



Thomas Sinn, TU Berlin, 1988

Zur Ausbildung des Wurzelwerkes bei Bäumen nach morphologischen Gesichtspunkten und die verschiedenen Einflüsse darauf

INHALTSANGABE

1. Definition Wurzel
 - 1.1. Begriffliches
 - 1.2. Einteilung der Wurzeln nach ihrem Durchmesser
2. Aufgaben der Wurzel (für den Baum)
3. Schwierigkeiten bei der Verallgemeinerung von Ergebnissen der Wurzelforschung
4. Andere Faktoren, die die Wurzelentwicklung im Boden beeinflussen
 - 4.1. Faktoren im Boden
 - 4.2. Faktoren außerhalb des Bodens
5. Unterscheidung des Wurzelwerkes nach Grobwurzeln und nach dem Vorherrschen einer der Vertikalwurzeltypen
 - 5.1. Pfahlwurzelsystem
 - 5.2. Herzwurzelsystem
 - 5.3. Senkerwurzelsystem
6. Unterscheidung des Wurzelwerkes nach Feinwurzeln
 - 6.1. Anzahl, Intensität
 - 6.1.1. Einige Baumarten geordnet nach der Intensität ihrer Feinwurzelausbildung
 - 6.2. Gestalt
 - 6.3. Verteilung
7. Einwirkungen auf die Ausbildung des Wurzelwerkes
 - 7.1. Feuchtigkeit - Grundwasser
 - 7.1.1. Wassermangel
 - 7.1.2. Wassersättigung
 - 7.1.3. Stauwasser
 - 7.1.3.1. Tiefenbewurzelung auf Pseudogley
 - 7.1.3.2. Tiefenbewurzelung auf Stagnogley
 - 7.1.4. Grundwasser
 - 7.1.4.1. Stagnierendes oder nur langsam fließendes Grundwasser
 - 7.1.4.2. Rasch bewegtes, sauerstoffreiches Grundwasser
 - 7.1.4.3. Grundwasserabsenkungen
 - 7.1.4.4. Grundwasseranstieg
 - 7.1.4.5. Moorböden
 8. Luftmangel - Gase
9. Nährstoffe - chemische Verhältnisse
 - 9.1. Nährstoffe
 - 9.2. Chemische Verhältnisse
10. Temperatur
11. Mechanische Widerstände
 - 11.1. Skelettreiche Böden
 - 11.2. Oberflächliche Bodenverdichtungen
12. Statische Reize
13. Adventivwurzelsbildung



14. Holzerzeugung im Wurzelsystem
15. Lebensrhythmus
16. Orientierung der Wuchsrichtung
 - 16.1. Geotropismus
 - 16.2. Toxische Ausscheidungen der Wurzel
 - 16.3. Konkurrenz
 - 16.4. Mykorrhiza
17. Maximale Wurzeltiefen
18. Maximale Wurzelreichweiten

Literaturverzeichnis Anhang

DEFINITION WURZEL Wurzeln können sowohl unter- als auch oberirdisch als Erd- oder als Luftwurzeln (diese z.T. auch chlorophyllhaltig) vorkommen; gemeinsam sind sie charakterisiert durch das Fehlen von Blättern.

BEGRIFFLICHES (nach "Die Wurzeln der Waldbäume, s. Lit.verz.). Diese Ordnung nach morphologischen Gesichtspunkten vorweg ist notwendig, da in der Literatur mitunter sehr verschiedene Ausdrücke für ein- und dieselbe Sache gebraucht werden oder aber eine Gliederung nach anderen Gesichtspunkten gebraucht wird.

- * Wurzelwerk, -system, -tracht: Gesamtheit der Wurzeln eines Baumes.
- * Wurzelstock: Unterirdische Verlängerung des Stammes, Kern des Wurzelwerkes.
- * Horizontalwurzeln: Oberflächennahe, parallel zur Geländeoberfläche verlaufende Wurzeln.
- * Horizontalwurzelwerk: Gesamtheit aller Horizontalwurzeln eines Baumes.
- * Vertikalwurzeln: Senkrecht oder schräg vom Stock oder von Horizontalwurzeln in den Boden eindringende Wurzeln, die sich dann auch (vor allem in größerer Tiefe) horizontal verzweigen können.

Die Vertikalwurzeln kann man einteilen in:

- a) - Pfahlwurzeln: An der Stockunterseite entspringende, vertikal gerichtete Hauptwurzeln.
- Nebenpfahlwurzeln: Nebenwurzeln mit gleichem Verlauf.
- b) - Herzwurzeln: Seitlich am Stock oder schräg von der Stockunterseite entspringende, mehr oder weniger schräg in die Tiefe vordringende Wurzeln.
- c) - Senker: Von Horizontalwurzeln abzweigende, schräg oder senkrecht in die Tiefe vordringende Wurzeln.

