© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die Wurzelsysteme der Pflanzen als Grundlage für ihre Verwendung zu ingenieurbiologischen Hangsicherungen

H. M. SCHIECHTL

Abstract:

For assessing the possibilities of nature conserving construction methods examples are presented showing the biotechnological abilities of root systems. Different root masses, root volumes and root stability of bushes and shrubs are listed in tables using data from literature and own investigations. The differences between construction methods are discussed in order to evaluate the results for practical application.

Einleitung

Um die Möglichkeiten naturnaher Bauweisen mit lebenden Pflanzen und Pflanzenteilen als Baustoff richtig beurteilen zu können, bedarf es eines umfangreichen Wissens über die biotechischen Fähigkeiten dieser Pflanzen.

Neben der Fähigkeit zur Rohbodenbesiedelung, der Resistenz gegen auftretende Erosionskräfte und damit gegen Bodenbewegungen, Verschüttung und Steinschlag, raschen Wuchs in der Jugend und hoher Aufbaukraft, müssen die Pflanzen gelegentlich auch Dürreperioden und Überflutung ertragen können.

Alle diese Anforderungen bedingen ein leistungsfähiges Wurzelsystem zur Nahrungsaufnahme und zur Verankerung im Boden sowie die Fähigkeit zur Ausbildung adventiver Wurzeln.

Untersuchungen

Aus den genannten Gründen befaßte ich mich seit Beginn meiner Tätigkeit als Ingenieurbiologe mit der Untersuchung der Wurzelsysteme und ihrer Eigenschaften. Damals gab es zu dieser Thematik kaum Literatur.

Viele tausende Ausgrabungen und Ausspülungen im Rahmen meiner Tätigkeit bei der Wildbach- und Lawinenverbauung verschafften mir eine ausreichende Zahl von Meßdaten und Beobachtungsergebnissen, um zu generellen Aussagen zu gelangen.

Bereits 1949 begann I. RASCHENDORFER mit ihren Laboruntersuchungen über die Bewurzelungsfähigkeit und den Vegetationsrhythmus an vegetativ vermehrbaren Gehölzen (RASCHENDORFER 1953), denen bald gemeinsame Freilanduntersuchungen unter härteren Bedingungen folgten. Damit wurde geklärt, welche Pflanzenarten unter Baustellenbedingungen vegetativ vermehrbar sind und damit als Baumaterial für ingenieurbiologische Bauweisen in Betracht kommen. Diese ersten Arbeiten mündeten schließlich in die Standardwerke über die Weiden (SCHIECHTL 1992, 1996).

Die 1948 begonnenen Wurzeluntersuchungen wurden während meiner fast 50-jährigen Tätigkeit als Ingenieurbiologe stets weiterverfolgt und zwar sowohl bei den zahlreichen ausgeführten Verbauungen als auch in Form von Beobachtungen während und nach Naturkatastrophen.

Die Ausbildung der Wurzelsysteme

Sie hängt von verschiedenen Umständen ab:

- von der Pflanzenart
- von den Standortverhältnissen
- von der ingenieurbiologischen Bauweise

