bekannt vorbildlich gepflanzten Bäumen zeigen aber, dass mit Pflanzung auch eine zufriedenstellende Wurzelentwicklung erzielt werden kann (siehe auch Abb. 59, S. 42). Häufigkeit und Ausprägung der Wurzeldeformationen wurde gegenüber dem Durchschnitt der untersuchten Pflanzungen deutlich reduziert, insbesondere konnten die für die Stabilität so kritischen extremen Deformationen weitgehend vermieden werden. Das Gesamtniveau der Deformationen lag aber immer noch höher als bei Naturverjüngung/Saat.

Abb. 15: Hauptwurzeldeformationen bei Naturverjüngung, sorgfältiger Pflanzung und durchschnittlicher Pflanzung am Beispiel der Eiche.

Durch eine besonders sorgfältige Pflanzung lassen sich die für die Stabilität entscheidenden extremen Deformationen vermeiden, eine Wurzelentwicklung wie bei NVJ/Saat wird aber nicht erreicht.



Der **Standort** (v.a. hoher Skelettanteil und Bodenverdichtung) wird häufig als Hauptursache für Wurzeldeformationen angeführt.

Auf allen untersuchten Standorten lag bei Pflanzung der Anteil deformierter Wurzeln um ein Vielfaches höher als bei Naturverjüngung/Saat. Darüber hinaus ließ sich bei Pflanzung kein Zusammenhang zwischen der Art des Bodensubstrats und der Deformationshäufigkeit nachweisen.¹ Die Unterschiede zwischen den einzelnen Standortgruppen wurden durch andere Faktoren wie z.B. Pflanzverfahren oder Sortiment überlagert.

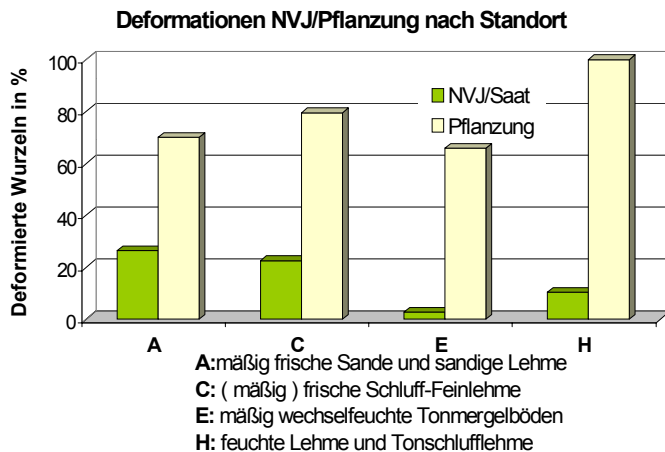


Abb. 16: Deformationen bei NVJ und Pflanzung in Abhängigkeit vom Standort.

Weder Skelettgehalt noch Verdichtung hatten bei Pflanzung einen nachweisbaren Einfluss auf die Anzahl Wurzeldeformationen.²

Fazit Wurzeldeformationen durch Pflanzung:

Wurzeldeformationen

- traten auch bei Naturverjüngung/Saat auf.
- waren bei den untersuchten Pflanzungen dreimal so häufig wie bei Naturverjüngung/Saat (bei starken und extremen Deformationen sogar fünfmal so häufig).
- konnten durch eine besonders sorgfältige Pflanzung deutlich reduziert werden. Eine Wurzelentwicklung wie bei NVJ/Saat wurde aber nicht erreicht.

¹ Ausnahme: Extremstandorte; Den Einfluss des Standorts auf die Naturverjüngung behandelt Kap. 4.5

² Verdichtung: Auf verdichteten, mäßig wechselfeuchten Tonmergelböden wurden die gepflanzten Wurzeln im Vergleich zu den anderen Standortgruppen am geringsten deformiert.

Skelettgehalt: Auf den Sanden/sandigen Lehmen mit dem größten Skelettgehalt waren weniger Wurzeln deformiert als auf den Schluff-Feinlehmen/Tonschlufflehmen.

3.2 Wachsen sich Wurzeldeformationen wieder aus?

Für den langfristigen Einfluss der Wurzeldeformationen auf die Baumstabilität ist von entscheidender Bedeutung, ob sich die Verformungen im Lauf der Zeit durch Wurzelregenerationen (d.h. Auswachsen der Verkrümmung) oder Wurzelneubildungen regenerieren können.

3.2.1 10 Jahre nach der Pflanzung

Die Häufigkeit der Deformationen veränderte sich in den letzten 5 Jahren nur geringfügig. Somit konnten sich Verformungen bis zu einem Alter von 10 Jahren nicht in nennenswertem Umfang auswachsen.

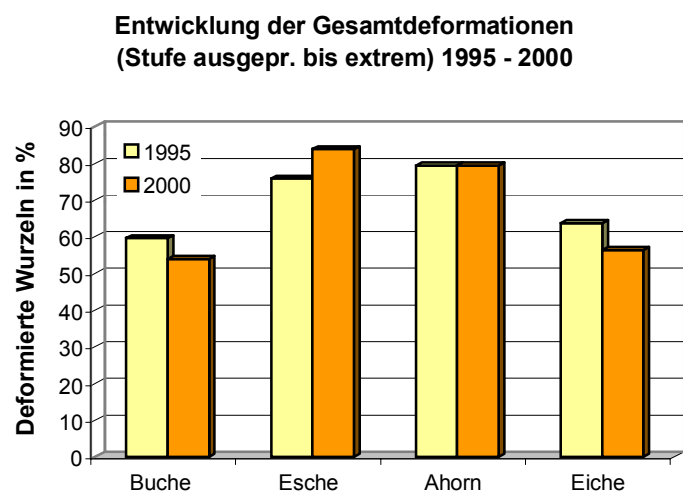


Abb. 17: Anzahl der ausgeprägt bis extremen Deformationen³ 1995 und 2000.

Bei Eiche und Buche ging die Häufigkeit der Deformationen geringfügig zurück, bei Bergahorn blieb sie auf gleichem Niveau, bei Esche wurden sogar mehr Deformationen festgestellt als im Jahr 1995.

Insbesondere die Hauptwurzeldeformationen müssen hinsichtlich der Stabilität als problematisch beurteilt werden. Doch wie verlief die Regeneration der defomierten Hauptwurzeln?

Wie sich aus der Grafik „Hauptwurzeldeformationen nach Pflanzung“ (Abb. 14, S. 12) ablesen lässt, waren 48 % der Hauptwurzeln extrem oder stark deformiert und wiesen damit 10 Jahre nach der Pflanzung keine oder nur eine beginnende Regeneration auf. Das bedeutet, dass fast jede zweite Wurzel ihre Deformationen nicht wesentlich regenerieren konnte. Von den Wurzeln waren 29 % durch Pflanzung entweder nicht oder nur leicht deformiert und nur die verbleibenden 23 % zeigten zum Teil deutliche Regenerationen.

→ **Fast die Hälfte aller gepflanzten Probestämme wuchsen auch nach 10 Jahren ihre Wurzeldeformationen nicht in nennenswertem Umfang aus. Nur bei einem Viertel ließen sich deutliche Regenerationen erkennen.**

³ Leichte Deformationen wurden 1995 nicht aufgenommen. Sie werden aufgrund ihrer geringen Auswirkungen auch in den folgenden Grafiken nicht dargestellt.

Abb. 18: Extreme Hauptwurzeldeformation und Stauchung bei 10-jähriger gepflanzter Esche.

Es gibt keinerlei Anzeichen, dass sich die Deformationen zurückbilden und die Wurzeln wieder in die Tiefe wachsen werden.



Abb. 19: Ausgeprägte Hauptwurzeldeformation bei gepflanzter 10-jähriger Esche.

Deutlichen Anzeichen für eine Regeneration der ursprünglichen Stauchung durch die Bildung einer neuen Hauptwurzel. Im Vergleich zur Sprossstärke aber keine zufriedenstellende Tiefenerschließung.

Abb. 20: 10-jährige gepflanzte Esche ohne Deformationen.

Optimale Wurzelentwicklung einer gepflanzten Esche, es sind keine Deformationen zu erkennen. Wurzeln ohne Deformationen finden sich nur bei jeder fünften Pflanze.



Fazit Rückbildung von Wurzeldeformationen 10 Jahre nach der Pflanzung:

- Die Häufigkeit der Wurzeldeformationen verringerte sich bei den untersuchten Pflanzungen bis zum Alter von 10 Jahren nur geringfügig.
- Hauptwurzeldeformationen, die die Tiefenerschließung und damit die Stabilität besonders negativ beeinflussen, bildeten sich kaum zurück.
- ➔ **Stärkere Wurzeldeformationen wuchsen sich in den ersten 10 Jahren nicht in nennenswertem Umfang aus.**

3.2.2 40 Jahre nach der Pflanzung

Die Wurzeln der zehnjährigen Laubbäume aus unseren Untersuchungen befinden sich in der Phase der intensivsten Tiefenerschließung. Bei extrem deformierten Wurzeln, die noch keinerlei Anzeichen für eine Regeneration zeigen, müsste das Tiefenwachstum – entgegen dem natürlichen Wachstumsverlauf - in späteren Jahren nachgeholt werden.

Doch ist dies möglich? Können Bäume bis zum Alter von 40 Jahren (Erreichen der Gesamtwurzeltiefe) die Wurzeldeformationen ausreichend regenerieren?

Aussagen über eine langfristige Beeinträchtigung der **Stabilität** lassen sich treffen, wenn ältere Pflanzungen unter vergleichbaren Bedingungen mit Naturverjüngungen oder einem weiteren Pflanzverfahren verglichen werden. Wir wählten die Winkelpflanzung aus, da

- die Winkelpflanzung das Verfahren mit der weitesten Verbreitung darstellt,
- wir aufgrund unserer umfangreichen Grabungen und den Arbeiten u.a. von STROHSCHNEIDER [1985] davon ausgingen, dass die Wurzeln der verwendeten Sortimente nicht ohne Verkrümmungen im Pflanzspalt untergebracht werden können. Mit einer langfristigen Beeinträchtigung der Wurzelentwicklung war am ehesten dort zu rechnen.

Die folgenden Ergebnisse basieren auf 138 Wurzelgrabungen an Bäumen über 28 Jahren.

Laubbäume:

DAHMER verglich 1998 Winkelpflanzung und Lochhügelpflanzung anhand ca. 35-jähriger Bergahorn und Buchen. Die mittels Winkelpflanzung gesetzten Bäume wiesen deutlich flachere Wurzeln und nur wenig starke Tiefenwurzeln auf.



Abb. 21: 37-jähriger Bergahorn aus Lochhügelpflanzung. Dynamisch in die Tiefe strebend, durchschn. 133 cm tief.



Abb. 22: 35-jähriger Bergahorn aus Winkelpflanzung. Sehr flach streichendes Wurzelwerk, durchschnittlich 88 cm tief.

Das natürliche Wurzelwachstum

Der **natürliche, vom Menschen unbeeinflusste Wachstumsverlauf** von Jungpflanzen beginnt mit einem zwei- bis dreijährigen intensiven Längen- und Dickenwachstum der Pfahlwurzel. In den folgenden 10 Jahren werden tiefere Bodenschichten intensiv erschlossen. Die Pfahlwurzel erreicht in diesem Stadium im Durchschnitt ihre maximale Länge (bei Buche etwas früher). Danach übernehmen zahlreiche „Senker“ die Tiefenerschließung. Das Wurzelwachstum verlangsamt sich, bis etwa ab einem Alter von 40 Jahren die Gesamtwurzeltiefe nicht mehr wesentlich vergrößert wird.

(verändert nach KUHN und POLOMSKI 2001)

Das geringe Tiefenwachstum der mit Winkelpflanzung gesetzten Laubbäume verstärkte die Befürchtung, dass auch die Nadelbäume, die seit Mitte der 1960er Jahre überwiegend mit Winkelpflanzung begründet wurden, ähnlich flache Wurzeln aufweisen könnten.

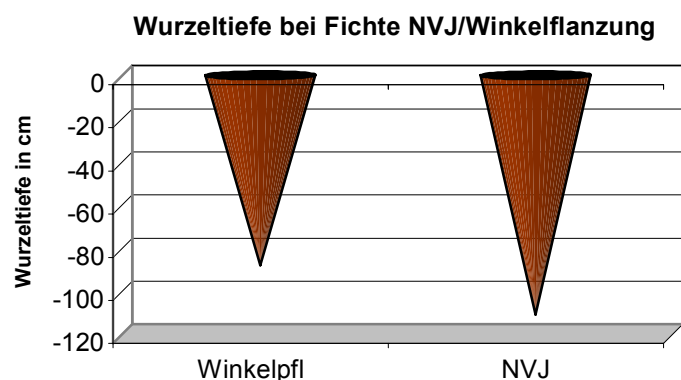
Nadelbäume:

Wurzelgrabungen an 30 bis 40-jährigen Fichten (Pflanzsortiment 2/2, 2/3) und Douglasien (Sortiment unbek.) aus Winkelpflanzung und Naturverjüngung im Herbst 2001 bestätigten von der Tendenz die Ergebnisse der Laubbaumgrabungen.

Die **maximale Wurzeltiefe** war bei den gepflanzten Fichten mit 24 %⁴ hochsignifikant geringer als bei den Fichten aus Naturverjüngung, bei Douglasie mit 12 % einfach signifikant.

Abb. 23: Maximale Wurzeltiefe bei Winkelpflanzung und NVJ der untersuchten 30 bis 40-jährigen Fichten.

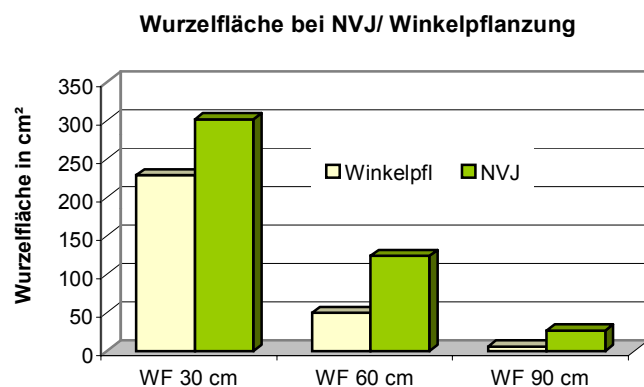
Die Fichten aus Winkelpflanzung erreichten eine um durchschnittlich 24 % geringere Wurzeltiefe als die Naturverjüngung.



Die Durchwurzelungsintensität des Bodens, d.h. die Anzahl und Stärke der Wurzeln in bestimmten Bodentiefen lässt sich besonders gut über die **Wurzelflächen** erfassen.⁵

Abb. 24: Wurzelflächen bei Winkelpflanzung/NVJ der untersuchten 30 bis 40-jährigen Fichten.

Die mit Winkelpflanzung gesetzten Fichten verfügten über deutlich geringere Wurzelflächen. In 90 cm Tiefe waren kaum noch Wurzeln vorhanden.



⁴ Bei den verschiedenen Untersuchungen war die Wurzeltiefe um 20 bis 35 % geringer als bei der Naturverjüngung.

⁵ Hierzu werden die Durchmesser aller Wurzeln in definierten Tiefenstufen (30, 60 und 90 cm) gemessen und anschließend als Wurzelflächen pro Tiefenstufe aufsummiert.

Die hochsignifikanten Unterschiede der Wurzelflächen in 60 und 90 cm Tiefe zeigen, dass die mit Winkelpflanzung gesetzten Fichten in unseren Untersuchungen auch langfristig weitaus flacher wurzeln und den Wurzelraum weniger intensiv erschließen als natürlich verjüngte Fichten.