1.2. EINTEILUNG DER WURZELN NACH IHREM DURCHMESSER a) Feinwurzeln < 5 mm:

- Feinstwurzeln < 1 mm
- Feinwurzeln (im engeren Sinn) 1-2 mm
- Schwachwurzeln 2-5 mm.

b) Grobwurzeln > 5 mm:

Grobwurzeln (im engeren Sinn) 5-20 mm

- Derbwurzeln 20-50 mm
- Starkwurzeln > 50 mm. (im Text werden mitunter auch Bezeichnungen von Wurzeln auf tauchen, die nach funktionalen Gesichtspunkten gegeben wurden)

2. AUFGABEN DER WURZEL (für den Baum)

- * Aufnahme von Nährstoffen (Nährstoffmobilisierung) durch unverkorkte Feinwurzeln und Wurzelspitzen.
- * Aufnahme von Wasser durch unverkorkte Feinwurzeln und Wurzelspitzen. * Speicherorgan



für verschiedene Reservestoffe vor allem in den älteren und stärkeren Wurzeln.

* Verankerung im Boden vor allem durch Grobwurzeln.

Diese Aufgaben können auch schwergewichtig auf einzelne Wurzeln verteilt sein.

3. SCHWIERIGKEITEN BEI DER VERALLGEMEINERUNG VON ERGEBNISSEN DER WURZELFORSCHUNG

* Es haben jeweils unterschiedliche Umwelteinflüsse auf die Entwicklung des Wurzelwerks einen mehr oder weniger großen Einfluß (s. Kap. 4.), d.h. eine Ausbildung des für eine Baumart genotypisch festgelegten Wurzelwerks ist nur auf einem für die jeweilige Baumart optimalen Standort denkbar.

* An vielen Arten wurden bisher noch nicht genügend Untersuchungen vorgenommen, so daß sich bei diesen Arten auch noch keine generelle Aussage machen läßt.

* Viele der bisher erzielten Untersuchungsergebnisse wurden nur nach Augenschein bewertet, es fehlen meist physiologische oder andere, gezieltere Untersuchungen.

* Die vorliegende Arbeit kann aufgrund ihres begrenzten Umfangs auch nur einen Überblick über die Komplexität des Problemgebietes geben.

4. ÄUSSERE FAKTOREN, DIE DIE WURZELENTWICKLUNG IM BODEN BEEINFLUSSEN

4.1. FAKTOREN IM BODEN:

- Feuchtigkeit,
- Grundwasser;
- mechanische Widerstände und andere mechan. Reize;
- Luftmangel,
- Gase;
- Temperatur;
- Nährstoffe,
- chemische Verhältnisse;
- statische Reize.

4.2. FAKTOREN AUSSERHALB DES BODENS (die jedoch die Faktoren im Boden mehr oder weniger beeinflussen oder gar bedingen):

- Licht;
- Wärme;
- Wind;
- Niederschlag.

5. UNTERSCHIEDUNG DES WURZELWERKES NACH GROBWURZELN UND NACH DEM VORHERRSCHEN EINER DER VERTIKALWURZELTYPEN

5.1. PFAHLWURZELSYSTEM

Die genotypisch festgelegte Ausbildung einer Pfahlwurzel im Keimlingsstadium als Primärwurzel zeigen alle heimischen Baumarten. Ausnahme: nach WIEDEMANN (1927/1936) bilden Bäume auch im Keimlingsstadium keine Pfahlwurzel aus, wenn sie -wie z.B. in Fichtennaturverjüngungen- im Humus keimen.

So ist es auch wahrscheinlich, daß Kiefern in Mooren bei hoch anstehendem Grundwasser keine Pfahlwurzel ausbilden können.



Auch beim älteren Baum findet man Pfahlwurzeln bei: Tanne, Kiefer, Mammutbaum, Strobe, Nußbaum, seltener bei Stiel-, Trauben-, Roteiche, vereinzelt auch bei Lärche und Douglasie.

5.2. HERZWURZELSYSTEM

Typische Vertreter hierfür sind: Lärche, Douglasie, Birke, Linde, Hainbuche.

5.3. SENKERWURZELSYSTEM

Typische Vertreter hierfür sind: Fichte, Strobe, Esche, Aspe, bei tiefem Grundwasserstand auch Buche, Strobe, Kiefer.

Zwischen diesen drei Formen der Ausbildung des Grobwurzelsystems gibt es häufig Übergänge, so bilden z.B. Schwarzerle, Rotbuche und Bergahorn i.d.R. ein Senkerwurzelsystem mit Abweichung in Richtung Herzwurzelsystem aus.