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

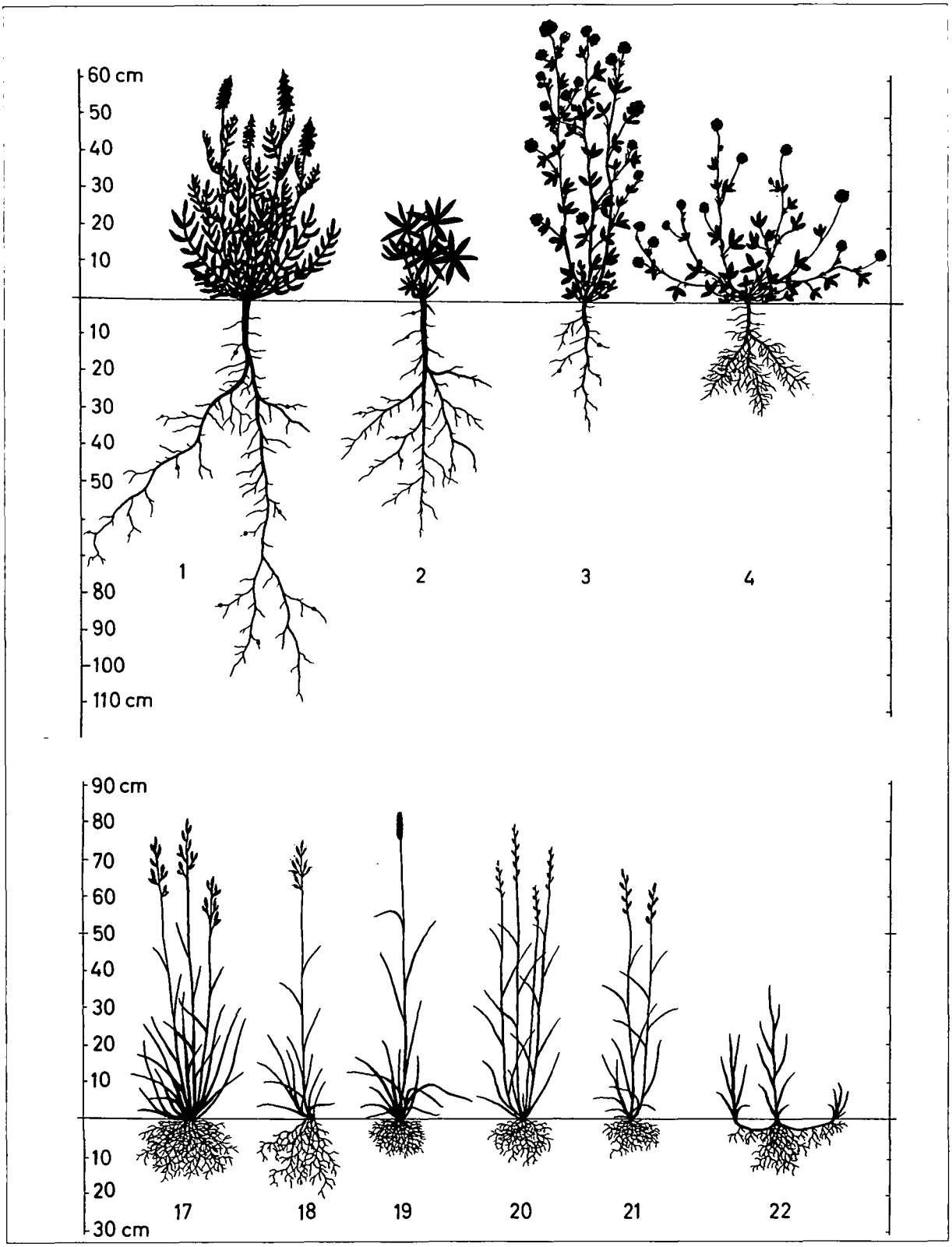


Abb. 1: Extensive Wurzelsysteme bei Leguminosen (oben) und intensive Wurzelsysteme bei Gräsern (unten). 2 Jahre alt.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