Es ist nicht zu erwarten, dass sich diese Unterschiede in der Folgezeit auswachsen werden, da die ausgegrabenen Bäume bereits ein Alter erreicht haben, ab dem die Tiefendurchwurzelung nur noch geringfügig zunimmt (KÖSTLER ET AL. 1968, KUHN und POLOMSKI 1998).

Damit ist davon auszugehen, dass die Verankerung im Boden bei den mit Winkelpflanzung gesetzten Bäumen unserer Grabungen dauerhaft reduziert wurde. Das Ausmaß dieser Beeinträchtigung lässt sich momentan noch nicht abschätzen.



Abb. 25: 35-jährige Fichte Winkelpflanzung; geringe Tiefenerschließung, flaches Wurzelwerk.



Abb. 26: 35-jährige Fichte Naturverjüngung; gute Wurzeltiefe, viele kräftige Wurzeln in der Tiefe.

Fazit langfristige Auswirkungen von Wurzeldeformationen:

Auch nach 30 – 40 Jahren ließen sich negative Folgen einer Winkelpflanzung in Verbindung mit zu großen Sortimenten nachweisen. Die Bäume

- erreichten eine geringere Wurzeltiefe,
- besaßen weniger Starkwurzeln in der Tiefe (geringere Wurzelflächen),
- durchwurzelten den Boden nicht so intensiv wie Naturverjüngungen.

→ **Durch Wurzeldeformationen wird die Durchwurzelung des Bodens langfristig verringert, wodurch das Windwurfrisiko steigt.**

4 Ursachen von Wurzeldeformationen

Auf den untersuchten Sturmflächen wiesen Pflanzungen im Vergleich zur Naturverjüngung i.d.R. wesentlich stärkere Wurzeldeformationen auf:

- Über drei Viertel aller Wurzeln waren bei den untersuchten Pflanzungen deformiert, fast jede fünfte Wurzel wies extreme Deformationen auf.
- Nach 10 Jahren war das Tiefenwachstum der Wurzeln weiterhin vermindert und eine Regeneration nicht in Sicht.
- Selbst nach 30 - 40 Jahren erschlossen die gepflanzten Bäume den Wurzelraumes deutlich extensiver.

Wegen der langfristigen Beeinträchtigung der Baumstabilität durch Wurzeldeformationen besteht ein dringender Handlungsbedarf, diese zukünftig zu minimieren.

Als Grundlage für Empfehlungen werden im Folgenden mögliche Ursachen der Deformationen erläutert. Diese umfassen im wesentlichen den Standort, die Baumart und damit die genetische Fixierung sowie die Begründungsverfahren wie Naturverjüngung/Saat und die verschiedenen Pflanzverfahren (u.a. nach KÖSTLER ET AL. 1968, SCHMIDT-VOGT 1977, COUTTS 1983, BÜSGEN und MÜNCH 1927, GRUBER 1992).

4.1 Pflanzung und Pflanzenanzucht

Naturverjüngung, und in gleicher Weise die Saat, gewährleisten eine natürliche, vom Menschen unbeeinflusste Wurzel- und Sprossentwicklung.

Um eine Pflanzung - insbesondere von größeren Pflanzen - überhaupt erst zu ermöglichen, muss bei der Pflanzenanzucht durch Unterschneiden bzw. Verschulen ein kompakteres, höherliegendes Wurzelsystem geschaffen werden. Durch Ausheben, Transport, evtl. Wurzelschnitt und nachfolgende Pflanzung wird das Wurzelsystem zusätzlich verändert. Sind in diesen Veränderungen nun die Ursachen von Wurzeldeformationen zu sehen?

4.1.1 Reaktion auf Störungen

Die Reaktion auf „Störungen“ unterscheidet sich bei den Begründungsverfahren deutlich:

- ◆ Treffen die Tiefenwurzeln von Naturverjüngung/Saat auf einen Stein o.ä., ändern sie ihre Wuchsrichtung häufig nur vorübergehend. Sobald das Hindernis überwunden ist, wachsen sie meist weiter in die Tiefe.
- ◆ Anders bei der Pflanzung: Werden die Wurzeln beim Pflanzen stark verbogen, sei es zur Seite oder nach oben, wachsen sie meist dauerhaft in die neue Richtung. Sie verlieren ihren „Drang in die Tiefe“ und können die oberflächliche Wurzelbildung häufig nicht mehr durch ein erneutes Tiefenwachstum ausgleichen. Eine Regeneration findet, wenn überhaupt, vorrangig durch Wurzelneubildung statt.



Abb. 27 links: 10-jährige Eichen-Naturverjüngung.

Ursprünglich extrem deformierte Wurzel, die wieder in die Tiefe wächst.

Abb. 28 rechts: 10-jährige Eiche aus Winkelpflanzung mit extrem deformierte Wurzel (typischer Entenfuß).

Die Richtungsänderung wird auf Dauer beibehalten.

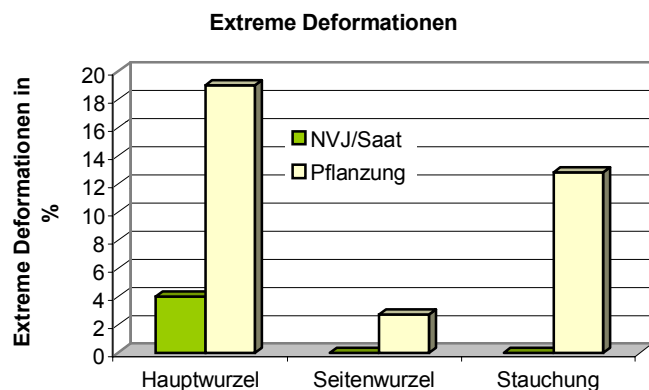


4.1.2 Auswirkungen auf die Wurzeldeformationen

Diese Beobachtungen machen verständlich, dass dauerhafte Deformationen bei den natürlichen Begründungsverfahren selten, bei den untersuchten Pflanzungen hingegen an fast jeder fünften Wurzel in extremer Ausprägung vorkommen. Stauchungen lassen sich bei Naturverjüngung/Saat niemals nachweisen und sind damit allein auf eine unsachgemäße Pflanzung zurückzuführen.

Abb. 29: Extreme Deformationen (10-jährig) bei Pflanzung und Naturverjüngung im Vergleich.

Bei den untersuchten Pflanzungen kamen extreme Deformationen viel häufiger vor als bei Naturverjüngung/Saat. Stauchungen traten nur bei Pflanzung auf.



Auch die Regeneration der Wurzeldeformationen in der 10-jährigen Beobachtungsperiode zeigt, dass Wurzeldeformationen bei Naturverjüngung/Saat anders zu beurteilen sind als bei Pflanzung. Während die Zahl der Verkrümmungen bei den untersuchten Pflanzung zwischen 1995 und 2000 auf gleichem Niveau blieb, halbierte sie sich annähernd bei Naturverjüngung/Saat.

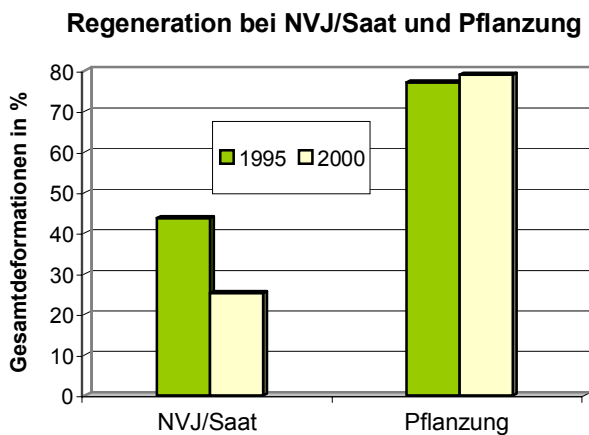


Abb. 30: Regeneration der ausgeprägt bis extremen Gesamtdeformationen bei Pflanzung und Naturverjüngung 10 Jahre nach der Erstaufnahme.

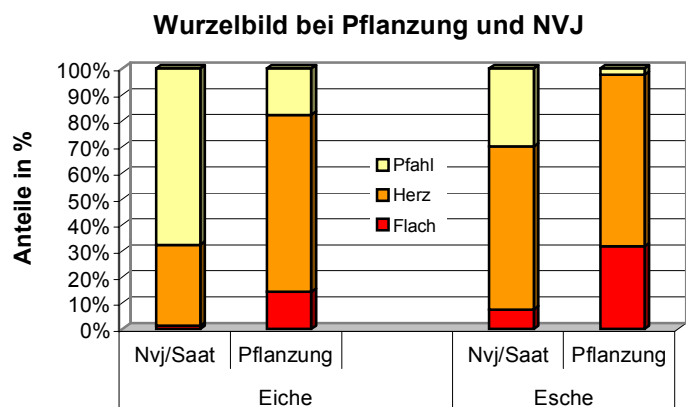
Keine Regeneration bei den untersuchten Pflanzungen, bei Naturverjüngung/ Saat ein Rückgang um 44 %.

4.1.3 Auswirkungen auf das Wurzelbild

Bei unbeeinflusster Wurzelentwicklung kann sich das für die Baumart charakteristische Wurzelbild entwickeln. In unseren Untersuchungen bildete die Naturverjüngung von Buche und Esche überwiegend Herzwurzeln aus, während bei Eiche und Bergahorn nach 10 Jahren meist noch die Pfahlwurzel dominierte. Flachwurzeln kamen in der Natur nur selten vor und waren vorwiegend auf sehr flachgründige oder vernässte Standorte beschränkt. Bei den gepflanzten Bäumen fanden wir dagegen fast zu einem Viertel Flachwurzeln, die für die Tiefenerschließung wichtige Pfahlwurzel nur noch sehr selten. Mit einer Regeneration der Pfahlwurzel ist nicht zu rechnen, da diese häufig umgebogen war.

Abb. 31: Wurzelbild (10-jährig) bei Pflanzung und Naturverjüngung/Saat am Beispiel von Eiche und Esche.

Jede dritte bis siebte Pflanzung wies ein Flachwurzelsystem auf, während Pfahlwurzeln kaum noch vorkamen. Bei Naturverjüngung dominierten die Pfahl- und Herzwurzelsysteme.



Fazit Pflanzenanzucht und Pflanzung:

- „Störungen“ wirken sich bei Naturverjüngung und Saat deutlich geringer auf die Wurzelentwicklung aus als bei den untersuchten Pflanzungen.
- Die zahlreichen und starken Wurzeldeformationen der untersuchten Pflanzungen führten zu einer Verflachung der Wurzelsysteme.
- **Wo möglich, die Bestände natürlich oder durch Saat verjüngen.**
- **Falls Pflanzung erforderlich: wurzelgerecht pflanzen.**

4.2 Pflanzverfahren

Die untersuchten Pflanzverfahren - Buchenbühler Verfahren, Winkelpflanzung, Hohlspaten und verschiedene Bohrverfahren - unterscheiden sich in ihrer Eignung hinsichtlich Sortiment, Baumart und Standort. Wurzeldeformationen entstehen vor allem dann, wenn

- das gewählte Pflanzverfahren für die Wurzelgröße ungeeignet ist (Pflanzverfahren und Wurzelgröße) oder
- das Pflanzverfahren nicht fachgerecht angewendet wurde (Pflanzqualität).

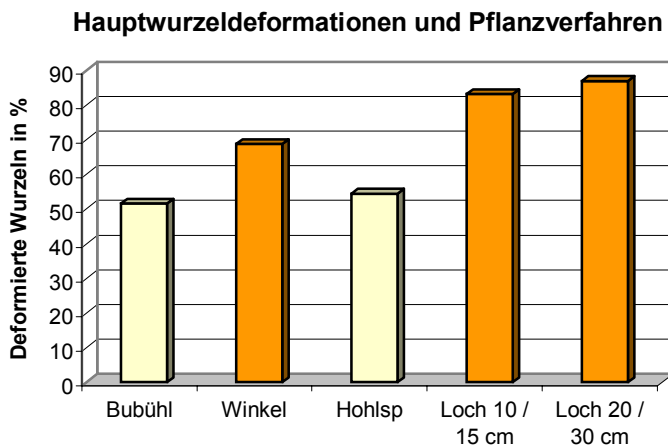


Abb. 32: Überblick Deformationshäufigkeit (10-jährig) nach Pflanzverfahren auf den Untersuchungsflächen.

Mit dem Buchenbühler Verfahren und Hohlspaten wurde die beste Wurzelentwicklung erzielt. Schlechter schnitten Winkelpflanzung und die Lochbohrverfahren ab.

4.2.1 Buchenbühler Schrägpflanzverfahren

Beim Buchenbühler Verfahren wurde auf den Untersuchungsflächen im Vergleich zu den übrigen Pflanzverfahren die geringsten Wurzeldeformationen gefunden. Lediglich Naturverjüngung und Saat schnitten deutlich besser ab. Auffällig waren die großen Unterschiede im Umfang der Deformationen zwischen den einzelnen Flächen.

Pflanzverfahren und Wurzelgröße: Untersucht wurden Buchen und Eichen der Sortimente 1/0 und 2/0 30 – 50 cm. Eine hohe Anzahl an Wurzeln ohne jegliche Deformationen fanden wir dort, wo besonders kleine Sortimente verwendet wurden.

Das Verfahren ist damit für Kleinpflanzen mit einem geringen Wurzelumfang bei korrekter Anwendung ein sehr wurzelschonendes Pflanzverfahren.

Pflanzqualität: Gleichzeitig fanden wir unter vergleichbaren Bedingungen sehr viele Wurzeln mit extremen Hauptwurzelverkrümmungen und Stauchungen.

Letztere waren eindeutig auf unsachgemäße Anwendung und nicht auf fehlende Eignung des Pflanzverfahrens zurückzuführen (DAHMER 1997b, NÖRR 2000). Die Wurzelentwicklung beim Buchenbühler Verfahren wurde deshalb maßgeblich durch die Pflanzqualität bestimmt.



Abb. 33 links: 10-jährige Eiche.

Mit dem Buchenbühler Verfahren lassen sich kleine Pflanzsortimente ohne Wurzeldeformationen pflanzen. Die Wurzeln wachsen ungehindert in die Tiefe.



Abb. 34 rechts: 10-jährige Eiche.

Bei falscher Pflanzausführung werden die Wurzeln so stark gestaucht, dass sie auch nach 10 Jahren nicht in die Tiefe wachsen.

Beurteilung Buchenbühler Verfahren:

Das Buchenbühler Verfahren wies die meisten nicht deformierten Wurzeln auf.

→ **Das Buchenbühler Verfahren eignete sich für die Wurzelgröße der verwendeten Sortimenten.**

→ **Wurzeldeformationen wurden im wesentlichen durch eine unsachgemäße Pflanzung verursacht.**

4.2.2 Winkelpflanzung

Die Winkelpflanzung fiel durch zahlreiche starke und extreme Deformationen auf. Besonders häufig kamen diese bei größeren Sortimenten (bis 120 cm Größe) der Edellaubbäume vor. Nur auf einer Untersuchungsfläche, bei der Buchen verwendet wurden, die für die Wiederaufforstung unüblich klein waren (Sortiment 1/0, 15 – 35 cm), entwickelten sich die Wurzeln zufriedenstellend.