6. UNTERSCHIEDUNG DES WURZELWERKES NACH FEINWURZELN

Feinwurzeln durchwurzeln den Bodenraum zwischen den Grobwurzeln und können sich über diese hinaus in den Bodenraum erstrecken.

6.1. ANZAHL, INTENSITÄT

- Sie nimmt im allgemeinen mit zunehmender Bodentiefe ab.
- Bei Nadelbäumen findet man allgemein ein extensiver ausgebildetes Feinwurzelsystem als bei Laubbäumen, da anscheinend die zur Wasser- und Nährstoffaufnahme notwendige Anzahl von Feinwurzeln von der Gesamtgröße der Blattoberfläche abhängig ist.
- Bäume, die ein Pfahl- oder Senkerwurzelsystem ausbilden, zeigen eine relativ extensive, Bäume mit Herzwurzelsystem eine relativ intensive Feinwurzelausbildung.

6.1.1. EINIGE BAUMARTEN GEORDNET NACH DER INTENSITÄT IHRER FEINWURZELAUSBILDUNG:

Lärche und Douglasie: Intensivste Feinwurzelausbildung für Vertreter der Nadelbäume.

Eichen und Ulmen: extensivste Feinwurzelausbildung für Vertreter der Laubbäume; dennoch i.d.R. intensiver als bei Lärche und Douglasie.

Aspe und Birke: Diese zeigen eine noch intensivere Feinwurzelausbildung. Buche, Hainbuche, Bergahorn, Spitzahorn und Winterlinde: Diese zeigen die intensivste Feinwurzelausbildung gleichmäßig über das ganze Wurzelwerk verteilt.

6.2. GESTALT

Fichten, Kiefern, Tannen, Esche, Birke und Schwarzerle: Diese zeichnen sich i.d.R. durch relativ kurze Feinwurzeln aus.

Ulmen: Typisch für diese Baumart sind lange, peitschenschnurartige Schwach- und Feinwurzeln, die sich kaum verzweigen und verjüngen.

6.3. VERTEILUNG

Douglasie: Feinwurzeln meist büschel- oder besenartig im Bereich der Grobwurzeln.

Fichte, Kiefer, Tanne und Strobe: Ähnlich der Douglasie.

Japanlärche: Nach DCHEN YAO MING (1962) sind für diese Baumart in mehreren Ebenen angeordnete Feinwurzelschichten charakteristisch.

Esche und Birke: Mit büschelartiger Verteilung (bei der Birke weniger deutlich).

Hainbuche, Rotbuche, Linde und Ahorn: Diese zeigen häufig eine gleichmäßige Verteilung.

7. EINWIRKUNGEN AUF DIE AUSBILDUNG DES WURZELWERKES



Bei der bisherigen Beschreibung der Wurzel Ausbildung von Bäumen wurde noch nicht auf die verschiedenen Einflüsse, die immer die Ausbildung des genotypisch veranlagten Wurzelwerkes -vor allem mit zunehmendem Alter des Baumes- beeinflussen, eingegangen. Der Baum als lebendes actio-reactio-System reagiert -wenn auch wesentlich langsamer als z.B. das mobile Tier- auch auf Umwelteinflüsse wie z.B. die Verteilung von Nährstoffen im Boden, um aus den gegebenen Standortbedingungen das für sein Überleben optimale herauszuholen. Damit sich eine Baumart auch großflächige Lebensräume erschließen kann, muß der einzelne Baum als stationäres System sogar noch anpassungsfähiger sein als das mobile Tier. Im Falle der Wurzeln hieße das, sie zur optimalen Ausführung ihrer Aufgaben auszubilden, bei Änderungen im Lebensraum, sich diesen anzupassen. Dies ist jedoch immer außer von der genotypischen Veranlagung (manche Baumarten sind in Bezug auf die genotypische Ausbildung des Wurzelwerkes mehr, manche weniger flexibel) auch von der Vitalität des Baums abhängig.

Die nun folgenden Einflüsse müssen zusammen mit der Veranlagung eines Baumes, ein bestimmtes Wurzelwerk auszubilden, in ihrer gesamten Komplexität gesehen werden, d.h. man kann einen einzelnen Einfluß nicht streng getrennt von anderen Einflüssen betrachten; die im folgenden dargestellten Einzelfaktoren beeinflussen also die Ausbildung des Wurzelwerkes **FAST IMMER ZUSAMMEN MIT EINEM ODER MEHREREN DER GENANNTEN FAKTOREN**, dies muß man sich stets vor Augen halten!