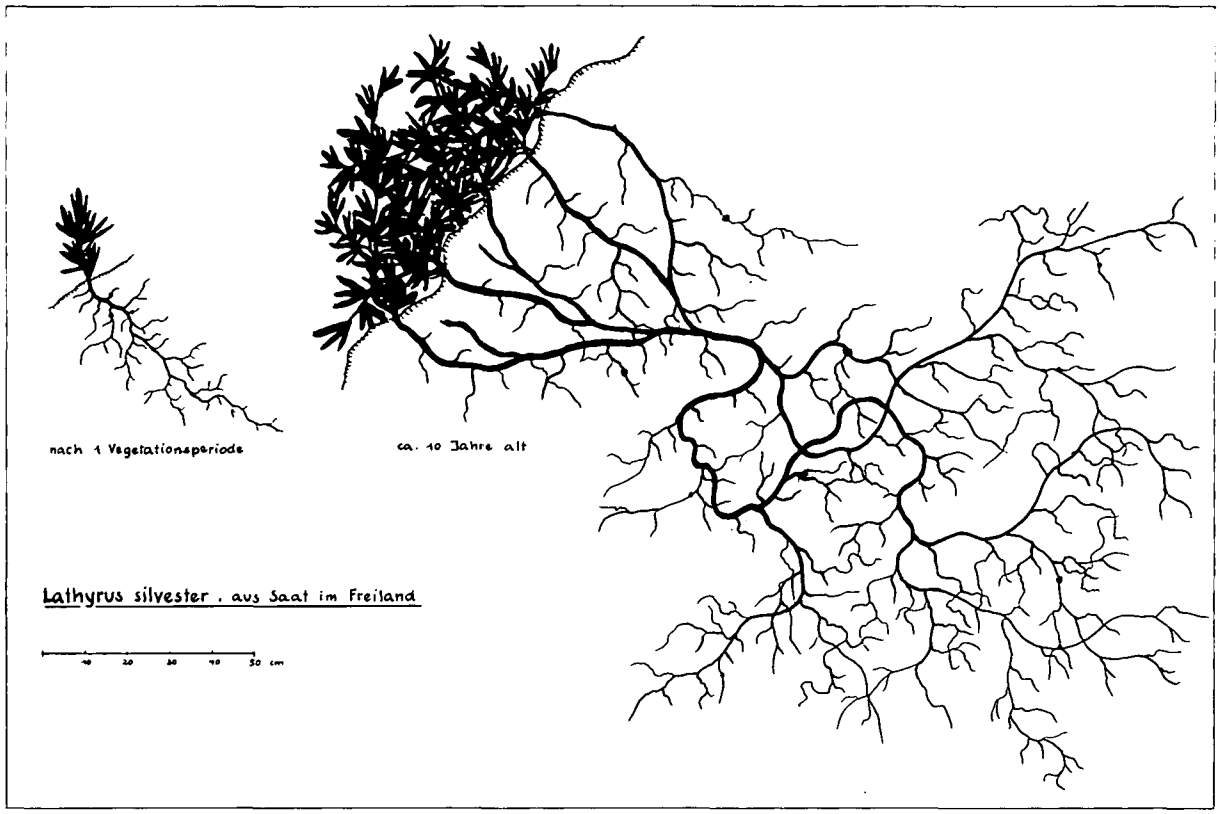


Abb. 2: Ausbildung eines extensiven Wurzelsystems bei Wald-Platterbse (*Lathyrus silvester*).

1. Abhängigkeit der Wurzelausbildung von der Pflanzenart

Die Tendenz zur Ausbildung einer bestimmten Wurzelform ist artspezifisch, ebenso aber auch das Verhältnis von Triebvolumen zu Wurzelvolumen und die Zugfestigkeit der Wurzeln.

In der Literatur wurden von zahlreichen Autoren immer wieder verschiedene Bezeichnungen für beobachtete Wurzelformen genannt, etwa Pfahlwurzeln, Herzwurzeln, Flachwurzeln, Senkerwurzeln etc.

Bei meinen zahlreichen Untersuchungen insbesondere von Rohboden besiedelnden Pflanzen stellte ich fest, daß es eigentlich nur drei Wurzeltypen gibt, denen alle bisher genannten zugeordnet werden können:

- Intensivwurzler
- Extensivwurzler und
- eine Kombination aus beiden.

1.1. Wurzelformen

Die Tendenz zur Ausbildung bestimmter Wurzelformen haben wir also als artspezifisch erkannt. Die tatsächlich ausgebildete Wurzelform hängt aber stets auch von den Standortverhältnissen ab, vor allem der Bodendichte, dem Nährstoffgehalt und der Wasserversorgung.

Sowohl bei einjährigen als auch bei perennierenden Stauden gibt es große Unterschiede in der Wurzelform. So dringen Gräserwurzeln im allgemeinen nicht sehr tief in den Boden ein und entwickeln meist ein Intensiv-Wurzelsystem, wogegen verschiedene Kräuter sehr rasch Bodentiefen von mehr als einem Meter erreichen, ganz besonders einzelne Leguminosen (Abb. 1,2).

Für die ingenieurbiologische Praxis ist die Mischung von Flach-und Tiefwurzlern anzustreben. Dies ist bei der Zusammenstellung von Samenrezepturen von großer Wichtigkeit (Abb. 3).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