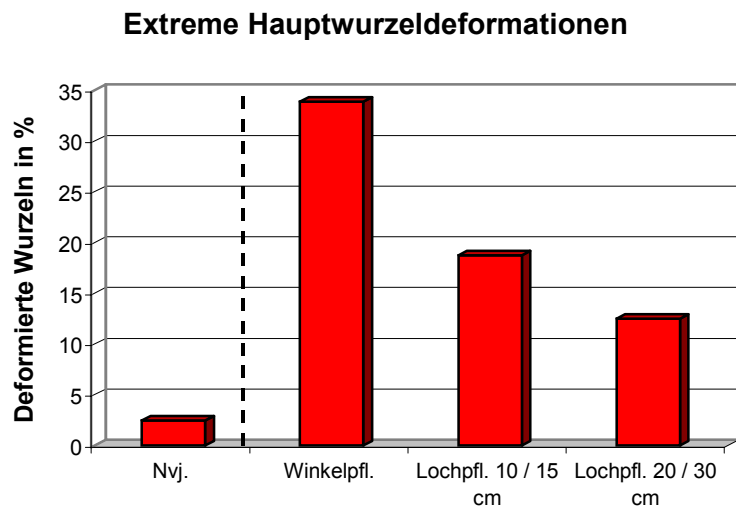


Abb. 35: Extreme Hauptwurzeldeformationen am Beispiel 10-jähriger Esche.

In allen Untersuchungen traten extreme Deformationen bei Winkelpflanzung sehr häufig auf.

Pflanzverfahren und Wurzelgröße:

- Sortimente mit einer Wurzellänge über 15 cm werden durch die Winkelpflanzung zwangsläufig deformiert.
- Die untersuchten Laubbäume besaßen Wurzeln, die für den mit der Winkelpflanzung möglichen Pflanzspalt zu groß waren.

Ursprünglich hatte REISINGER die Winkelpflanzung nur für die Pflanzung kleiner Nadelbaumsortimente entwickelt. Erst später wandte er das Verfahren auch für größere Pflanzen an, allerdings mit verbesserter Schlagtechnik (Doppelschlag oder T-Winkelpflanzung). Aber selbst mit der modifizierten Winkelpflanzung und einer sehr hohen Pflanzqualität lässt sich nur eine **maximale Spalttiefe von 15 cm¹** erreichen. Da die meisten der gängigen Pflanzensortimente deutlich größere Wurzeln besitzen, werden diese entweder stark beschnitten oder zwangsläufig umgebogen. Die negativen Auswirkungen waren bei fast jeder Wurzelgrabung der LWF und anderer Institutionen deutlich zu sehen.

Pflanzqualität: Durch eine unsachgemäße Anwendung des Pflanzverfahrens wurde die Wurzelentwicklung zusätzlich beeinträchtigt.

¹ Bei den neueren Hauen mit verlängertem Blatt oder verändertem Winkel (Vario-Haue) bleibt die Spalttiefe selbst unter optimalen Bedingungen auf 18 cm beschränkt.

Abb. 36: Typischer Entenfuß bei Laubholz-Winkelpflanzung an 10-jährigem Bergahorn.

Extreme Hauptwurzelverkrümmung, einseitig ausgebildetes Wurzelwerk und geringe Tiefenerschließung.



Beurteilung Winkelpflanzung:

Die Winkelpflanzung führte zu zahlreichen extremen Deformationen und damit zu einer überdurchschnittlich schlechte Tiefenerschließung des Wurzelraumes.

→ Verursacht wurden die Deformationen im wesentlichen durch die für die Winkelpflanzung viel zu großen Sortimente. In einem Pflanzspalt von 15 cm Tiefe konnten die Wurzeln der untersuchten Laubbäume nicht ohne starken Wurzelschnitt oder zahlreichen Deformationen untergebracht werden.

4.2.3 Hohlspatenpflanzung

Die Hohlspatenpflanzung zeichnete sich auf den Untersuchungsflächen durch ein überdurchschnittlich gutes Spross- und Wurzelwachstum und verhältnismäßig seltene Wurzeldeformationen aus. Kein anderes Pflanzverfahren wies so „wenig“ extreme Hauptwurzeldeformationen und Stauchungen auf.

Pflanzverfahren und Wurzelgröße: Der Hohlspaten stellt für die verwendeten Sortimente (Buche 2/1, 50 – 80 und Eiche 2/0 30 – 50 cm) ein geeignetes Pflanzverfahren dar.

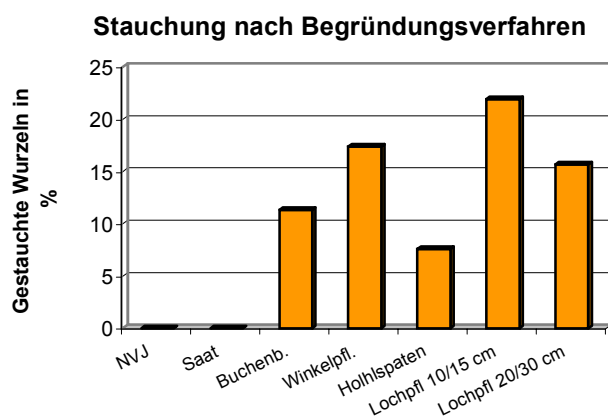


Abb. 37: Stauchung (10-jährig) nach Begründungsverfahren.

Stauchungen als eindeutige Weiser für unsachgemäße Pflanzung waren beim Hohlspaten selten zu finden.²

² Von den untersuchten Eichen wurde keine extrem gestaucht (bei Pflanzung sehr selten!), von den Buchen allerdings jede zwölfte. Erklärt werden kann dieser Unterschied mit den kleineren Pflanzsortimenten der Eiche und einer sorgfältigeren Pflanzung.

Pflanzqualität: Der geringe Anteil an Stauchungen wurde vor allem durch eine korrekte **Anwendung des Pflanzverfahrens** erreicht. Insgesamt kann die Hohlspatenpflanzung auf geeigneten Standorten als ein einfaches, schnell zu erlernendes Verfahren mit wenig Fehlerquellen bezeichnet werden.



Abb. 38: 10-jährige Buche, mit Hohlspaten gepflanzt.

Die Wurzeln wurden kaum deformiert und entwickelten sich gut in die Tiefe.

Ein häufiges Problem der Lochpflanzungen liegt in der Konzentration der Wurzeln im Pflanzlochbereich. Beim Hohlspaten konnte der sog. „Blumentopfeffekt“ (siehe S. 28) nicht festgestellt werden. Fast alle Wurzeln wuchsen aus dem ursprünglichen Pflanzloch heraus. Hierin übertraf der Hohlspaten die übrigen Lochpflanzverfahren.

Beurteilung Hohlspaten:

Extreme Deformationen und Stauchungen traten beim Hohlspaten relativ selten auf.

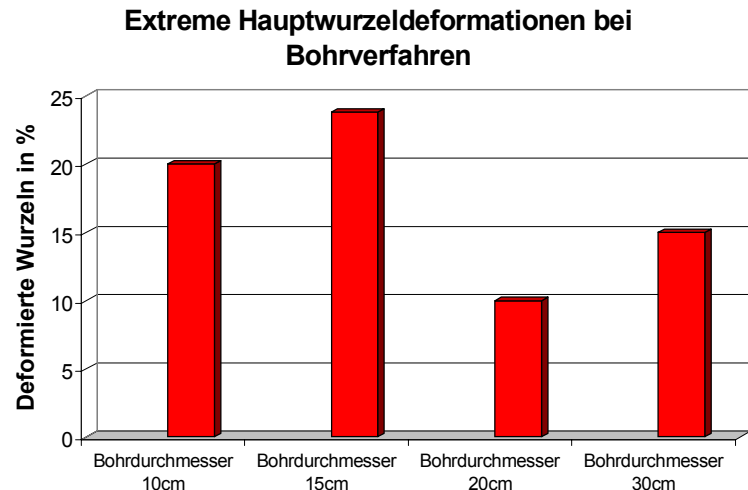
- **Der Hohlspaten erwies sich für die verwendeten Sortimente als ein geeignetes Pflanzverfahren, das eine sehr gutes Wurzel- und Sprosswachstum erlaubt.**
- **Vorhandene Deformationen waren v.a. auf mangelnde Pflanzqualität zurückzuführen, insgesamt besitzt das Verfahren nur wenig Fehlerquellen.**

4.2.4 Bohrverfahren

Die mit den Bohrverfahren gepflanzten Laubbäume wiesen überraschender Weise von allen untersuchten Pflanzverfahren die meisten Deformationen auf. Dabei unterschieden sich die Ergebnisse je nach verwendetem Bohrer Durchmesser, nicht jedoch nach den untersuchten Baumarten (Esche, Bergahorn).

Abb. 39: Extreme Hauptwurzeldeformationen (10-jährig) bei Bohrverfahren auf den Probe-flächen.

Bohrverfahren mit Bohrerdurchmessern von 10 und 15 cm fielen durch sehr hohe extreme Deformationen auf. Günstiger schnitten die größeren Bohrerdurchmesser ab³.



Die Pflanzlöcher der **Bohrerdurchmesser 10 und 15 cm** waren für die verwendeten Großsortimente (bis 200 cm Sprosslänge) zu klein, Verkrümmungen der Haupt- und Seitenwurzeln damit trotz (zu starkem) Wurzelschnitt vorprogrammiert. Zusätzlich wurden die Löcher häufig nicht tief genug gebohrt bzw. die Pflanzen beim Verfüllen und Festtreten nicht ausreichend hochgezogen. Daraus resultierten starke Stauchungen und eine überdurchschnittlich geringe Tiefenerschließung.



Abb. 40: Extrem gestauchte und deformierte Eschenwurzel, mit 10 cm Bohrerdurchmesser gepflanzt.

Die Wurzel war für den kleinen Bohrerdurchmesser viel zu groß und musste gewaltsam ins Pflanzloch „gestopft“ werden.

Die noch relativ besten Ergebnisse konnten mit einem **20 cm Bohrer** erzielt werden. Dieses Verfahren hob sich durch geringere Extremdeformationen und bessere Erschließung des Wurzelraumes von den übrigen Bohrverfahren ab. Einzelne Wurzeln zeigen, dass mit Bohrverfahren bei wurzelschonender Pflanzung und geeigneten Sortimenten eine akzeptable Wurzelentwicklung erreicht werden kann.

³ Der größte Bohrerdurchmesser schnitt etwas schlechter ab, da übergroße Sortimente (160 cm +) mit entsprechend großen Wurzeln verwendet wurden (siehe auch S. 28).

Abb. 41: 10-jährige Esche aus Lochbohrverfahren mit 20 cm Bohrer.

Die Wurzeln wurden nicht deformiert und wuchsen kräftig in die Tiefe und zur Seite.



Überraschend schlecht schnitten auf den Untersuchungsflächen dagegen die Bohrverfahren mit **30 cm Bohrerdurchmesser** ab. Trotz eines ausreichend breiten Pflanzloches wurden die Seitenwurzeln stark deformiert und erschlossen den Wurzelraum schlechter als bei kleineren Bohrern. Auch die Tiefenerschließung lag etwas unter dem Durchschnitt. Neben den Pflanzfehlern spielten hier die übergroßen Sortimente (> 200 cm) eine wichtige Rolle. Aufgrund ihres äußerst ungünstigen Spross-/Wurzel-Verhältnisses litten sie in den ersten Jahren unter einem starken Pflanzschock. Im Verhältnis zum oberirdischen Sprosswachstum blieben die Wurzeln im Wachstum deutlich zurück. Auch nach 10 Jahren konnte insbesondere der Bergahorn dieses Ungleichgewicht nicht auswachsen (Baumhöhe 680 cm, Wurzeltiefe 42 cm), obwohl der Bestand oberirdisch sehr vital und wüchsig erschien. Ein genereller Nachteil dieser maschinengestützten Verfahren (Trägerfahrzeug Bagger oder Forwarder) liegt darüber hinaus in der Bodenverdichtung durch das flächiges Befahren.

Eine Konzentration der Wurzeln im Bohrlochbereich, der sogenannte „**Blumentopfeffekt**“ fand sich 1995/96 bei fast einem Drittel aller Bäume. Bis zum Jahr 2000 hatte etwa jede vierte Wurzel den ursprünglichen Bohrbereich noch nicht oder nur geringfügig verlassen. Der „Blumentopfeffekt“ war insbesondere bei kleinen Pflanzsortimenten (siehe auch Kapitel 4.3) nicht mehr so auffällig wie in der Aufnahme von 1995/96, da sich z.T. Feinwurzeln und einzelne stärkere Wurzeln über den Bohrwandbereich hinaus ausgebreitet hatten.

Die Wurzeln wuchsen häufig nur sehr oberflächennah (bis 20 cm Tiefe) aus dem Bohrloch hinaus. Bei einer Sprosshöhe von 320 bis 680 cm ist damit die Standfestigkeit der Bäume stark eingeschränkt. Manche Bäume ließen sich sogar von Hand umdrücken!



Abb. 42: 10-jährige Eschen, mit 30 cm Bohrer gepflanzt.

Das ehemalige Pflanzloch ist noch erkennbar, die Wurzeln wuchsen nur oberflächennah aus dem Bohrloch heraus (Blumentopfeffekt).

Wurzeldeformationen in dieser Größenordnung (über 90 % aller Wurzeln deformiert) hatte bei den Bohrverfahren niemand erwartet, da zumindest mit größeren Bohrerdurchmessern ein Pflanzloch geschaffen werden kann, das auch einem umfangreicheren Wurzelwerk ausreichend Platz bieten müsste.

Verursacht wurde das schlechte Abschneiden der Bohrverfahren bei Bohrerdurchmessern über 20 cm nicht durch eine fehlende Eignung des Verfahrens, sondern durch eine unsachgemäße Anwendung. Wie Abb. 59 auf S. 42 zeigt, erlauben die Bohrverfahren auch bei größeren Sortimenten eine gute Wurzelentwicklung, wenn besonders sorgfältig gepflanzt wird. Die Bohrverfahren erfordern aber einen hohen Kenntnisstand und eine besonders exakte Ausführung, da sie nach unseren Untersuchungen sehr viele Fehlerquellen aufwiesen.

Beurteilung Bohrverfahren:

Bohrverfahren sind vom Verfahren her auch für größere Wurzeln geeignet. Auf den Untersuchungsflächen waren aber über 90 % aller Wurzeln deformiert.

- **Zu kleine Bohrerdurchmesser (< 20 cm) verursachen zwangsläufig Wurzelverkrümmungen, da die Wurzeln der verwendeten Großpflanzen nicht ohne Verbiegen in dem kleinen Pflanzloch untergebracht werden können.**
- **Die Bohrverfahren erwiesen sich als Verfahren mit überdurchschnittlich vielen Fehlerquellen. Pflanzfehler führten auch bei großen Bohrerdurchmessern häufig zu extrem deformierten Wurzeln.**

4.2.5 Rhodener Verfahren

Das Rhodener Verfahren wurde zwischen 1994 und 1996 in der Bayerischen Staatsforstverwaltung eingeführt. Ergebnisse über langfristige Auswirkungen dieses Verfahrens gibt es bisher nur von zwei Untersuchungen der LWF (NÖRR 2000). Auf zwei Versuchsfeldern wurden mit dem Rhodener Verfahren sowohl bei Eiche als auch bei Esche eine bessere Wurzelentwicklung erzielt als mit der Bohrlochpflanzung.

Pflanzverfahren und Wurzelgröße: Auf der Eschenversuchsfeldfläche war das Ergebnis für das Rhodener Verfahren nicht zufriedenstellend. Das große Wurzelwerk der Esche (Sortiment 80-120 cm) konnte anscheinend nicht ohne Verformungen mit der damaligen Schlagtechnik und bei vollständigem Verzicht auf den Wurzelschnitt im Pflanzloch untergebracht werden.