7.1. FEUCHTKKEIT - GRUNDWASSER

Der Wasserhaushalt des Bodens übt einen massgeblichen Einfluß auf das gesamte Wurzelwachstum aus.

7.1.1. WASSERMANGEL

- Trockenheit im Unterboden kann eine rein oberflächliche Wurzel Ausbildung verursachen; so ist das Hauptwurzelvorkommen auf durchlässigen, grundwasserfernen Böden bei geringen Niederschlägen rein oberflächlich ausgebildet.
- Trockenheit im Boden bewirkt auch ein verstärktes Längenwachstum der Wurzel.
- von Tiefenfeuchtigkeit geht -vor allem in trockenen Böden- ein hydrotopischer Reiz aus.
- in durchlässigen Böden mit schichtartigem Aufbau findet man in Schichten mit größerer Wasserspeicherfähigkeit oft sogenannte Wurzelhorizonte, d.h. ein gehäuftes Auftreten von Wurzeln in diesen Schichten.
- nach LOBANOW (1947) findet ein noch merkliches Wurzelwachstum bei Fichte und Kiefer im Sandboden bei einem Wassergehalt von 2,07% (des absoluten Trockengewichts), bei Esche und anderen Laubbäumen noch bei einem Grenzwert von 6% - 11% statt.

7.1.2. WASSERSATTIGUNG

- hohe Wasservorräte bewirken eine dichte Verzweigung der Wurzel.
- begrenzte Stellen höherer Feuchtigkeit im Untergrund können zum Umbiegen von Horizontalwurzeln führen (sogen. Kniewurzeln).

7.1.3. STAUWASSER

Dieses findet man auf Staunässeböden mit undurchdringlichen Schichten im Untergrund; dort kommt es u.a. zu einer Behinderung des Gasaustausches.

7.1.3.1. TIEFENBEWURZELUNG AUF PSEUDOGLEY nach KREUTZER (1961)

- weniger als 0,60 m: Fichte, Strobe, Sitkafichte, Vogelbeere.



- 0,60 - 1,20 m: Lärche, Douglasie, Buche, Birke, Hainbuche, Roteiche, Weißerle.
- mehr als 1,20 m: Tanne, Stieleiche, Traubeneiche, Aspe, Schwarzerle (diese auch mit stärkeren Wurzeln).

7.1.3.2. TIEFENBEWURZELUNG AUF STAGNOGLEY

Auf Stagnogleystandorten ist durch dauernde, stagnierende Vernässung bestenfalls eine Durchwurzelung der obersten Bodenschichten und vor allem der mächtigen Auflagehumusschicht möglich.

7.1.4. GRUNDWASSER

7.1.4.1. STAGNIERENDES ODER NUR LANGSAM FLIESENDES GRUNDWASSER

Außer der Schwarzerle geht keine der heimischen Baumarten mit ihren Wurzeln in diese Form des Grundwassers; die Bäume wurzeln im ausreichend durchlüfteten Kapillarsaum darüber (je nach Boden 0,10 m bis mehr als 8,00 m über dem Grundwasserspiegel). Die Tiefenwurzeln dieser Bäume enden -bei relativ hohem Grundwasserhöchststand bis in den Durchwurzelungsbereich der Bäume- über diesem in büstenartigen, oft in einer Ebene angeordneten Verzweigungen.

- nach SEAMONI (1950) kommt es dabei bei der Kiefer zur Ausbildung von Brett- und Besenwurzeln sowie dicken "Spargelspitzen,"
- starke Pflanzenwurzeln biegen über dem Grundwasserhöchststand ab.

7.1.4.2. RASCH BEWEGTES, SAUERSTOFFREICHES GRUNDWASSER

Einige Arten wie Erlen, Weiden, Eschen gehen direkt in diese Form des Grundwassers.

7.1.4.3. GRUNDWASSERABSENKUNGEN

Bei Grundwasserabsenkungen auf Dauer können die auf ein bestimmtes Grundwasserniveau eingestellten Baumwurzeln absterben; eine Reihe von Laubbäumen jedoch kann sich diesen Veränderungen auch anpassen (dies gilt jedoch nur, wenn die Bäume ihren Wasserbedarf überwiegend aus dem GW und nicht überwiegend aus Niederschlägen beziehen).

7.1.4.4. GRUNDWASSERANSTIEG

Bei GW-anstieg auf Dauer können ebenso wie bei GW-absenkungen die auf ein bestimmtes GW-niveau eingestellten Wurzeln absterben. Jedoch ertragen auch hier einige Baumarten kurzzeitige Überflutungen ihrer Wurzeln (dabei muß man auch immer einen Unterschied machen zwischen den dagegen besonders empfindlichen Feinwurzeln und den dagegen weniger empfindlichen Grobwurzeln).