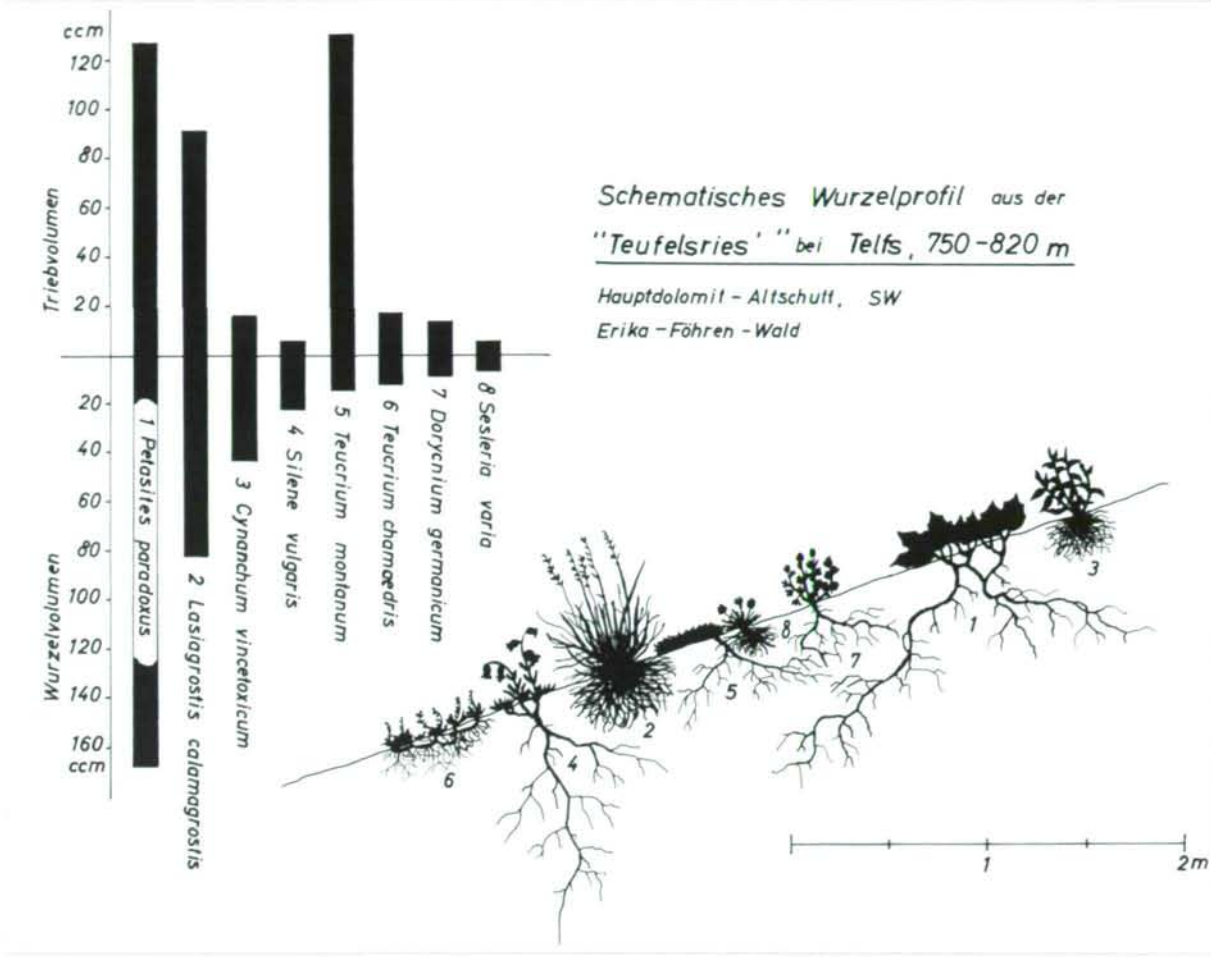


Abb. 3: Schematisches Wurzelprofil in einer Dolomitschutt-Rutschung.

1. 2. Wurzelmassen

Die Wurzelmasse spielt für die Bewehrung des Bodens eine große Rolle, genauso wie die Stahlmenge, die in einem Kubikmeter Beton enthalten ist.

Eine mehrjährige Rasengesellschaft weist eine Wurzelmasse von 300 bis 500 g/m² (Trockengewicht) auf, bei großem Anteil an Tiefwurzlern und Rhizompflanzen sogar ein Vielfaches davon. Sträucher und Bäume erreichen Wurzelmassen von einigen tausend Gramm pro Quadratmeter (Tabelle 1).

Tab.1: Wurzelvolumen spontaner Pionierpflanzen:

Sträucher (nur als Vergleichsobjekte, wobei relativ langsamwüchsige angeführt seien):

Alnus viridis, 15jährig	2300 cm³
Salix appendiculata, 12jährig	580 cm³
Dryas octopetala	11 cm³
Globularia cordifolia	11 cm³
Erica carnea	6 cm³

Stauden und Halbsträucher

1 *Epilobium angustifolium*	300 cm³
2 *Petasites paradoxus*	140-160 cm³
3 *Urtica dioicia*	160 cm³
4 *Aruncus silvester*	140 cm³
5 *Laserpitium latifolium*	120 cm³
6 *Petasites albus*	100 cm³
7 *Rubus idaeus*	100 cm³
8 *Angelica silvestris*	100 cm³
9 *Silene alba*	97 cm³