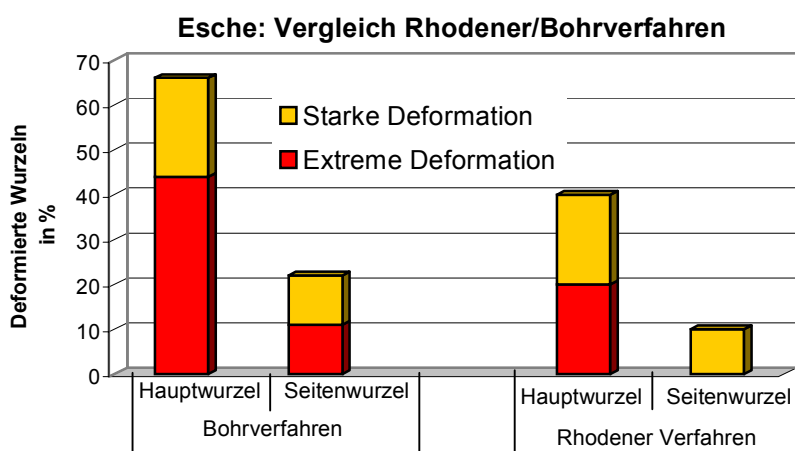


Abb. 43: Deformationen bei Esche 5 Jahre nach der Pflanzung.

Beim Rhodener Verfahren wurde fast jede fünfte Wurzel extrem deformiert, bei der Bohrlochpflanzung sogar fast jede zweite.

Für die schlankeren Wurzeln der Eiche (Sortiment 80-120 cm) war die Größe des Pflanzspalts anscheinend ausreichend. Sie wiesen eine überdurchschnittlich gute Wurzelentwicklung auf. Nur wenige Wurzeln waren deformiert, keine davon extrem.

Pflanzqualität: Die gute Wurzelentwicklung ist auch ganz entscheidend auf die besonders sorgfältige Pflanzung zurückzuführen.

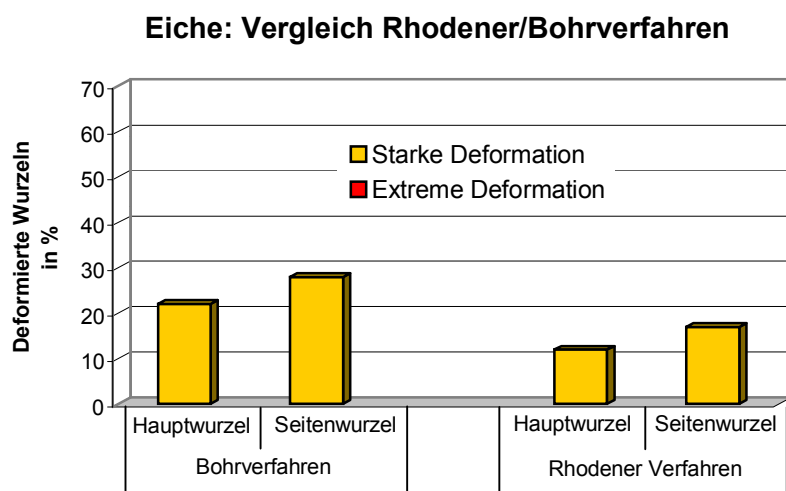


Abb. 44: Deformationen bei Eiche 5 Jahre nach einer besonders sorgfältigen Pflanzung.

Das Rhodener Verfahren erlaubte eine geringfügig bessere Wurzelentwicklung als das Bohrverfahren, keine Wurzel wurde extrem deformiert.

Neuere Probegrabungen zeigen, dass sich inzwischen mit dem Rhodener Verfahren durch verbesserte Schlagtechnik und maßvollen Wurzelschnitt eine bessere Wurzelentwicklung erzielen lässt.



Abb. 45: 5-jährige Eiche mit dem Rhodener Verfahren gepflanzt.

Bei sorgfältiger Pflanzung wird eine gute Wurzelentwicklung erreicht.

Beurteilung Rhodener Verfahren:

Mit dem Rhodener Verfahren konnten auch tiefwurzelnende Baumarten wie die Eiche ohne extreme Deformationen gepflanzt werden, bei Esche war das Ergebnis ungünstiger.

- **Sehr große Sortimenten (Wurzeltiefe über 25 cm, Wurzelbreite über 20 cm) werden mit dem Rhodener Verfahren deformiert.**
- **Die Schlagtechnik muss den neuesten Erkenntnissen angepasst werden. Die Pflanzler müssen intensiv geschult werden und das Verfahren ausreichend üben.**

Fazit aller Pflanzverfahren:

Die Pflanzverfahren unterscheiden sich deutlich in ihren potenziellen Fehlerquellen. Während sich der Hohlspaten als ein verhältnismäßig „einfaches“ Verfahren erwies, wurden die Bohrverfahren sehr häufig nicht sachgemäß angewendet.

Bei allen Verfahren haben sich als entscheidende Kriterien herausgestellt:

- das richtige Verhältnis Pflanzlochtiefe zu Wurzelgröße
- die Qualität der Pflanzung.
- **Jeder Pflanzler muss verschiedene Pflanztechniken gut beherrschen, damit er ein für die Wurzelgröße geeignetes Pflanzverfahren auswählen kann.**
- **Durch verstärkte Schulungen sollte eine fachgerechte Ausführung der Pflanzverfahren sichergestellt werden.**

4.3 Das Sortiment

Für die Aufforstung der untersuchten Sturmkaahlflächen wurden Sortimentsgrößen zwischen 30 und 260 cm Größe verwendet. Auch nach 10 Jahren unterschieden sich die einzelnen Sortimente in ihrer Spross- und Wurzelentwicklung.

Mit zunehmender Sortimentsgröße stiegen Anzahl und Ausprägung der Wurzeldeformationen.

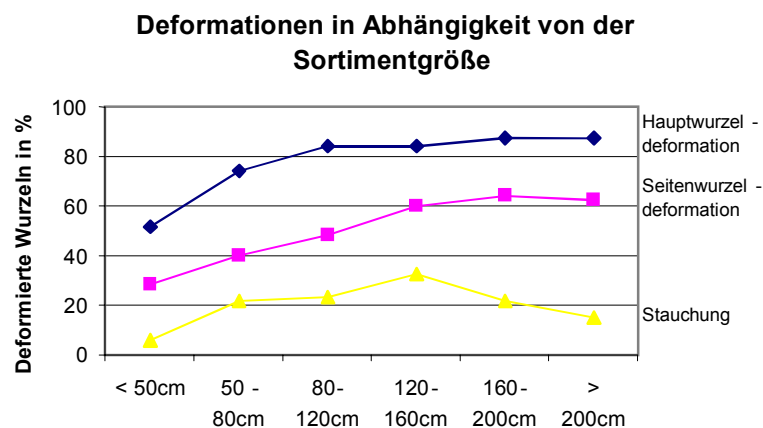


Abb. 46: Deformationen (10-jährig) nach Sortimentsgröße.

Mit zunehmender Sortimentsgröße stiegen Häufigkeit und Stärke aller Deformationen an. Bereits ab dem Sortiment 80 cm verschlechterte sich die Wurzelentwicklung deutlich.

Ursachen:

- Gelieferte Pflanzenqualität:
- Teilweise sehr unbefriedigende Wurzelqualität⁴, insbesondere bei Großpflanzen, Pflanzung:
 - Verwendung eines für die Wurzelgröße ungeeigneten Pflanzverfahrens (insbesondere Winkelpflanzung für die Sortimente 50 – 80 cm und 80 – 120 cm);
 - Unsachgemäße Anwendung des Pflanzverfahrens (insbesondere Bohrverfahren);
- Größe des Wurzelballens:

Mit zunehmender Größe des Wurzelballens steigt das Risiko von Wurzeldeformationen, selbst bei einem der Wurzel angepassten Pflanzverfahren.

Eine differenzierte Auswertung der Einzelflächen nach Pflanzverfahren und Baumart bestätigte diese Ergebnisse:

⁴ Zum Teil sehr flach unterschritten, starker Verschulknick, fehlende Feinwurzeln etc.

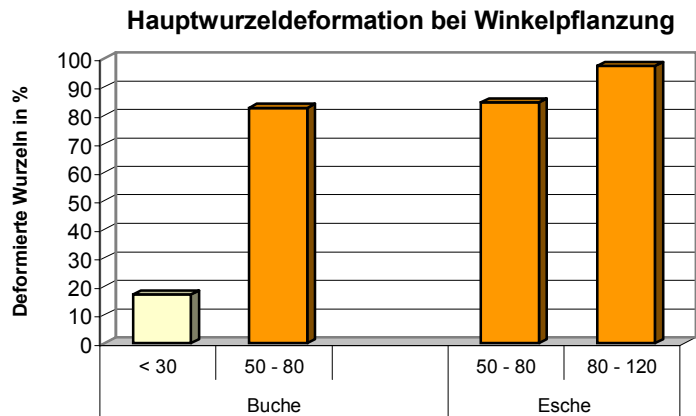


Abb. 47: Hauptwurzeldeformationen bei 10-jähriger Buche und Eiche (Winkelpflanzung) nach Sortimentsgröße.

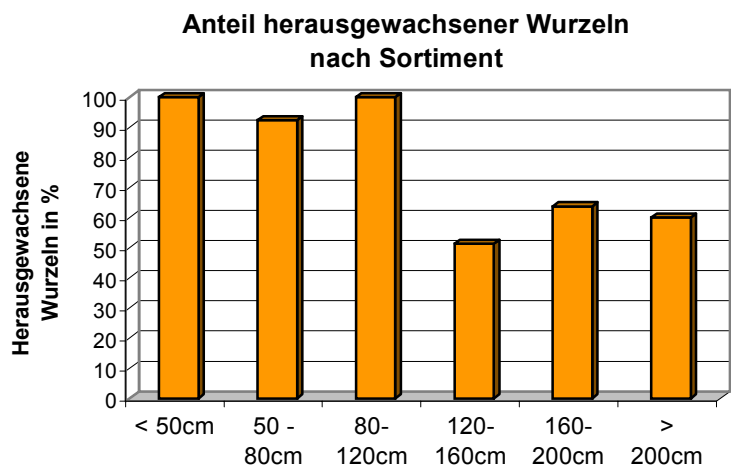
Kleine Sortimente wurden schwächer deformiert als große. Die Esche besaß generell zu große Wurzeln für die Winkelpflanzung.

Analog zu den Wurzeldeformationen erhöhte sich mit steigender Sortimentsgröße der Flachwurzelanteil, während Pfahlwurzeln seltener wurden. Die Tiefenerschließung verschlechterte sich zunehmend, es kam zu einer Verflachung des gesamten Wurzelsystems.

Bei den Lochpflanzverfahren (Hohlspaten, Bohrverfahren) blieben die seitlichen Wurzeln großer Sortimente häufiger im Pflanzloch konzentriert (**Blumentopfeffekt**). Bis zum Sortiment 80 – 120 cm hatten nahezu alle Wurzeln das ursprüngliche Pflanzloch verlassen, bei größeren Sortimenten nur noch die Hälfte bis zwei Drittel.

Abb. 48: Auswachsen der Wurzeln aus dem Pflanzloch (10-jährig) nach Sortimentsgröße.

Ab Sortimentsgröße 120 cm nahm der Anteil der herausgewachsenen Wurzeln („Blumentopfeffekt“, siehe auch S. 28) sprunghaft ab.



Große Sortimente litten in den ersten Jahren unter einem starken **Pflanzchock**. Ab 1995 konnten die Großpflanzen ihre Wuchsdepression überwinden und verzeichnen nun z.T. bessere Zuwächse als die Kleinpflanzen.

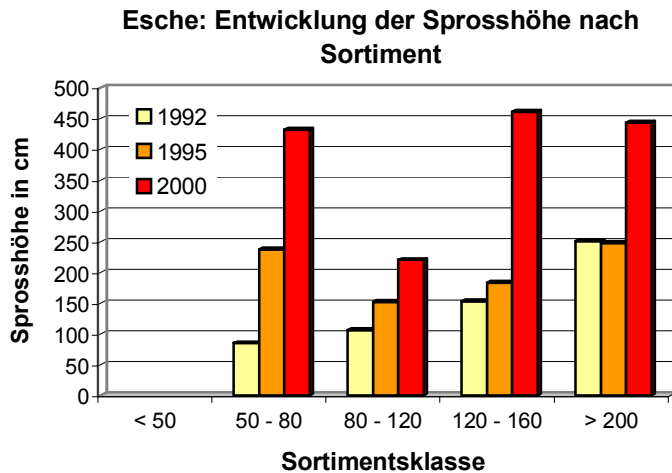


Abb. 49: Sprosshöhe 1992 bis 2000 bei verschiedenen Sortimenten am Beispiel der Esche.

Sortimente über 120 cm hatten zwischen 1992 und 1995 nur einen geringen Zuwachs.

Fazit Sortimente:

- Die Wurzeln der kleineren Sortimente (< 80 cm) erschlossen den Wurzelraum besser in die Tiefe und waren deutlich weniger deformiert als diejenigen der größeren Sortimente.
- Kleinere Sortimente wuchsen fast vollständig aus dem ursprünglichen Bohrloch hinaus, Großpflanzen dagegen nur zur Hälfte bis zu zwei Drittel.
- ➔ **Beim Einsatz von Großpflanzen muss eine genaue Abwägung zwischen dem erhöhten Deformationsrisiko und den erwarteten Vorteilen stattfinden.**
- ➔ **Sortimente über 120 cm sollten nicht als Standardsortimente verwendet werden.**

4.4 Der Wurzelschnitt

Vor der Pflanzung wurde auf allen Flächen ein teilweise starker Wurzelschnitt durchgeführt. An den Großpflanzen ließ sich dieser manchmal nicht mehr vom Aushebeschnitt durch die Baumschule unterscheiden. Unabhängig von der Ursache des Wurzelschnitts ist aber von Interesse, ob ein Beschneiden der Wurzeln langfristig erkennbar bleibt und wie es sich auf das Wurzel- und Sprosswachstum ausgewirkt hat.

4.4.1 Erkennbarkeit des Wurzelschnitts

Bei der Erstaufnahme im Jahre 1992 ließ sich ein Wurzelschnitt an fast allen Wurzeln erkennen, bei der Wiederholungsaufnahme 1995/96 an durchschnittlich 39 %. 10 Jahre nach der Pflanzung war ein Wurzelschnitt noch an 10 % der Wurzeln festzustellen.

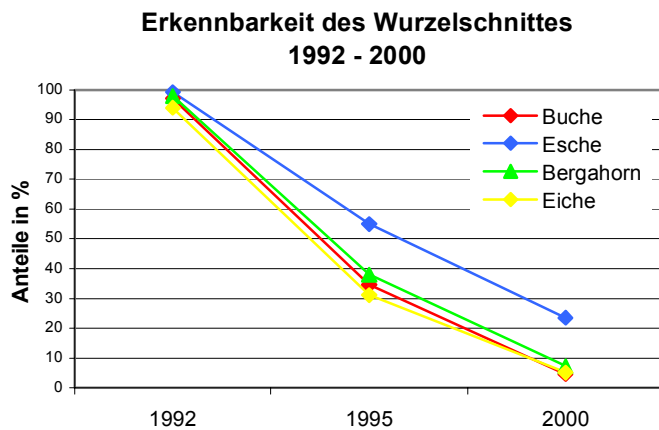


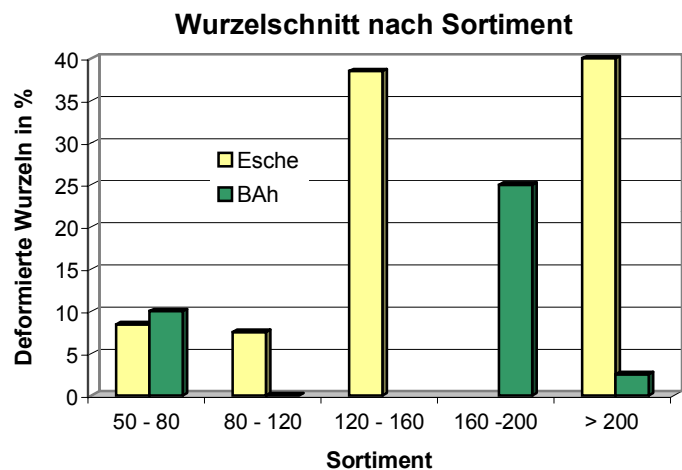
Abb. 50: Erkennbarkeit eines Wurzelschnittes von 1992 - 2000.