- Empfindlichkeit gegen längere Überflutungen während der Vegetationszeit (nach BECHER - DILLINGEN (1939)):

sehr empfindlich: Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Buche, Bergahorn, Feldahorn, Linde, Traubeneiche.

weniger empfindlich: Esche, Strobe.

ziemlich widerstandsfähig: Hainbuche.

sehr widerstandsfähig: Schwarzerle, Pappel, Aspe, Feldulme, Stieleiche, Birke.

7.1.4.5. MOORBÖDEN

Auf Moorböden mit hohem GW-stand kommt es zur Ausbildung eines Tellerwurzeltyps mit



nur oberflächennah verlaufenden Wurzeln, die die Tendenz, nach oben zu wachsen, aufzeigen.

LUFTMANGEL - GASE

Der Anteil der Wurzelatmung an der Gesamtatmung des Baumes beträgt nach EIDMANN (1943):

- Fichte 42%-45%;
- Douglasie 55%;
- bei sieben weiteren untersuchten Nadelbaumarten 30%-40%.

Nach MICHAEL u. BERGMANN (1954) führt ein Sauerstoffmangel im Boden zu einem Aufhören des Wurzelwachstums und zum Absterben der Wurzelspitzen und -haare. Eine Ausnahme bei Versuchen bildeten Weidensämlinge, die auch im sauerstofffreien Medium keimten (wahrscheinliche Sauerstoffzufuhr aus dem Sproß). Sauerstoffmangel findet man vor allem in Böden, wo der Gasaustausch durch z.B. dichte Lagerung erschwert ist.

Ein zusätzlicher, das Wurzelwachstum in solchen Böden hemmender Faktor ist meist auch ein Überschuß an CO₂, das bei der Wurzelatmung frei wird.

Auf das Wurzelwachstum wirkt auch ein Aerotropismus ein, die Wurzeln suchen also nach Möglichkeit sauerstoffreiche Bodenschichten auf (deshalb finden sich u.a. auch die meisten Wurzeln im sauerstoffreichen Oberboden).

Nach WILDE (1962) werden ca. 10 % Bodenluft (welcher O₂-Gehalt?; Anm. d. Verf.) für ein befriedigendes Baumwachstum benötigt, so finden sich vor allem unter städt. Verhältnissen (Bodenauftrag, -verdichtung, -belag) die meisten Wurzeln aufgrund der besseren Sauerstoffversorgung in den oberen 100 cm des Bodens.

Bei empfindlichen Baumarten in schlecht durchlüfteten Böden kann man manchmal an den Baumwurzeln einen negativen Geotropismus beobachten. Nach KREUTZER (1961) sind die Wurzeln von Fichte, Strobe, Sitkafichte und Buche besonders empfindlich gegen Sauerstoffmangel. Nach MOLISCH (1885) bedingt schon ein geringer Einfluß von Leuchtgas eine Verkürzung des Wurzelwachstums und führt in größeren Mengen zu einem Absterben der Wurzel.

NÄHRSTOFFE - CHEMISCHE VERHÄLTNISSE

NÄHRSTOFFE

Auf nährstoffarmen Böden wurden meist extensive Wurzelbildungen mit weitreichenden Horizontalwurzeln beobachtet, auf nährstoffreichen Standorten dagegen eine intensivere Durchwurzelung eines kleineren Bodenraums.

In Mehrschichtenböden mit eingelagerten, nährstoffreichen Schichten kommt es zu einer Wurzelanreicherung in den nährstoffreichen Schichten. Nach ZOTTL (1964) kommt es bei oberflächlicher Düngung in Fichtenbeständen zu einer Anreicherung von Feinwurzeln im Oberboden; die Wurzelschicht darunter kann teilweise abnehmen.

Im mit Humus und Nährstoffen angereicherten B-Horizont von Podsolböden bilden Bäume oft die Masse ihrer Wurzeln aus. LAATSCH (1963) beschreibt unter Schwarzkiefern auf Dünensand 5 m - 6 m tiefe Senkerwurzeln, die sich in einer dort vorkommenden



Heidehumusaufgabe stark verzweigt hatten.

9.2. CHEMISCHE VERHÄLTNISSE

Diese werden vor allem über den Grad der Bodenversauerung sehr stark beeinflusst (z.B. Mobilisierung von Schwermetallen).

Wurzeln reagieren z.B. auf freiwerdendes, auf die Wurzel in größeren Mengen toxisch wirkendes Aluminium mit einer Verkleinerung ihrer Wurzeloberfläche (KUTSCHERA, 1960). Denkbar ist es auch, daß Wurzeln an der z.B. durch "sauren Regen" oder Rohhumus stark versauerten Bodenoberfläche absterben und das Wurzelwerk nach und nach (falls möglich) mehr in basenreichere (tiefere) Bodenschichten verlegt wird.