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

10 *Valeriana tripteris*	95 cm³
11 *Achnatherum calamagrostis*	82 cm³
12 *Rumex scutatus*	67,2 cm³
13 *Rumex acetosella*	50 cm³
14 *Cynanchum vincetoxicum*	43 cm³
15 *Calamagrostis epigeios*	38 cm³
16 *Taraxacum officinale*	32 cm³
17 *Tussilago farfara*	30 cm³
18 *Saponaria ocymoides*	30 cm³
19 *Silene vulgaris*	22 cm³
20 *Solanum dulcamara*	20,5 cm³
21 *Hieracium staticifolium*	20 cm³
22 *Adenostyles glabra*	20 cm³
23 *Hieracium aurantiacum*	15 cm³
24 *Calamagrostis varia*	15 cm³
25 *Calamagrostis villosa*	14 cm³
26 *Teucrium montanum*	14 cm³
27 *Gypsophila repens*	13 cm³
28 *Deschampsia caespitosa*	13 cm³
29 *Achillea moschata*	12,7 cm³
30 *Teucrium chamaedrys*	12 cm³
31 *Equisetum arvense*	11 cm³
32 *Carduus defloratus*	9 cm³
33 *Prunella grandiflora*	9 cm³
34 *Dorycnium germanicum*	9 cm³
35 *Hippocrepis comosa*	8,5 cm³
36 *Sesleria varia*	8,5 cm³
37 *Hieracium inthybaceum*	8,1 cm³
38 *Trisetum distichophyllum*	8 cm³
39 *Buphthalmum salicifolium*	7 cm³
40 *Euphorbia cyparissias*	6,9 cm³
41 *Fragaria vesca*	6 cm³
42 *Anthyllis vulneraria*	6 cm³
43 *Gnaphalium norvegicum*	6 cm³
44 *Leontodon hispidus*	5 cm³
45 *Cirsium arvense*	5 cm³
46 *Senecio fuchsii*	4 cm³
47 *Germanium robertianum*	4 cm³
48 *Campanula persicifolia*	4 cm³
49 *Leontodon incanus*	4 cm³
50 *Lotus corniculatus*	4 cm³
51 *Campanula cochleariifolia*	4 cm³
52 *Plantago lanceolata*	4 cm³
53 *Saxifraga mutata*	3,4 cm³
54 *Calamintha alpina*	3 cm³
55 *Thymus serpyllum* sp.	3 cm³
56 *Linaria alpina*	3 cm³
57 *Potentilla erecta*	3 cm³
58 *Galium pumilum*	3 cm³
59 *Cardamine impatiens*	2 cm³
60 *Carex flacca*	2 cm³
61 *Saxifraga aizoides*	2 cm³
62 *Festuca ovina*	1,8 cm³
63 *Biscutella laevigata*	0,6 cm³
64 *Parnassia palustris*	0,4 cm³
65 *Valeriana saxatilis*	0.2 cm³
66 *Luzula albida*	0,2 cm³

Die größten Wurzelmassen werden natürlich von mehrschichtigen Pflanzenbeständen erreicht, die also von Gräsern, Kräutern, Sträuchern und Bäumen gebildet werden.

Bei Pionierpflanzen auf Rohböden können wir feststellen, daß die Wurzelmassen oft die Massen der Triebe übersteigen, manchmal sogar um ein Mehrfaches. Meine Erhebungen ergaben, daß jene Pflanzen, deren Wurzelmasse größer als die Triebmasse ist, besonders wertvoll für die Festigung des Bodens sind (Tabelle 2).

Tab. 2: Verhältniswerte Triebvolumen: Wurzelvolumen spontaner Pionierpflanzen:

Sträucher

Salix glabra	2,4
Wurzelvolumen	2,4
Triebvolumen	1,0
Viburnum lantana	2,3
Erica carnea	2,0
Salix elaeagnos	1,8
Salix nigricans	1,8
Salix appendiculata	1,7
Alnus viridis	1,6
Salix purpurea	1,5
Fraxinus excelsior	1,5
Lonicera xylosteum	1,3
Ligustrum vulgare	1,2
Rhamnus cathartica	1,2
Acer pseudoplatanus	1,1
Populus tremula	1,1
Rubus idaeus	1,1
Hippophae rhamnoides	1,0
Globularia cordifolia	0,9
Rosa canina	0,9
Cornus sanguinea	0,7
Berberis vulgare	0,6
Dryas octopetala	0,6
Salix alba	0,5
Populus nigra	0,4
Salix triandra	0,4
Clematis vitalba	0,14