Die Erkennbarkeit ging im Beobachtungszeitraum von 94 % über 39 % auf 10 % zurück. Nur die Wurzeln der Esche regenerierten sich deutlich langsamer.

Deutliche Unterschiede traten zwischen den **Sortimentsgrößen** auf. Ab dem Sortiment 120 cm erhöhte sich der Anteil der Wurzeln mit noch erkennbarem Wurzelschnitt sprunghaft. Dies ist vor allem auf die großen Durchmesser der beschnittenen Wurzeln zurückzuführen.

Abb. 51: Erkennbarkeit des Wurzelschnittes (10-jährig) nach Sortiment.

Ab einer Pflanzengröße von 120 cm war der Wurzelschnitt an Esche und Bergahorn nach 10 Jahren noch häufig zu erkennen.



4.4.2 Folgen des Wurzelschnitts

Umfang und Stärke der **Wurzeldeformationen** wurden durch einen Wurzelschnitt nicht nachweisbar beeinflusst.

Das **Wurzel- und Sprosswachstum** hingegen war bei allen Laubbäumen, an denen ein Wurzelschnitt noch zu erkennen war, stark eingeschränkt. Im Nachhinein lässt sich allerdings nicht mehr feststellen, ob ein besonders kräftiger Wurzelschnitt zu diesem Wachstumsrückgang geführt hat oder ob der Wurzelschnitt wegen der geringen Vitalität der Bäume noch zu erkennen war.

Abb. 52: Extremer Wurzelschnitt an 11-jähriger Eiche.

Keine Regeneration, die Pflanze kümmerle.

Fazit Wurzelschnitt:

- Noch 10 Jahre nach der Pflanzung war der Wurzelschnitt an jeder zehnten Pflanze zu erkennen, ab dem Sortiment 120 cm an jeder vierten.
- Die Esche reagierte besonders empfindlich auf Wurzelschnitt.
- ➔ **Der Wurzelschnitt sollte zurückhaltend geführt werden. Starke Wurzeln sollten nie, Eschen besonders vorsichtig beschnitten werden.**



4.5 Der Standort

Bei Naturverjüngung oder Saat sind allein natürliche Ursachen für Wurzelwachstum und -verkrümmungen verantwortlich. Hier beeinflusst der Standort Wurzeltiefe und -richtung nachweisbar. Wie auch aus anderen Untersuchungen bekannt, sind **Wurzel- und Sprosswachstum** von Naturverjüngung/Saat auf lockeren, sandigen Lehmen intensiver als auf verdichteten Tonböden. Auch in unseren Untersuchungen erreichten die gesäten Eichen auf den gut durchlüfteten Böden eine um 14 cm größere Wurzeltiefe als auf den verdichteten Standorten. Die bessere Durchlüftung scheint eine Nährstoff- und Wasseraufnahme zu erleichtern und das Wachstum zu fördern.

Die geringere Wurzeltiefe bedeutet aber nicht, dass die Eichen verdichtete Bodenschichten nicht erschließen können. Sie sind allerdings wegen der ungünstigen Standortbedingungen bisher langsamer gewachsen. Der hohe **Pfahlwurzelanteil** gerade auf wechselfeuchten Standorten belegt die hohe Wurzelenergie der Eichen.

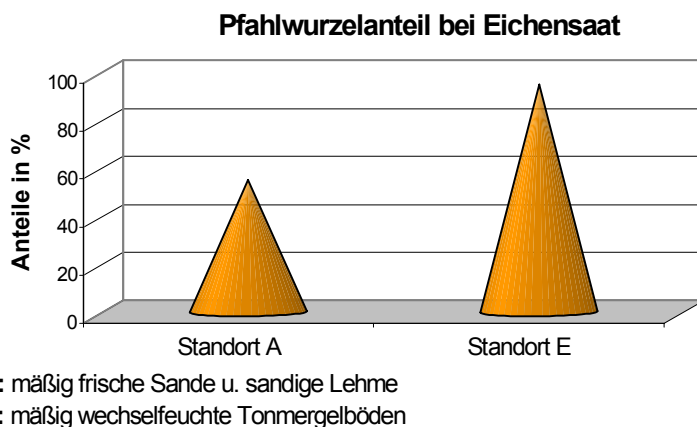


Abb. 53: Pfahlwurzelanteil einer 10-jährigen Eichensaat.

Auf wechselfeuchten Tonmergelböden bildete die Eiche sogar häufiger eine Pfahlwurzel aus als auf den (skeletthaltigeren) Sanden und Lehmen.

In vielen Wurzeluntersuchungen wird beschrieben, dass **Wurzeldeformationen** auf Sanden und skeletthaltigen Böden häufiger auftreten als auf dichtem Ton. Zunehmende Korngröße und steigender Skelettgehalt spielen damit eine größere Rolle als die Bodenverdichtung (KÖSTLER ET AL. 1968, SCHMITZ und GROH 1984). Diese Ergebnisse lassen sich auch durch unsere Untersuchungen bei Naturverjüngung/Saat bestätigen:

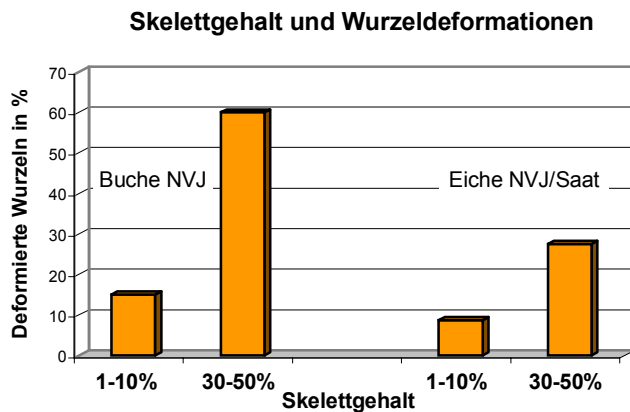


Abb. 54: Einfluss des Skelettgehalts auf die ausgeprägt bis extremen Wurzeldeformationen von 10-jähriger Naturverjüngung.

Mit zunehmendem Skelettgehalt stiegen (hier auf mäßig frischen Sanden und sandigen Lehmen) die Deformationen erheblich an.

Der Einfluss des Standorts auf Wurzelentwicklung und -deformationen dagegen wurde bei der Pflanzung durch Pflanzverfahren, Sortiment und Wurzelschnitt überlagert (siehe auch Abb. 16, S. 13). Nur auf Extremstandorten oder bei fehlender Standorteignung der Baumarten spielte der Standort eine entscheidende Rolle für die Wurzelentwicklung.

Fazit Standort:

- Bei NVJ/Saat wurden die - selteneren und schwächeren - Deformationen im wesentlichen durch den Standort verursacht. Mit zunehmendem Skelettgehalt verstärkten sich die Deformationen, eine Bodenverdichtung blieb ohne nachweisbare Auswirkungen.
- Bei Pflanzung beeinflussten Pflanzverfahren, Sortiment oder Pflanzqualität die Wurzelentwicklung weitaus stärker als der Standort. Problemstandorte allerdings schienen eine ungünstige Wurzelentwicklung zu verstärken bzw. die Regenerationsfähigkeit zu verringern.

→ **Stärkere Deformationen wurden nur selten durch den Standort verursacht.**

4.6 Die Baumart

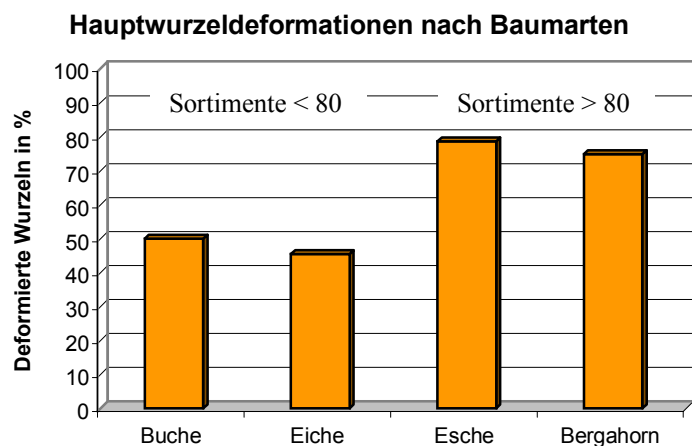
Für Buche und Eiche wurden überwiegend Sortimente < 80 cm und als Pflanzverfahren das Buchenbühler Verfahren, der Hohlspaten und die Winkelpflanzung verwendet. Bei Esche und Bergahorn dominierten Sortimente > 80 cm, die mit Winkelpflanzung und Bohrverfahren gesetzt wurden. Verglichen werden deshalb Buche mit Eiche sowie Esche mit Bergahorn in ihrem Einfluss auf das Ausmaß von Wurzeldeformationen und deren Regeneration. Die untersuchten Laubbäume unterschieden sich unter anderem:

- in ihrem Spross- und Wurzelwachstum,
- in ihrem Anteil an deformierten Wurzeln,
- in ihrem Regenerationsvermögen (der Wurzeldeformationen) und
- in ihrer Reaktion auf den Standort.

Eine Deformation von Hauptwurzeln als wichtigster Weiser für die Beeinträchtigung der Tiefenwurzeln trat jeweils bei Eiche und Buche bzw. Esche und Bergahorn in vergleichbarem Umfang auf.

Abb. 55: Ausgeprägt bis extreme Hauptwurzeldeformationen (10-jährig) der untersuchten Baumarten.

Bei Esche/Bergahorn waren über drei Viertel aller Hauptwurzeln deformiert, bei Buche/Eiche jede zweite.



4.6.1 Buche

Die Häufigkeit der Wurzeldeformationen bei Buche (siehe Abb. 15 auf Seite 12) verringerte sich in den letzten 5 Jahren um ein Zehntel. Ihr **Regenerationsvermögen** war damit etwas schlechter als das der Eiche, jedoch deutlich besser als bei den Großpflanzen der Edellaubbäume. Zehn Jahre nach der Pflanzung wies jede zweite Buche ausgeprägt bis extrem deformierte Hauptwurzeln auf.

Die geringe Wurzeltiefe der Buche von durchschnittlich 40 cm lässt sich daher zum einen durch die Wurzeldeformationen erklären. Zum anderen besitzt die Buche nach KÖSTLER ET AL. 1968 allgemein keine ausgeprägte Neigung, die Wurzel tief im Boden zu verankern. Dadurch nimmt die Wurzeltiefe langsamer zu als bei den anderen untersuchten Baumarten.

Trotz der relativ geringen Wurzeltiefe war das Verhältnis zur Sprossstärke (in Abb. 56 als Wurzelhalsdurchmesser dargestellt) ausgewogen, was auf eine gute Standfestigkeit der Buchen hinweist.

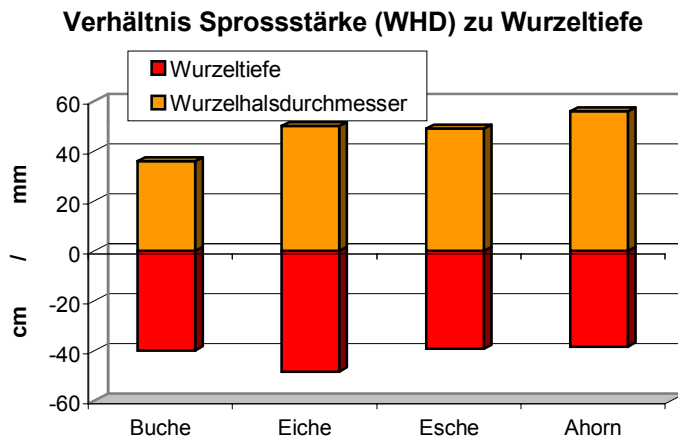


Abb. 56: Verhältnis Sprosstärke (Wurzelhalsdurchmesser [WHD]) zu Wurzeltiefe.

Die Buche wies ein schlechteres Verhältnis als Eiche, aber ein besseres Verhältnis als Bergahorn und Esche auf.

Auf **Standort**unterschiede reagiert die Buche nach KÖSTLER ET AL. 1968 auffällig. Dichte, schwere und schlecht durchlüftete Böden durchwurzelt sie ausgesprochen flach und bildet gekrümmte Wurzelformen aus. Auch in unserer Untersuchung war die Wurzeltiefe der gepflanzten Buchen auf einem wechselfeuchten Schluff-Feinlehm um durchschnittlich ein Drittel reduziert. Zwar spielte hier die Pflanzqualität (viele Stauchungen und Hauptwurzeldeformationen) die entscheidende Rolle, der ungeeignete Standort schien aber die schlechte Wurzelentwicklung zu verstärken, bzw. eine Regeneration zu verlangsamen.

4.6.2 Eiche

Die Wurzelenergie der Eiche ist beeindruckend. In Verbindung mit den verwendeten kleinen Sortimenten wies sie das beste Wurzelwachstum aller untersuchten Baumarten auf. Die von KÖSTLER ET AL. (1968) nach 5 Jahren festgestellten Wurzeltiefen von 100 cm konnten wir jedoch in unserer Untersuchung selbst bei 10-jähriger Naturverjüngung oder Saat nur selten feststellen.

Die Eiche besaß von den vier untersuchten Baumarten das beste Regenerationsvermögen. Vor allem bei Winkelpflanzung waren die Verkrümmungen dennoch deutlich zu erkennen. Insgesamt wies 10 Jahre nach der Pflanzung immer noch jede zehnte Eiche extreme Wurzeldeformationen auf. Eine langfristige Beeinträchtigung der Stabilität ist aber gerade bei der Baumart Eiche nicht akzeptabel, da diese hauptsächlich wegen ihrer stabilisierenden Wirkung auf die Windwurf- flächen gepflanzt wurde.

Bei einer ungestörten Wurzelentwicklung erschließt die Eiche auch verdichtete Böden sehr gut in die Tiefe. So besaßen gesäte Eichen auf einem verdichteten Standort sogar häufiger eine Pfahlwurzel als auf einem sandigen Substrat mit höherem Skelettgehalt (siehe Abb. 53 auf Seite 36). Insgesamt bildeten über drei Viertel aller natürlich verjüngten Pflanzen eine Pfahlwurzel aus, während bei den gepflanzten Bäumen die Herzwurzel dominierte (siehe Abb. 54 auf Seite 37). Die für die Tiefenerschließung wichtige Pfahlwurzel ging durch unsachgemäße Pflanzenanzucht/Pflanzung meist verloren.