10. TEMPERATUR

Von ihr hängt vor allem der Jahresrhythmus des Wurzelwachstums ab. Zudem spielt sie für die Art der Verzweigung und Durchwurzelungstiefe eine Rolle.

- Mindesttemperaturen für das Wurzelwachstum:

Nadelbäume +4 C° - + 6 C°,

bei manchen Laubbaumarten liegt die Mindesttemperatur darüber, bei z.B. Bergahorn und Buche auch darunter (ENGLER(1903), LADEFOGED(1939), LEHUNDGUT(1951))

- Wurzelwachstumsmaxima:

- Tanne + 24 C° - +32 C°;

- Acer rubrum + 12 C° - + 15 C°.

- Bei Untersuchungen an Kiefernwurzeln stellte man nur ein Wachstum bei mind. + 10 C° und mind. 4 % pflanzenverfügbaren Wassers fest. Das Gesamtwachstum in einem Sommer betrug 25 cm - 30 cm.

11. MECHANISCHE WIDERSTÄNDE

Bei hohem mechan. Widerstand (z.B. Gesteinsersatz, Lehm) werden bei den meisten Baumarten die Feinwurzeln kürzer, sie verkrümmen und verzweigen sich vielfältig. Wird der mechan. Widerstand im Boden zu groß (z.B. Grobsand, massiver Fels), kann die wachsende Wurzel die festen Bodenbestandteile nicht mehr auseinanderschieben und muß um sie herum wachsen.

11.1. SKELETTREICHE BÖDEN

In skelettreichen Böden kommt es zu:

- Verkrümmungserscheinungen durch häufige Richtungsänderungen an auftretenden Hindernissen.

- Deformationen durch das Umwachsen von Hindernissen, die Wurzel paßt sich diesen in der Form an; dies kann auch zu Deformationen durch Assimilationsstauungen führen.

- Wurzelver- und Wurzeldurchwachungen.

11.2. OBERFLÄCHLICHE BODENVERDICHTUNGEN

- oberflächliche Bodenverdichtungen zwingen die Wurzeln empfindlicher Arten zu oberflächlicher Ausbreitung, erst im Alter bei erhöhtem Wasserbedarf kommt es zu einer Ausweitung in die Tiefe.

- auf dichten Sand-, Lehm- und Tonböden tritt eine -je nach dem Gehalt des Bodens an Wasser und Luft- hemmende Wirkung auf.

- je dichter Lehm- oder Tonböden gelagert sind, desto mehr entwickelt sich das Wurzelsystem der Bäume in Richtung des Senkertyps bis hin zu einem gestauchten



Wurzelwerk

- durch Ortsteinschichten im Boden kann keine Baumwurzel dringen; in die Tiefe wachsende Wurzeln biegen daher über der undurchdringlichen Schicht um und bilden Feinwurzeln aus, da sich über dieser Schicht besonders auf durchlässigen Böden reichlich Sickerwasser findet.

12. STATISCHE REIZE

Die Ausbildung des Wurzelwerkes nach statischen Gesichtspunkten prägt vor allem die Ausbildung des Grobwurzelwerkes; so muß sich der Baum auf verschiedene Belastungen (Wind, Schneeanhang, einseitige Kronenentwicklung etc.) einstellen, um seine Standsicherheit -auch in extremen Situationen- zu gewährleisten. Der freistehende Baum wird sich in stärkerem Maße auf diese Belastungen einstellen müssen als der im Verband stehende.

Nach SINN sind gesunde Bäume mit ihrem Wurzelwerk im Boden so verankert, daß hohe Windgeschwindigkeiten mit ausreichender Sicherheit aufgenommen werden können.

Nach SCHLAICH kann die Erhöhung der in den Boden abgeleiteten Windkräfte auf das Wurzelwerk durch die Eigenschwingung besonders hoher und schlanker Bäume mehr als 40% betragen, d.h. gerade diese Bäume werden ein statisch besonders wirksames Wurzelfundament ausbilden müssen.