Stauden

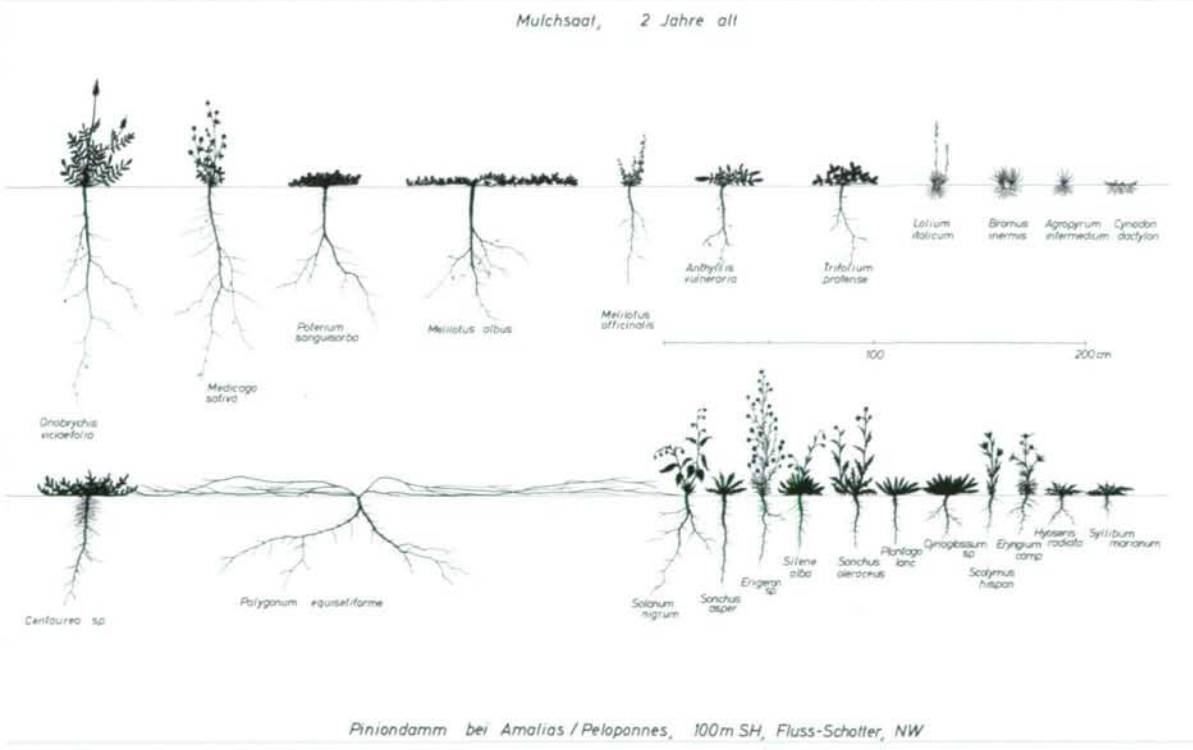
Equisetum arvense	5,5
Rumex scutatus	5,0
Silene vulgaris	3,7
Laserpitium latifolium	3,4
Leontodon hispidus	2,8
Cynanchum vincetoxicum	2,7
Hieracium murorum	2,6
Leontodon incanus	2,6
Trisetum distichophyllum	2,6
Prunella grandiflora	2,5
Rubus saxatilis	2,0
Valeriana tripteris	1,9
Hieracium staticifolium	1,8
Carduus defloratus	1,7
Campanula cochleariifolia	1,7

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Gypsophila repens	1,7
Deschampsia caespitosa	1,6
Calamagrostis villosa	1,6
Calamintha alpina	1,5
Geranium robertianum	1,5
Buphthalmum salicifolium	1,4
Petasites paradoxus	1,4
Sesleria varia	1,3
Taraxacum officinalis	1,3
Thymus serpyllum sp.	1,3
Calamagrostis varia	1,2
Epilobium angustifolium	1,1
Festuca ovina	1,1
Aruncus silvester	1,1
Achnatherum calamagrostis	1,0
Linaria alpina	1,0
Petasites albus	1,0
Solanum dulcamara	1,0
Adenostyles glabra	0,9
Artemisia absinthium	0,9
Potentilla erecta	0,9
Anthyllis vulneraria	0,8
Gnaphalium norvegicum	0,8
Hippocrepis comosa	0,8
Silene alba	0,8
Tussilago farfara	0,8
Achillea millefolium	0,7
Achillea moschata	0,7
Artemisia vulgaris	0,7
Lotus corniculatus	0,7
Urtica diocia	0,7
Saponaria ocymoides	0,7
Carex flacca	0,6
Dorycnium germanicum	0,6
Rumex acetosella	0,6
Senecio carniolicus	0,6
Saxifraga aizoides	0,6
Biscutella laevigata	0,5
Calamagrostis epigeios	0,5
Fragaria vesca	0,5
Hieracium inthybaceum	0,5
Campanula persicifolia	0,4
Cardamine impatients	0,4
Galium pumilum	0,4
Parnassia palustris	0,4

1. 3. Festigkeit der Pflanzenwurzeln

So wie bei der Bewehrung des Betons auch die Stahlgüte entscheidend ist, ist für die Festigkeit des Bodens nicht nur die Anzahl der Pflanzenwurzeln maßgebend, sondern auch die Zugfestigkeit derselben und die Scherfestigkeit des Verbundes Wurzeln/Boden.