4.6.3 Esche

Die Wurzeln der Esche (Sortimente über 80 cm) wiesen von allen Baumarten das geringste Regenerationsvermögen auf. Eine Abnahme der Deformationen ließ sich lediglich bei Naturverjüngung beobachten. Auch der Wurzelschnitt war noch an einem Viertel der Wurzeln zu erkennen. Damit reagieren die Eschen anscheinend besonders empfindlich auf Störungen wie

- starke Wurzelkappungen bei der Anzucht von Großpflanzen,
- Verschulknicke durch unsachgemäße Pflanzenanzucht,
- Verformungen durch unsachgemäße Pflanzung oder
- einen starken Wurzelschnitt.

Als Konsequenz erschlossen die untersuchten Eschen den Wurzelraum nur sehr schlecht in die Tiefe:

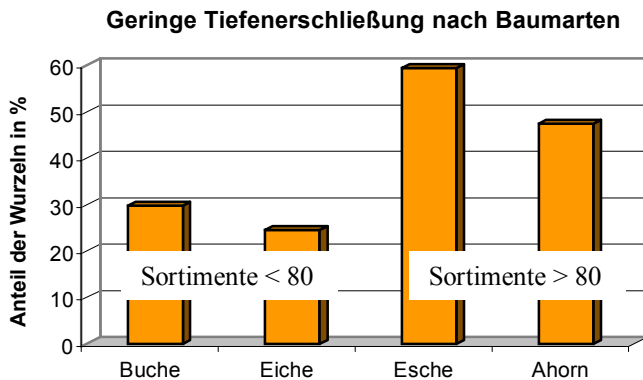


Abb. 57: Anteil der Bäume (10-jährig) mit geringer Tiefenerschließung (Kategorie „keine“ und „beginnende“ Tiefenerschließung).

Bei Esche wiesen über die Hälfte aller untersuchten Wurzeln eine geringe Tiefenerschließung auf.

Über die Hälfte der Eschen wiesen nur eine geringe Tiefenerschließung auf. Eine künftige Beeinträchtigung der Bestandesstabilität ist damit nicht auszuschließen, eine Verwendung von Großpflanzen bei Esche besonders kritisch zu beurteilen.

4.6.4 Bergahorn

Der Bergahorn wird von KÖSTLER ET AL. 1968 zu den Baumarten mit schwacher mechanischer Wurzelenergie gerechnet. Die geringe Wurzeltiefe und die überwiegend unzureichende Erschließung des Wurzelraums aus unseren Untersuchungen unterstreichen diese Beobachtungen. Veränderungen der Wurzel durch Pflanzenanzucht und Pflanzung kann der Bergahorn anscheinend nur schwer ausgleichen. Sein Regenerationsvermögen war wie dasjenige der Esche sehr gering. Nur die Naturverjüngung ließ einen Rückgang der Wurzelverformungen erkennen.

Als Wurzelbild dominierte beim gepflanzten Ahorn die Herzwurzel (mit einem hohen Anteil an Flachwurzeln), bei Naturverjüngung hingegen die Pfahlwurzel. Auf unseren Untersuchungsflächen wurde damit durch Pflanzenanzucht/Pflanzung eine Pfahlwurzelbildung verhindert.

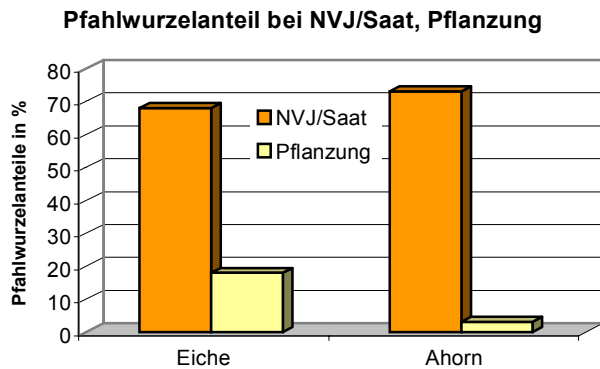


Abb. 58: Häufigkeit der Pfahlwurzel bei Naturverjüngung und Pflanzung.

Der Pfahlwurzelanteil ging bei den Pflanzungen sehr stark zurück. Eine Regeneration der Pfahlwurzel ist unwahrscheinlich, da diese meist irreversibel umgebogen wurde.

Der Standort beeinflusst nach KÖSTLER ET AL. 1968 die Wurzelentwicklung des Bergahorn deutlich. Bereits mäßig dicht gelagerte Böden führen zu einer Verflachung des ohnehin flach angelegten Wurzelsystems. Besonders Grundwasserstandorte werden nur bis in den Bereich des höchsten Grundwasserstandes erschlossen.

Ähnliche Beobachtungen machten wir bei Wurzelgrabungen auf feuchtem Tonschlufflehm. Fast alle ausgegrabenen Bergahorne wurzelten nur im Oberboden und waren extrem deformiert. Primär war die schlechte Wurzelentwicklung auf die Pflanzung der großen Sortimenten (60 – 100 cm) mit der Winkelpflanzung zurückzuführen. Wie der hohe Anteil an gestauchten Wurzeln zeigt, wurde das große Wurzelwerk durch die Winkelpflanzung zwangsläufig stark deformiert. Allerdings wurzelten alle Ahorne so oberflächlich, dass der Standort die Wurzelentwicklung wahrscheinlich zusätzlich beeinträchtigt hat. Wie bereits bei der Buche erwähnt, scheinen Problemstandorte eine schlechte Wurzelentwicklung zu verstärken bzw. eine Regeneration zu verlangsamen.

Fazit Baumarten:

- Die Baumart scheint die Ausprägung der Wurzeldeformationen nicht wesentlich zu beeinflussen. Nur die Eiche besitzt ein überdurchschnittliches Regenerationspotential.
- Bei den Pflanzungen wiesen Esche und Bergahorn überdurchschnittlich starke Wurzeldeformationen und eine geringe Regenerationsfähigkeit auf. Die Ursachen liegen weniger in der Baumart als in den verwendeten Sortimenten und Pflanzverfahren begründet.

4.7 Pflanzqualität

Die Verwendung kleiner und qualitativ hochwertiger Pflanzensortimente, die Auswahl eines an die Wurzelgröße angepassten Pflanzverfahrens und ein sachgerechter Wurzelschnitt bleiben wirkungslos, wenn nicht sorgfältig gepflanzt wird. Wie groß die Unterschiede zwischen einer besonders sorgfältigen Pflanzung und einer schlechten Pflanzung sein können, zeigt eindrucksvoll der Vergleich von zwei mit Bohrverfahren gepflanzten Eichenflächen unter vergleichbaren Standortbedingungen:

- Mit einer sorgfältigen Pflanzung ließen sich die für die Stabilität so problematischen extremen Wurzeldeformationen vermeiden. Insbesondere Stauchungen - als eindeutige Weiser für eine schlechte Pflanzqualität - waren kaum vorhanden.
- Selbst bei der sehr sorgfältigen Pflanzung wurden die Wurzeln deformiert. Die Wurzelentwicklung ist aber akzeptabel, da keine der Wurzeln extrem deformiert wurde und „nur“ jede fünfte stark.

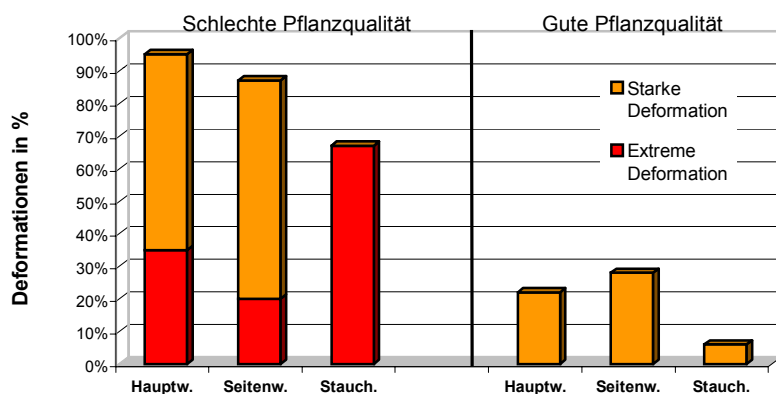


Abb. 59: Pflanzqualität bei Bohrverfahren.

Die besonders sorgfältig gepflanzten Eichen wiesen keine extremen Deformationen und kaum Stauchungen auf. Auf der Vergleichsfläche waren dagegen zwei Drittel aller Wurzeln extrem gestaucht.

Fazit Pflanzqualität:

Durch eine fachgerechte Pflanzung konnten

- Häufigkeit und Ausprägung der Wurzeldeformationen drastisch verringert und
- die für die Stabilität sehr negativen extremen Wurzeldeformationen vollständig vermieden werden.

→ **Mit einer fachgerechten Pflanzung kann eine Wurzelentwicklung erzielt werden, die eine gute Stabilität der Bäume erwarten lässt.**

5 Empfehlungen

Wie lassen sich Wurzeldeformationen vermeiden?

Wurzeldeformationen beeinträchtigen langfristig die Bestandesstabilität.

- Deformationen verringerten zum Teil dramatisch die Durchwurzelung des Bodens.
- Die Durchwurzelungstiefe der mit Winkelpflanzung gesetzten Bäume war auf den Untersuchungsflächen selbst nach 30 Jahren noch deutlich reduziert.

Bäume mit deformierten Wurzeln ließen sich oberirdisch nicht erkennen und damit nicht im Zuge der Pflege entnehmen.

Die Forstbetriebe müssen deshalb alle Möglichkeiten nutzen, Wurzeldeformationen zu vermeiden.

Einige der folgenden Empfehlungen werden bereits bekannt sein, die Erklärungen sollen aber zeigen, wie gravierend sich Fehler bei der Pflanzung auswirken.

Empfehlung 1:

Bestände - wo immer möglich - natürlich oder durch Saat verjüngen

Warum?

Bei natürlich verjüngten oder gesäten Pflanzen ist die Sicherheit hoch, dass keine starken Wurzelverformungen auftreten. Wird dagegen nicht sachgerecht und sorgfältig gepflanzt, treten häufig extreme Deformationen auf, die die Bestandesstabilität besonders stark beeinträchtigen.



Naturverjüngung Buche



Saat Eiche



Unsachgem. Pflanzung Eiche

*Ungestörte Wurzelentwicklung bei Naturverjüngung und Saat.
Die Wurzeln drängen in die Tiefe.*

Einseitige, flache Wurzeln durch unsachgemäße Pflanzung, seit 10 Jahren kein Wachstum in die Tiefe.

Deshalb:

Mit der natürlichen Verjüngung genetisch geeigneter Altbestände aus standortgemäßen Baumarten lässt sich eine gute Wurzelentwicklung besonders einfach und kostengünstig erzielen.

- **Wo möglich, Naturverjüngung oder Saat der Pflanzung vorziehen.**

Fehlen standortgerechte Baumarten bzw. gewünschte Mischbaumarten oder verhindert eine starke Vergrasung das Aufkommen von Naturverjüngung/Saat, muss gepflanzt werden.

Stabil werden gepflanzte Bäume aber nur, wenn sehr sorgfältig und wurzelschonend gepflanzt wird. Worauf muss nun besonders geachtet werden?

Empfehlung 2: Pflanzverfahren nach der Wurzelgröße auswählen

Warum?

Nur in einem ausreichend tiefen und breiten Pflanzloch/-spalt können die Wurzeln zufriedenstellend wachsen. Entscheidendes Auswahlkriterium für ein Pflanzverfahren ist die Wurzelgröße.



Wurzeln dieser Größe (Wurzellänge 24 cm, Wurzelbreite 15 cm) werden bei Winkelpflanzung mit hoher Wahrscheinlichkeit extrem deformiert.

Deshalb:

- **Das Pflanzverfahren wird nach der Wurzelgröße ausgewählt und nicht die Wurzelgröße dem Pflanzverfahren angepasst.
Die Sprosslänge ist kein Auswahlkriterium, da die Wurzelausformung je nach Baumart und Anzuchtmethode stark variieren kann.**
- **Es gibt kein Pflanzverfahren, das allen Verhältnissen gerecht wird.¹ Jeder Pflanzler muss deshalb mehrere Pflanzverfahren gut beherrschen und das für die jeweiligen Sortimente geeignete auswählen.**

¹ Charakterisierung der verschiedenen Pflanzverfahren siehe LWF-Merkblatt Nr. 4a „Sorgfalt entscheidet über Pflanzenerfolg!“

Welches Pflanzverfahren passt zu welcher Wurzel:

Pflanzverfahren	Baumart	Wurzellänge [cm]	Wurzelbreite [cm]	Skelett-/Wurzelanteil im Boden	Sprosslänge [cm]
Standardverfahren					
Buchenbühler Pflanzverfahren	Laubbäume, Kiefer, Lärche	bis 22	bis 11	Durchschnitt	30 – 50
Rhodener Verfahren	Nadelbäume Laubbäume	bis 25	bis 20	kann hoch sein	50 – 120
Hohlspaten-Pflanzung	Nadelbäume Laubbäume	bis 22 (30) ²	bis 18 (25)	darf nur gering sein	50 – 100 (140)
Lochpflanzung mit Erdbohrer	Nadelbäume Laubbäume	bis 35	bis 25	Gering bis Durchschnitt	120 – 150
Sonderverhältnisse					
Winkelpflanzung	Fichte	bis 15 (!)	bis 11	Durchschnitt	25 - 50
Lochpflanzung mit Anbaugerät	Nadelbäume Laubbäume	bis 35	30 (- 40)	Gering bis Durchschnitt	bis 200

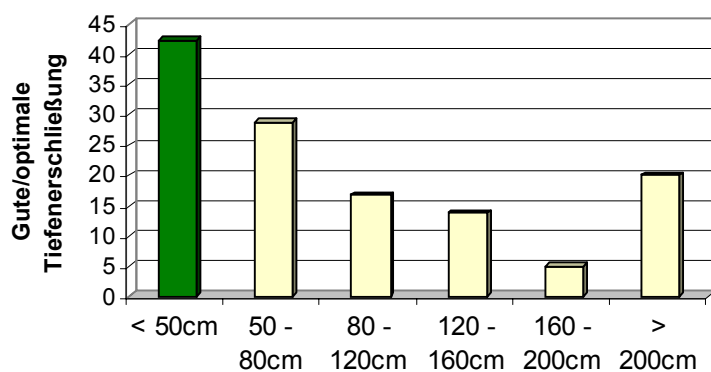
Empfehlung 3:

Kleine Pflanzsortimente verwenden

Warum?

Je kleiner Sie die Pflanzen wählen, desto weniger Wurzeln werden bei der Pflanzenanzucht beschnitten und desto geringer ist das Risiko von Wurzeldeformationen durch unsachgemäßes Pflanzen.

Tiefenerschließung nach Sortimentgröße



Anteil der Wurzeln mit guter/optimaler Tiefenerschließung 10 Jahre nach der Pflanzung.

Sortimente über 80 cm erschließen den Wurzelraum deutlich schlechter in die Tiefe als kleinere Sortimente.

² Lochpflanzung mit großem Hohlspaten statt Propf-Pflanzung

Deshalb:

- **Möglichst kleine Sortimente verwenden.**
- **Sortimente über 120 cm nur für waldbauliche Sondersituationen (wie z.B. extreme Verwilderung) einsetzen.**
- **Bei Verwendung von Großpflanzen**
 - sich das hohe Risiko einer schlechten Wurzelentwicklung bewusst machen,
 - auf die Pflanzenqualität und sorgfältige Pflanzung besonderen Wert legen,
 - Bohrerdurchmesser größer 20 cm wählen.

**Empfehlung 4:
Qualitativ hochwertige Pflanzen verwenden**

Warum?