Je tiefer die Wurzeln in das Erdreich eindringen können, desto besser ist die Verankerung. In felsigem Gelände zwingen Bäume ihre Wurzeln in Felsspalten ein und legen sich um Steine, dies führt zu einer besonders wirksamen Verankerung. Auf Standorten, die eine Tiefenverankerung nicht zulassen (flach anstehendes Gestein, extreme Dichtlagerung, Luftmangel etc.) wird bei ausreichenden Ernährungsbedingungen der Befestigungsapparat oberflächlich ausgelegt; es laufen dann starke Horizontalwurzeln viele Meter an der Bodenoberfläche dahin, von denen Senker so tief als möglich in das Erdreich hineinwachsen. Wurzeln an der Leeseite der Bäume sind dabei besonders stark und mit einem statisch für die Aufnahme von Druck günstigerem, brettartigem Querschnitt versehen (Stützwurzeln) nach MITSCHERLICH auch mit einem T-Träger-ähnlichen Querschnitt. Auf der Luvseite der Bäume findet man vor allem lange, seilartige Wurzeln, die hohen Zugkräften standhalten können (Zugw.)

Nach RIEDL (1937) zeigen mechanisch nicht beanspruchte Wurzeln nur ein geringes Dickenwachstum und können aufgrund der geringeren Holzfaserproduktion in der Wurzel ihrer Aufgabe des Wasser- und Nährstofftransportes aufgrund ihrer größeren Porosität besonders gut nachkommen.

ADVENTIVWURZELBILDUNG

Adventivwurzeln sind solche Wurzeln, die außerhalb des normalen Wurzelsystems entstehen. So entstehen bei Lichtentzug und Feuchtigkeit am Stamm fast aller Baumarten

Adventivwurzeln. Dies wird noch gefördert durch eine Hemmung des bereits ausgebildeten Wurzelwerkes durch z.B. nasse Standorte, Überdeckung.

So bilden nach RAUH (1939, 1942) Weiden, Tamarisken, Ulmen, Ahorn, Eschen sowie einige Koniferenarten adventive Wurzelstockwerke z.B. nach Verschüttungen aus, bei Fichte und Strobe Adventivwurzelbildung auch nach zu tiefem Pflanzen oder in hohem Auflagehumus.

Ebenso bei Verletzung des Stammes; so beschreibt VOGTHERR (1910)

Adventivwurzelbildung am Stamm junger Rotbuchen oberhalb von Mäusefraßwunden.

Adventivwurzelbildung kann man auch in niederschlagsreichen Gebieten an Fichtenästen, die



den Boden berühren, beobachten.

Nach DINCKELACKER (1964) auch in hohlen, alten Bäumen, wahrscheinlich als Ersatz für ausgefallene Teile des Wurzelwerkes.

Nach G. SINN kommt es auch zu einer Bildung nach mechan. Beschädigung von Wurzeln als Ersatz für die ausgefallenen Teile und deren Funktionen (z.B. bei Gefährdung der Standsicherheit des Baumes Bildung sogen. „Klammerwurzeln“).

HOLZERZEUGUNG IM WURZELSYSTEM

Diese ist von verschiedenen Faktoren abhängig, so fanden z.B. BURGER (1931) und WELLER (1965) die intensivste Durchwurzelung bezogen auf die Sproßmasse auf nährstoffarmen und trockenen Böden (Notwendigkeit der Wasser- und Nährstoffversorgung).

Nach WAGENKNECHT (1960), LEMKE (1956) und MC MIM (1963) wirkt sich auf Ausdehnung, Tiefe und Intensität des Wurzelwerkes auch die soziologische Stellung des Baumes im Bestand (Stamm- und Kronendimension) aus.

Anteil von Wurzelmasse an der gesamten Baummasse: Kiefer

10%-15%,

Eiche 14%-20%,

Buche 5%-15%,

Fichte 15%-25%.

15. LEBENSRYTHMUS

Alle heimischen Baumarten (außer in den schon genannten Sonderfällen) keimen mit einer Vertikalwurzel.

Bei Eiche, Tanne und Kiefer wächst sie rasch in die Tiefe, bei Birke, Bergahorn, Lärche und Schwarzerle stirbt sie häufig frühzeitig ab.

- Die Horizontalwurzeln eilen von Anfang an der Kronenentwicklung (Kronentraufe) voraus, ihr Durchmesser nimmt auf den ersten Metern stark, im weiteren Verlauf nur langsam ab.

- Längenwachstum pro Jahr nach WAGENHOFF (1938) und JOACHIM (1953): Kiefer: 1,00 m - 1,50 m; auf mittleren Standorten 0,80 m - 0,85 m; auf humusfreien Aufschüttungsböden maximal 3,00 m - 4,00 m.

- Nach HOFFMANN et al (1968) beträgt der maximale Tageszuwachs von Wurzeln: Robinie und Pappel bis zu 50 mm, Kiefer bis zu 12 mm. - Vor allem die Feinwurzeln von Bäumen sterben aus Regenerationsgründen periodisch ab, im Alter auch größere Teile des Wurzelsystems ganz.