Piniondamm bei Amalias / Peloponnes, 100m SH, Fluss-Schotter, NW

Abb. 4: Bewurzelung einer Mulchsaat in einem Trockengebiet nach 2 Jahren. Pinion-Staudamm, Peloponnes, Griechenland.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

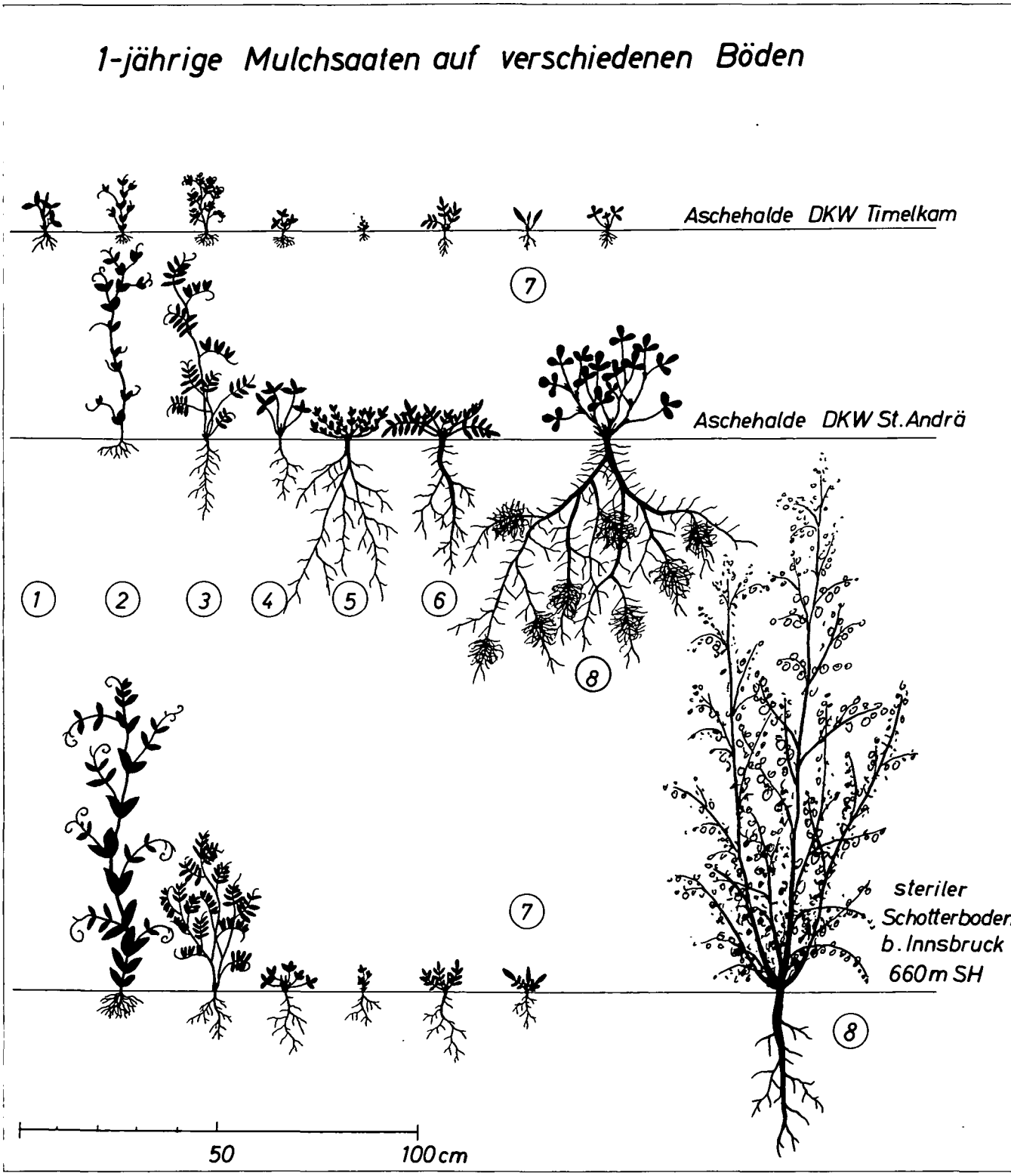


Abb.5: Unterschiedliche Bewurzelung einer Mulchsaat auf sterilem Kalkschotter und auf einer toxischen Braunkohlen-Aschehalde nach einem Jahr.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Aus diesem Grund hat schon STINY (1947) erste Versuche über die Zugfestigkeit von Pflanzenwurzeln ausgeführt, denen später weitere Autoren folgten.