Der Grundstein für eine gute Wurzelentwicklung wird in der Pflanzschule gelegt. Verkrümmte oder verletzte Wurzeln, fehlende Feinwurzeln sowie ein Verschulknick beeinträchtigen das Wurzelwachstum der Pflanzen langfristig.



Eichenwurzel vor der Pflanzung Der Verschulknick ist deutlich zu erkennen.



Gleiche Wurzel 5 Jahre nach der Pflanzung: Der Wurzelknick hat sich verstärkt, es wächst nur eine dünne Wurzel in die Tiefe.

Deshalb:

- **Gekaufte Pflanzen, die nicht den Qualitätsanforderungen entsprechen, zurückweisen.**
- **Wildlinge streng nach ihrer Wurzelausformung aussortieren.**

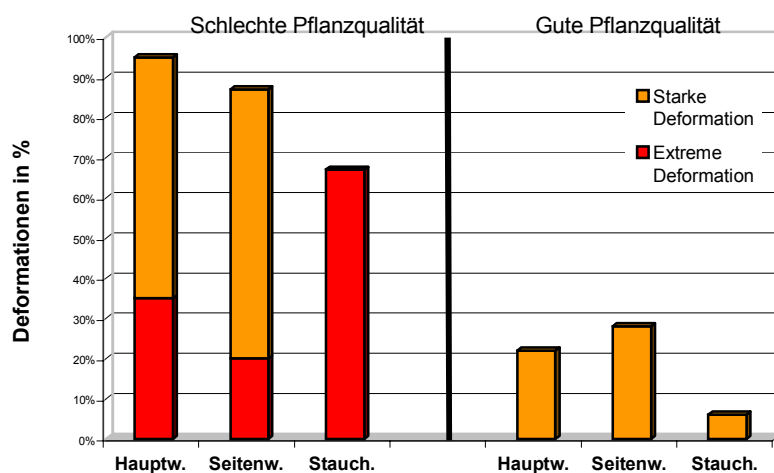
Empfehlung 5: Pflanzverfahren richtig anwenden, sorgfältig pflanzen

Warum?

Das beste Pflanzverfahren ist nur so gut wie seine Anwendung.

- Auch bei leicht erlernbaren Verfahren wie z.B. dem Hohlspaten können viele Fehler gemacht werden, die zu Wurzeldeformationen führen.
- Viele Pflanzfehler sind auch nach 10 Jahren noch eindeutig zu erkennen.

Mit einer sorgfältigen Pflanzung lassen sich die besonders kritisch zu beurteilenden extremen Deformationen vollständig vermeiden und die Häufigkeit aller Deformationen deutlich senken.



Untersuchungen zeigen:

Besonders sorgfältig gepflanzte Wurzeln weisen keine extremen Deformationen auf.

Dagegen sind zwei Drittel aller Wurzeln der Vergleichsfläche mit schlechter Pflanzqualität extrem gestaucht (Hinweis auf zu geringe Lochtiefe oder unterlassenes Hochziehen).

Häufigste und gravierendste Fehler bei der Pflanzung sind die zu geringen Pflanzloch- und Pflanzspalttiefen, sowie ein unzureichendes Hochziehen vor dem Schließstich und Festtreten. Dadurch werden die Hauptwurzeln umgebogen und wachsen nicht mehr in die Tiefe.

Deshalb:

- **Pflanzverfahren richtig anwenden. Für alle Pflanzverfahren gilt:**



Ausreichende Pflanzloch-/Pflanzspalttiefe:

Maximale Wurzellänge der Pflanze plus ca. 5 cm, um durch ein Hochziehen die Wurzeln ausrichten zu können.



Pflanze vor Schließstich und Festtreten immer hochziehen.

- **Pflanzverfahren intensiv schulen.**
- **Pflanzqualität verstärkt beachten und von den Pflanzern einfordern.**
- **Ungelernte Arbeitskräfte nicht mit Pflanzungen beschäftigen.**
- **Auf Sorgfalt setzen, weniger auf Schnelligkeit:**

Der Mehraufwand für eine sorgfältige Pflanzung wird durch geringere Ausfälle und eine höhere Betriebssicherheit (gute Verankerung durch die Wurzeln) um ein Vielfaches aufgewogen.

Empfehlung 6:

Wurzelschnitt maßvoll und sachgerecht durchführen

Warum?

Ein Wurzelschnitt ließ sich nach 10 Jahren noch an jeder zehnten Pflanze festzustellen. Im Vergleich zu Pflanzen ohne erkennbaren Wurzelschnitt war die Wurzeltiefe um ein Drittel reduziert. Der Wurzelschnitt darf deshalb nicht zu stark geführt werden.

Aber: Ein vollständiges Unterlassen kann trotz sorgfältiger Pflanzung zu Wurzeldeformationen führen. Es ist deshalb notwendig, überlange Seitenwurzeln und die Spitze der Tiefenwurzeln bis 1 mm (bei Großpflanzen bis 3 mm) Stärke abzuschneiden, da diese Wurzeln selbst bei sorgfältiger Pflanzung deformiert würden.

Deshalb:

- **Den Wurzelschnitt nicht dazu verwenden, die Wurzeln für ein ungeeignetes Pflanzverfahren zurechtzustutzen.**
- **Überlange Wurzeln besser abschneiden als deformieren (ein geeignetes Pflanzverfahren vorausgesetzt).**
- **Tiefenwurzeln an der Spitze bis zu einem Wurzeldurchmesser von max. 1 mm einkürzen (Großpflanzen 3 mm).**



Wurzelschnitt an:

- *beschädigten Wurzeln*
- *Wurzeln, die sich auch bei sorgfältiger Pflanzung umbiegen würden:*
 - *Überlange Seitenwurzeln oder*
 - *Spitzen der Tiefenwurzeln bis 1 mm Stärke (bei Großpflanzen bis 3 mm).*

Empfehlung 7: Qualitätskontrollen und Wurzelgrabungen regelmäßig durchführen

Warum?

Die Bestandsbegründung gehört zu den anspruchsvollsten Betriebsarbeiten und wirkt sich sehr langfristig aus.

Deshalb:

- **Für die Pflanzarbeiten einen Verantwortlichen benennen.**
- **Die Pflanzarbeiten auch bei hoher Arbeitsbelastung regelmäßig überwachen.**
- **Stichprobenartige Wurzelgrabungen:**
 - gemeinsam mit den Pflanzern direkt nach der Pflanzung sowie nach mehreren Jahren durchführen.
 - die Lage der Wurzel sowie die Verfüllung des Pflanzloches mit Erde beurteilen. Die Kontrolle auf festen Sitz der Pflanze oder das Anwuchsprozent allein sind für die Beurteilung der Pflanzqualität nicht ausreichend.

6 Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität?

Pflanzung ist in vielen Fällen erforderlich, um einen stabilen und ertragreichen Wald zu begründen. Auf den Sturmkahlflächen steht die Stabilität der Bestände dabei besonders im Vordergrund. Bei ersten Wurzelgrabungen in den 80er Jahren wurden stark deformierte Wurzeln gefunden, so dass Zweifel an der Stabilität dieser gepflanzten Bäume laut wurden.

Seit 1991 untersuchte die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) über ganz Bayern verteilt mehr als 7500 Wurzeln, davon 138 Bäume mit einem Alter von 30 Jahren und älter. Auf 52 Versuchsflächen wurden 3 Wurzelgrabungen im vierjährigen Abstand durchgeführt, um die Entwicklung von Wurzeldeformationen zu verfolgen.

Zahlreiche Diskussionen mit Wissenschaftlern, Arbeitslehrern und Praktikern¹ führten zu weiteren Wurzeluntersuchungen (Bohrverfahren, Rhodener Verfahren, langfristige Auswirkungen von Wurzeldeformationen).

Im vorliegenden Bericht werden die wichtigsten Ergebnisse aus 10 Jahren Wurzelforschung der LWF mit den Erkenntnissen aus anderen Untersuchungen in knapper Form aufbereitet und Empfehlungen für die Umsetzung der neuen Erkenntnisse im Forstbetrieb gegeben.

Erfordern Wurzeldeformationen Maßnahmen durch den Forstbetrieb?

◆ Auswirkungen der Deformationen auf Wachstum und Stabilität

- Wurzeldeformationen verringern die Wurzeltiefe und behindern die Erschließung des Wurzelraumes in die Tiefe.
 - ➔ Die Bestandesstabilität wird langfristig beeinträchtigt.
- Am Sprosswachstum der Bäume lässt sich die Wurzelausbildung nicht erkennen.
 - ➔ Eine Förderung gut bewurzelter Bäume bzw. ein Heraushauen von Bäumen mit Wurzeldeformationen im Zuge der Pflege ist nicht möglich.

◆ Häufigkeit und Ausmaß der Wurzeldeformationen

- Über drei Viertel der Wurzeln wurden durch unsachgemäße Pflanzung deformiert.
- Jede fünfte Wurzel war so stark deformiert, dass sie nicht mehr in die Tiefe wuchs.

◆ Regeneration von Wurzeldeformationen

- Die Zahl der Wurzeldeformationen verringerte sich bis zum Alter von 10 Jahren nur unwesentlich. Extreme Deformationen verhinderten bis zu diesem Zeitpunkt jegliches Wurzelwachstum in die Tiefe.
- Auch nach 40 Jahren war die Durchwurzelung des Bodens reduziert, wenn nicht wurzelschonend gepflanzt wurde (insbesondere bei Winkelpflanzung).

¹Workshop 1997, Fortbildungen, Vorträge, Präsentationen auf Messen wie der Interforst, KWF-Tagung.

◆ **Schlussfolgerung**

Wurzeldeformationen als Folge von unsachgemäßer Pflanzung beeinträchtigen langfristig die Bestandesstabilität. Die Forstbetriebe sollten alle Möglichkeiten nutzen, um Wurzeldeformationen zu vermeiden.

Wodurch werden Wurzeldeformationen verursacht?

◆ **Pflanzung**

- „Störungen“ wirken sich bei Naturverjüngung und Saat deutlich geringer auf die Wurzelentwicklung aus als bei den untersuchten Pflanzungen.
- Die zahlreichen und starken Wurzeldeformationen der untersuchten Pflanzungen führten zu einer Verflachung der Wurzelsysteme.

◆ **Pflanzverfahren**

- Die Pflanzverfahren unterscheiden sich deutlich in ihren potenziellen Fehlerquellen. Als entscheidend hat sich herausgestellt:
 - das richtige Verhältnis Pflanzlochtiefe zu Wurzelgröße (nicht gegeben bei Winkelpflanzung, Bohrverfahren mit Bohrdurchmessern kleiner 20 cm).
 - die Pflanzqualität (alle Pflanzverfahren).

◆ **Sortiment**

- Sortimente mit einer Sprosslänge kleiner 80 cm waren deutlich weniger deformiert und wuchsen besser in die Tiefe als größere Sortimente.

◆ **Wurzelschnitt**

- 10 Jahren nach der Pflanzung war ein Wurzelschnitt an jeder zehnten Pflanze zu erkennen, ab dem Sortiment 120 cm an jeder vierten. Pflanzen mit erkennbarem Wurzelschnitt besaßen eine deutlich reduzierte Tiefenerschließung.
- Die Esche reagierte besonders empfindlich auf einen Wurzelschnitt.

◆ **Standort**

- Bei Naturverjüngung/Saat wurden die Deformationen hauptsächlich durch den Standort (*Skelettgehalt*) verursacht.
- Bei Pflanzung wirkten sich Pflanzverfahren, Sortiment oder Pflanzqualität auf die Wurzelentwicklung deutlich stärker aus als der Standort.

◆ **Pflanzqualität**

Mit einer fachgerechten und sehr sorgfältigen Pflanzung kann eine Wurzelentwicklung erzielt werden, die eine hohe Stabilität der Bäume erwarten lässt.

Wie lassen sich Wurzeldeformationen vermeiden?

◆ Begründungsverfahren:

- Wo möglich, Naturverjüngung oder Saat der Pflanzung vorziehen.
- Pflanzverfahren nach der Wurzelgröße auswählen.

◆ Pflanzensortimente:

- Kleine Pflanzsortimente verwenden.
- Qualitativ hochwertige Pflanzen einsetzen.

◆ Pflanzqualität:

- Pflanzverfahren richtig anwenden, sorgfältig pflanzen.
- Wurzeln maßvoll und sachgerecht beschneiden.

◆ Qualitätsmanagement:

- u.a. intensive Schulung, Kontrolle, regelmäßige Wurzelgrabungen
- Anpassung der Arbeitskapazität an den erhöhten Zeitbedarf einer sorgfältigen Pflanzung.

7 Veröffentlichungen

Publikationen der LWF zum Schwerpunkt „Wurzeltgerechte Pflanzung“

ANONYMUS (2002): Wurzeltgerechte Pflanzung – Fernsehreportage im Freisinger Fernsehen anlässlich einer Fortbildung für private Waldbesitzer.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT/ WALDARBEITSSCHULE LAUBAU (1997): Ergebnisbericht zum Workshop Pflanzverfahren und Wurzelentwicklung - Wurzelnackte Laubholzpflanzen. - Interner Bericht, 20 S. mit Anhang.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (1998): LWF-Film "Wurzelschonende Pflanzung von Laubbäumen" – Sachgebiet IV Betriebswirtschaft und Waldarbeit in Zusammenarbeit mit Sachgebiet III Waldbau und Forstplanung, Waldarbeitsschule Laubau und der Landesanstalt für Saat und Pflanzenzucht (LSP), bearbeitet von WAUER UND RITTERSHOFER.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (1998): Auf die Wurzeln kommt es an! - Merkblatt Nr. 4/1998, bearbeitet von J. DAHMER, R. MAIER.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (1998): Wurzelschonende Pflanzung - Voraussetzung für stabile Wälder - 3 Merkblätter für die INTERFORST 1998, bearbeitet von DAHMER J., GÖLDNER, A., RAAB, S. (1998).

BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1999): Anforderungen an die Wurzeln von Forstpflanzen - Broschüre, S. 3 - 11, bearbeitet von der Bayerischen Landesanstalt für forstliches Saat- und Pflanzgut in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, der Forstdirektion München und der Waldarbeitsschule Laubau.

BÜSGEN, M., MÜNCH, E. (1927): Bau und Leben unserer Waldbäume. Verlag Gustav Fischer, Jena 427 S.

BURTH, M., HEIN, H. (1998): Pflanzenverfahren und Wurzelentwicklung - Wie lassen sich die Tagungsergebnisse in den praktischen Betrieb umsetzen? - Sonderteil AFZ/Der Wald 9/1998, S. VII-VIII.

COUTTS, M. P. (1983): Root architecture and tree stability. Plant Soil 71, S. 171-188

DAHMER, J., RAAB, S. (1997): Pflanzung und Wurzelentwicklung - Berichte aus der LWF Nr. 15, 134 S., 14 Farbfotos.

DAHMER, J., HEIN, H., MÖßNER, R., OHRNER, G. (1997): Ergebnisbericht zum Workshop Pflanzverfahren und Wurzelentwicklung. Interner LWF-Bericht.

DAHMER, J. (1997)a: Wurzelentwicklung auf wiederbewaldeten Sturmwurfflächen. In: Pflanzung und Wurzelentwicklung. LWF-aktuell Nr. 9, April 1997, S. 13 – 15.

DAHMER, J. (1997)b: Empfehlungen zum wurzelschonenden Pflanzen. In: Pflanzung und Wurzelentwicklung. LWF-aktuell Nr. 9, Mai 1997, S. 15 – 16.

DAHMER, J. (1998)a: Wurzeln wollen wachsen - Sonderteil AFZ/Der Wald 9/1998, S. I-II.