16. ORIENTIERUNG DER WUCHSRICHTUNG

Diese wird beeinflusst vor allem durch die Schwerkraft (Geotropismus, wahrscheinlich angeregt durch Statolithenkörner in den inneren Wurzelhaubenzellen), bodenbedingte Hemm- und Reizwirkungen sowie das "Bestreben" der Wurzeln, möglichst weit voneinander entfernt zu bleiben (= maximale Bodenerschließung).

16.1. GEOTROPISMUS

- Die Keimwurzel wächst positiv geotrop.

- Seitenwurzeln erster Ordnung wachsen plagiogeotrop, d.h. sie zweigen horizontal bis schräg nach unten gerichtet von der Hauptwurzel ab.

- Seitenwurzeln zweiter und höherer Ordnung zeigen überhaupt keinen Geotropismus und können den Boden allseitig durchdringen.

So entsendet die Buche nach HILF (1927) gelegentlich Wurzelbüschel von tieferliegenden



Horizontalwurzeln nach oben.

TOXISCHE AUSSCHIEDUNGEN DER WURZEL

PAPADAKIS (1941, zitiert nach Grümmer 1955) kam bei Bodenuntersuchungen zu der Auffassung, daß "die lebenden Wurzeln der meisten Pflanzen den Boden in ihrer nächsten Umgebung vergiften und daher genötigt sind, sich weiter im Boden auszubreiten, obgleich sie in dem ursprünglich eingenommenen Raum genügend Nahrung finden".

16.3. KONKURRENZ

KAELA (1937) beobachtete ein Ausweichen von Fichtenwurzeln gegenüber den Wurzeln der Weißerle;

KAELA (1942) gewann auch den Eindruck, daß junge Kiefernwurzeln denen älterer und besonders kräftiger Bäume auszuweichen suchten. Durch die Konkurrenz der Bodenflora können Baumwurzeln gezwungen werden, tiefere Bodenschichten aufzusuchen.

16.4. MYKORRHIZA

PRIEHAUSSER (1939) vermutet in der stark entwickelten Fähigkeit der Fichte, sich durch Pilzsymbiosen aus der Streudecke zu ernähren, einen Grund für die Neigung zur Flachwurzelligkeit.

Die Wurzeln von Erlen werden von einem Strahlenpilz befallen, der ihr Längenwachstum hemmt und unter büscheliger Verzweigung zu Knöllchenbildung führt (Luftstickstoffbindung).

17. MAXIMALE WURZELTIEFEN

Je nach Wasserversorgung und Bodenbelüftung finden sich in unseren Breiten Wurzeln in bis zu 10 m Tiefe.

Vertikalwurzeln in homogenem Substrat unter vergleichbaren Bedingungen: Robinie 2,00 m,
Birke 0,90 m,
Douglasie 0,50 m,
Roteiche 0,40 m.

18. MAXIMALE WURZELREICHWEITEN

Nach WAGENHOFF (1938) übertrafen die Horizontalwurzeln der Kiefer in deren Jugend die Kronenausweitung um das 4-5-fache, nach ERFELD bei 11-jährigen Kiefern mit bis zu 14 m Länge.

LITERATURVERZEICHNIS

BRAUN, H.J.: Bau und Leben der Bäume

INGENIEURBIOLOGIE: Wurzelwerk und Standsicherheit von Hängen Hrsg.: Prof. W. Pflug, Sepia Verlag

JENIK, J.: Das große Bilderlexikon des Waldes

KÖSTLER, J.N.; BRUCKNER, E.; BIEBELRIETHER, H.: Die Wurzeln der Waldbäume

MITSCHERLICH, G.: Wald, Wachstum, Umwelt Band I.



MITT. DTSCH. DENDROL. GES., 75, S. 105-113, 1984

MOHR, SCHOPFER: Pflanzenphysiologie, Springer Verlag

MOLISCH, H.: Empfindlichkeit der Wurzeln für Gase, Neuberts Dtsch. Gart. Mag., Stuttgart 1885

SCHINDLER: Wurzelentwicklung, ihr Wachstum. Die Gartenwelt, S. 248-249, Berlin 1924

SCHRÖDER, W.; SCHULZ, H.: Rettet den Wald. Wilhelm Heyne Verlag

SIEWNIAK, M.; KUSCHE, D.: Baumpflege heute, Patzer Verlag

SINN, G.: Standraumbedarf und Standsicherheit von Straßenbäumen, Band I.

STERN, H.; BIBELRIETHER, H.; BURSCHEL, P.; PLOCHMANN, R.; SCHRODER, W.; SCHULZ, H.: Rettet den Wald, Wilhelm Heyne Verlag

WALTER, H.: Grundlagen des Pflanzenlebens, 1950