DAHMER, J. (1998)b: Wurzelentwicklung bei Winkel- und Lochpflanzung im Vergleich: Einfluß der Pflanzmethode nach fast 40 Jahren noch erkennbar - AFZ Nr. 18/1998, S. 964 – 965.

DAHMER, J. (1999): Einfluß der Pflanzmethode- Nach fast 40 Jahren noch erkennbar -Wald und Holz Nr.4/1999, S. 39 – 40.

- GRUBER, F. (1992): Dynamik und Generation der Gehölze. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 86, 420 S.
- KÖSTLER, J. N., BRÜCKNER, E., BIBELRIETHER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Hamburg, Berlin: Paul Parey Verlag, 284 S.
- MÖBMER, R., WIRTH, H.-J. (1993): Langfristige Beobachtung der Wurzelentwicklung auf Sturmkahlfächen des Jahres 1990 – Untersuchungskonzept. In: Bericht über die Arbeitstagung“ Pflanztechnik und Wurzelentwicklung“, Freising 1992, S. 18 – 21.
- MÖBMER, R., OHRNER, G. (1998): Ergebnisse eines Workshops für die Praxis - Pflanzverfahren und Wurzelentwicklung - Sonderteil AFZ/Der Wald 9/1998, S. III-IV.
- MÖBMER, R. (1998): Wurzelschäden durch Pflanzung – Gemeinsame Informationsveranstaltung für die Leiter der Sachgebiete Waldbau und Waldarbeit. Forstinfo Nr., 15/98.
- MÖBMER, R. (2000): LWF untersucht Wurzeln auf Wiebke-Flächen. In: Forstinfo Oktober 17/2000.
- MÖBMER, R., MÖBNANG, M., NÖRR, R. (2000): Stellungnahme zu: Die natürliche Dynamik nach Sturmwürfen nutzen. AFZ/DerWald 55. Jhrg., S. 409 - 410.
- NÖRR, R. (2000)a: Stabilität fängt bei der Wurzel an. LWF aktuell Nr. 23, S. 13 – 16.
- NÖRR, R. (2000)b: Stabilität beginnt bei der Wurzel. AFZ/DerWald Nr. 8, S. 407 - 408.
- NÖRR, R. (2000)c: Wurzelschonende Pflanzung. AFZ/DerWald Nr. 18-19, S. 955 - 957.
- NÖRR, R. (2000)d: Wurzelschonende Pflanzung. Tagungsführer der 13. KWF-Tagung 2000.
- NÖRR, R. (2000)e: Bäume unbedingt wurzelschonend pflanzen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt Nr. 39, S. 58 - 59.
- NÖRR, R. (2002)a: Sorgfalt entscheidet über Pflanzenerfolg! LWF-Merkblatt Nr. 4a.
- NÖRR, R., DR. MÖBMER, R., MÖBNANG, M. (2002): Forstwirtschaft in stürmischen Zeiten. Merkblatt und Broschüren zur Interforst 2002.
- NÖRR, R. (2002)b: Planting and root development- tips for good practice. Merkblatt zur Interforst 2002.
- NÖRR, R. (2002)c: Wurzelgerecht pflanzen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt Nr. 39, S. 40 - 41.
- POLOMSKI, J., KUHN, N. (1998): Wurzelsysteme. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien 290 S.
- POLOMSKI, J., KUHN, N. (2001): Wurzelhabitus und Standfestigkeit der Waldbäume. Forstwissenschaftliches Centralblatt 120, S. 303 – 317
- SCHMIDT-VOGT, H. (1977): Die Fichte. Bd. I, Hamburg, Berlin: Paul Parey Verlag, 647 S.
- SCHMITZ, P., GROH, A. (1984): Vergleichende Untersuchung der Vertikalwurzelentwicklung von Traubeneichen bei unterschiedlicher Begründungsart. Diplomarbeit am Waldbauinstitut der Universität Freiburg i.B.
- STROHASCHNEIDER, I. (1985): Untersuchungen über Wurzeldeformationen und –erkrankungen infolge verschiedener Pflanzverfahren. Forschungsvorhaben Wien. 115 S.
- WALDARBEITSSCHULE LAUBAU (1995): Merkblatt "Pflanzung".

WEINBERG, T., DAHMER, J. (1998): Aktuelle Probleme bei der Pflanzung von Laubgehölzen - Forst&Technik Nr. 5/1998, S. 4 – 7.

WEINBERG, T., DAHMER, J. (1998): Pflanzverfahren und Bewurzelung von Laubholzpflanzen - Forsttechnische Informationen 4+5 1998, S. 41 - 45, KWF, Groß-Umstadt.

Allgemeine Literatur zum Thema

Eine umfangreichen Literaturliste wird in dem geplanten Forstlichen Forschungsbericht veröffentlicht. Bis zu dessen Erscheinen kann die Literaturliste bezogen werden bei der nachfolgenden Adresse:

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
Sachgebiet „Waldbau und Forstplanung“
Am Hochanger 11
85354 Freising
Tel. 0 81 61/71 48 81
Fax 0 81 61/71 49 71

Anhang 1: Wurzeldeformationen

1. Definition

Wurzeldeformationen sind Verformungen der Wurzel, die zum Zeitpunkt der Aufnahme zu einer wesentlichen Abweichung von der ursprünglichen Wuchsrichtung geführt hatten.

- Die Wurzeldeformationen werden nach ihrer momentanen Ausprägung bewertet.
- Die Wurzeldeformationen werden nach Deformationsart und -stärke klassifiziert.

2. Deformationsarten

Anhand der Deformationsarten lassen sich die Ursachen von Wurzeldeformationen ermitteln.

<i>Deformationsarten</i>	
Hauptwurzelverkrümmung	Abweichung der Vertikalwurzeln von ihrer ursprünglichen Wuchsrichtung in die Tiefe
Seitenwurzelverkrümmung	Abweichung der Horizontalwurzeln seitwärts bzw. nach oben
Die folgenden Deformationsarten sind im Gesamtbild der Hauptwurzel- und Seitenwurzelverkrümmung enthalten. Sie dienen der weiteren Differenzierung von Pflanzfehlern.	
Knollenbildung	Untypische Verdickung im Hauptwurzelbereich
Lotrechte Stauchung	Richtungsänderung durch Aufsitzen der Hauptwurzeln am Pflanzloch/Pflanzspaltboden
Wurzel-Verwachsungen	Untrennbare Verbindung zweier oder mehrerer Wurzeln
Wurzel-Verdrehungen	Gleichgerichtetes kreisförmiges Wachstum mehrerer Wurzeln
Untypische oberflächliche Wurzelausbreitung	Konzentration der Wurzeln oberhalb von 20 cm
Etagen-/Sekundärwurzelbildung	Bildung von Adventivwurzeln durch zu tiefes Pflanzen
"Blumentopfeffekt"	Nur bei Lochpflanzungen: Konzentration der Hauptwurzelmasse im Bohrlochbereich. Zur quantitativen Erhebung wurde zusätzlich der Anteil an herausgewachsenen Wurzeln erhoben: <ul style="list-style-type: none"> - 0 - 25 % der Wurzeln herausgewachsen - 26 - 50 % - 51 - 75 % - 76 - 100 %.

3. Deformationsstärken

Die Differenzierung der Deformationen in ihre Ausprägung dient zur Abschätzung von Regenerationsverlauf und Folgen der Wurzeldeformationen.

<i>Stärke der Deformationen</i>	
Ohne Deformationen	Kleine Knicke oder bogiger Wuchs stellen keine Deformationen dar, solange die Wuchsrichtung nicht dauerhaft verändert wird.
Leichte Deformationen	Einige Wurzeln sind durch Pflanzung deformiert. Die Auswirkungen auf die Wurzelenausbreitung sind aber unwesentlich.
Ausgeprägte Deformationen	Bereits ausgeprägte Richtungsänderung, eine gewisse Tiefen- und Seitenerschließung ist aber noch gewährleistet.
Starke Deformationen	Starke Richtungsänderung mit beginnender Regeneration der deformierten Wurzel oder mit beginnender Regeneration durch Wurzelneubildungen.
Extreme Deformationen	Starke Richtungsänderung, keine nennenswerte Regeneration der deformierten Wurzel, keine Regeneration durch Wurzelneubildungen.

4. Vertikale und horizontale Erschließung des Wurzelraums

Wurzeldeformationen führen nicht zwingend zu einer verringerten Durchwurzelung des Wurzelraumes. Um die tatsächlichen Auswirkungen der Deformationen auf die Wurzelenausbreitung zu erfassen, wurde die Tiefen- und Seitenerschließung in 5 Stufen okkular angesprochen.

<i>Tiefen- und Seitenerschließung</i>	
Keine Erschließung	Sämtliche Tiefen-/Seitenwurzeln sind umgebogen. Der Wurzelraum wird nicht über die ehemaligen Pflanztiefe/-breite hinaus erschlossen.
Beginnende Erschließung	Neugebildete Wurzeln oder sich regenerierende Wurzeln reichen über die ehemalige Pflanztiefe/-breite hinaus. Die Wurzelenausbreitung ist noch gering.
Mäßige Erschließung	Neugebildete Wurzeln oder sich regenerierende Wurzeln reichen deutlich über die ehemalige Pflanztiefe/-breite hinaus. Die Erschließung ist durch Wurzeldeformationen noch eingeschränkt.
Gute Erschließung	Der Wurzelraum wird durch zahlreiche und/oder starke Wurzeln intensiv erschlossen. Wurzeldeformationen beeinträchtigen die Erschließung nur geringfügig.
Optimale Erschließung	Der Wurzelraum wird durch zahlreiche und starke Wurzeln sehr intensiv erschlossen. Eine Beeinträchtigung der Erschließung durch Wurzeldeformationen ist nicht zu erkennen.

Anhang 2: LWF-Merkblätter

- LWF-Merkblatt Nr. 4 „Auf die Wurzel kommt es an!“
- LWF-Merkblatt Nr. 4a „Sorgfalt entscheidet über Pflanzenerfolg!“

Diese Merkblätter sind zu beziehen bei :

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)

Am Hochanger 11

85354 Freising

Tel. 08161/71 - 4908

Fax 08161/71 - 4971

Email: nad@lwf.uni-muenchen.de

Internet: www.lwf.bayern.de

Bisher sind in der Reihe „Berichte aus der LWF“ folgende Hefte erschienen:

Nr. 1	1994	S. KRÜGER, R. MÖSSMER, A. BÄUMLER	Der Wald in Bayern: Ergebnisse der Bundeswaldinventur 1986-1990
Nr. 2	1995	A. KÖNIG, R. MÖSSMER, A. BÄUMLER	Waldbauliche Dokumentation der flächigen Sturmschäden des Frühjahrs 1990 in Bayern und meteorologische Situation zur Schadenszeit
Nr. 3	1995	H. REITER, R. HÜSER, S. WAGNER	Auswirkungen von Klärschlammapplikation auf vier ver- schiedene Waldstandorte
Nr. 4	1995	A. SCHUBERT, R. BUTZ-BRAUN, K. SCHÖPKE, K.H. MELLERT	Waldbodendauerbeobachtungsflächen in Bayern
Nr. 5	1995	V. ZAHNER	Der Pflanzen- und Tierartenbestand von Waldweiherlebens- räumen und Maßnahmen zu deren Sicherung (- <i>vergriffen</i> -)
Nr. 6	1996	A. ZOLLNER	Düngeversuche in ostbayerischen Wäldern
Nr. 7	1996	S. NÜSSLEIN	Einschätzung des potentiellen Rohholzaufkommens in Bay- ern auf der Grundlage der Ergebnisse der Bundeswaldin- ventur von 1987
Nr. 8	1996	F. BURGER, N. REMLER, R. SCHIRMER, H.-U. SINNER	Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung (- <i>vergriffen</i> -)
Nr. 9	1996	H.-J. GULDER	Auwälder in Südbayern: Standörtliche Grundlagen und Bestockungsverhältnisse im Staatswald (- <i>vergriffen</i> -)
Nr. 10	1996	O. SCHMIDT et al.	Beiträge zur Eibe (- <i>vergriffen</i> -)
Nr. 11	1996	N. REMLER, M. FISCHER	Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Waldhack- schnitteln (- <i>vergriffen</i> -)
Nr. 12	1996	O. SCHMIDT et al.	Beiträge zur Hainbuche (- <i>vergriffen</i> -)
Nr. 13	1997	V. ZAHNER	Der Biber in Bayern - Eine Studie aus forstlicher Sicht (- <i>vergriffen</i> -)
Nr. 14	1997	N. REMLER, A. ZOLLNER, H.-P. DIETRICH	Eigenschaften von Holzaschen und Möglichkeiten der Wiederverwertung im Wald (- <i>vergriffen</i> -)

Nr. 15	1997	J. DAHMER, S. RAAB	Pflanzverfahren und Wurzelentwicklung (- vergriffen -)
Nr. 16	1998	N. REMLER, H. WEIXLER, S. FELLER	Vollmechanisierte Waldhackschnitzel-Bereitstellung – Ergebnisse einer Studie am Hackschnitzel-Harvester (- vergriffen -)
Nr. 17	1998	O. SCHMIDT et al.	Beiträge zur Vogelbeere
Nr. 18	1998	H.J. GULDER et al.	Humuszustand und Bodenlebewelt ausgewählter bayerischer Waldböden
Nr. 19	1998	G. LOBINGER	Zusammenhänge zwischen Insektenfraß, Witterungsfaktoren und Eichenschäden (- vergriffen -)
Nr. 20	1999	S. RAAB	Arbeitsverfahren für die Pflege in der Fichte (- vergriffen -)
Nr. 21	1999	H. WEIXLER et al.	Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln
Nr. 22	1999	CH. KÖLLING	Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in den Wäl- dern Bayerns – Ergebnisse der Stoffhaushaltsuntersuchun- gen an den Bayerischen Waldklimastationen 1991 bis 1998 (- vergriffen -)
Nr. 23	1999	L. ALBRECHT et al.	Beiträge zur Wildbirne
Nr. 24	1999	O. SCHMIDT et al.	Beiträge zur Silberweide (- vergriffen -)
Nr. 25	2000	S. NÜSSLEIN et al.	Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald – Buchdrucker-Massenvermehrung und Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet (- vergriffen -)
Nr. 26	2000	S. WITTKOPF, K. WAGNER	Der Energieholzmarkt Bayern
Nr. 27	2000	BAYER. LWF	Großtiere als Landschaftsgestalter – Wunsch oder Wirklich- keit? (- vergriffen -)
Nr. 28	2000	BAYER. LWF	Beiträge zur Sandbirke
Nr. 29	2000	A. WAUER	Verfahren der Rundholzlagerung
Nr. 30	2001	BAYER. LWF	Symposium Energieholz
Nr. 31	2001	BAYER. LWF	Waldzustandsbericht 2001
Nr. 32	2001	H. WALENTWOSKI, H.-J. GULDER, CH. KÖLLING, J. EWALD, W. TÜRK	Die regionale natürliche Waldzusammensetzung

Nr. 33	2002	BAYER. LWF	Waldbewohner als Weiser für die Naturnähe und Qualität der forstlichen Bewirtschaftung
Nr. 34	2002	BAYER. LWF	Beiträge zur Esche
Nr. 35	2002	BAYER. LWF	Auerhuhnschutz und Forstwirtschaft - Lösungsansätze zum Erhalt von Reliktpopulationen unter besonderer Bedeutung des Fichtelgebirges
Nr. 36	2002	S. RAAB, S. FELLER, E. UHL, A. SCHÄFER, G. OHRNER	Aktuelle Holzernteverfahren am Hang