Dabei ergaben sich erstaunlich hohe Werte (Tabelle 3). Diese Zahlen machen verständlich, warum lebende Bauwerke so stabil sind und enormen Kräften widerstehen können.

Tab. 3: Festigkeit von Pflanzenwurzeln in kg/cm²:

Species	Quelle	Max.	Min.	Mittel aus 15 Wiederholungen
Agropyron repens	STINY	253	72	
Amaranthus retroflexus	STINY	48	19	
Artemisia campestris	SCHIECHTL	264	91	
Atriplex patulum	STINY	306	93	
Campanula trachelium	STINY	37	0	
Capsella bursa pastoris	STINY	101	37	
Convolvulus arvensis	STINY	210	48	
Medicago sativa	SCHIECHTL	665	254	
Plantago lanceolata	STINY	74	40	
Plantago major	STINY	60	26	
Populus nigra	SCHIECHTL	120	49	
Rumex conglomeratus	STINY	62	14	
Salix fragilis	HILLER	255	97	179
Salix dasyclados	HILLER	256	94	177
Salix elaeagnos	HILLER	163	115	150
Salix helvetica	HILLER	240	76	139
Salix hastata	HILLER	178	86	131
Salix starkeana	HILLER	203	88	127
Salix cinerea	HILLER	122	89	109
Salix hegetschweileri	HILLER	145	68	94
Solanum nigrum	STINY	389	162	
Taraxacum officinale	STINY	44	0	
Trifolium pratense	STINY	185	109	
Scherfestigkeit von Pflanzenwurzeln in kg/cm²				
Artemisia campestris	SCHIECHTL	477	65	
Medicago sativa	SCHIECHTL	262	103	
Populus nigra	SCHIECHTL	105	101	

Es wurden auch bereits fiktive Einzelfälle durchgerechnet (HÄHNE 1997, OPLATKA 1995, SCHAARSCHMIDT & KONECNY 1971, SCHUPPENER 1997) und es gibt auch bereits eine deutsche Richtlinie zur Sicherung von Böschungen durch Pflanzen mit Berechnungsbeispielen (HOFMANN 1997).

Ich bin der Meinung, daß solche Berechnungen der Standsicherheit bei ingenieurbiologischen Bauwerken nur in Sonderfällen sinnvoll sind.

2. Abhängigkeit vom Standort

Trotz der geschilderten artspezifischen Ausbildung der Wurzelformen erfährt diese je nach Standort unterschiedliche Abweichungen und zwar je nach Nährstoffgehalt und Wasserversorgung, Dichte und Toxizität des Bodens.

Pflanzen, die in einem nährstoffreichen Boden wachsen, haben keinen Anlaß, in nährstoffärmere Schichten vorzudringen. Dasselbe gilt auch für gut wasserversorgte Oberböden. Auf Trockenstandorten hingegen tendieren die Pflanzen zum raschen Vordringen in tiefere, feuchtere Schichten (Abb. 4, 5) Auch auf toxischen Substraten kommt es schon im ersten Lebensjahr zu Abänderungen in der Ausbildung der Wurzelsysteme (Abb. 5).

Die Bodendichte übt einen starken Einfluß auf die Wurzelausformung aus.



Abb.6: Bewurzelung von Weiden-Steckhölzern in einem Steinpflaster über Bitumendichtung. 8 Jahre alt.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at



Abb. 7: Bildung von Adventivwurzeln nach Überschotterung eines Waldbestandes. Es ist deutlich erkennbar, daß die Fichten die Überschotterung schlechter ertragen als die Kiefern.

Stein und Beton kann natürlich nicht durchwurzelt werden. In Klüfte können jedoch bei beiden die Wurzeln sehr tief eindringen, ja dies sind sogar relativ günstige Verhältnisse für die Versorgung der Pflanzen mit Wasser und Nährstoffen. Durch den sekundären Dickenzuwachs der verholzenden Wurzeln kann es dann zu erheblichen Zerstörungen am Mauerwerk kommen.

Steine und Blöcke im Boden werden von den Pflanzenwurzeln umgangen (Abb. 6).

Dichte Bodenschichten, etwa aus Ton, oder künstlich hergestellte Abdichtungssysteme (z. B. Schmalwände) sind ein Hindernis für die Pflanzenwurzeln. Bisher wurde kein einziger Fall bekannt, bei dem es zu einer Durchwurzelung von Schmalwänden oder Dichtungskernen gekommen wäre.

In Erosionsgebieten finden immer wieder Niveauverschiebungen des Bodens statt, also Abtrag und Auflandung im Wechsel. Pionierpflanzen, die solche Standorte besiedeln, müssen deshalb die Fähigkeit besitzen, beides zu ertragen.

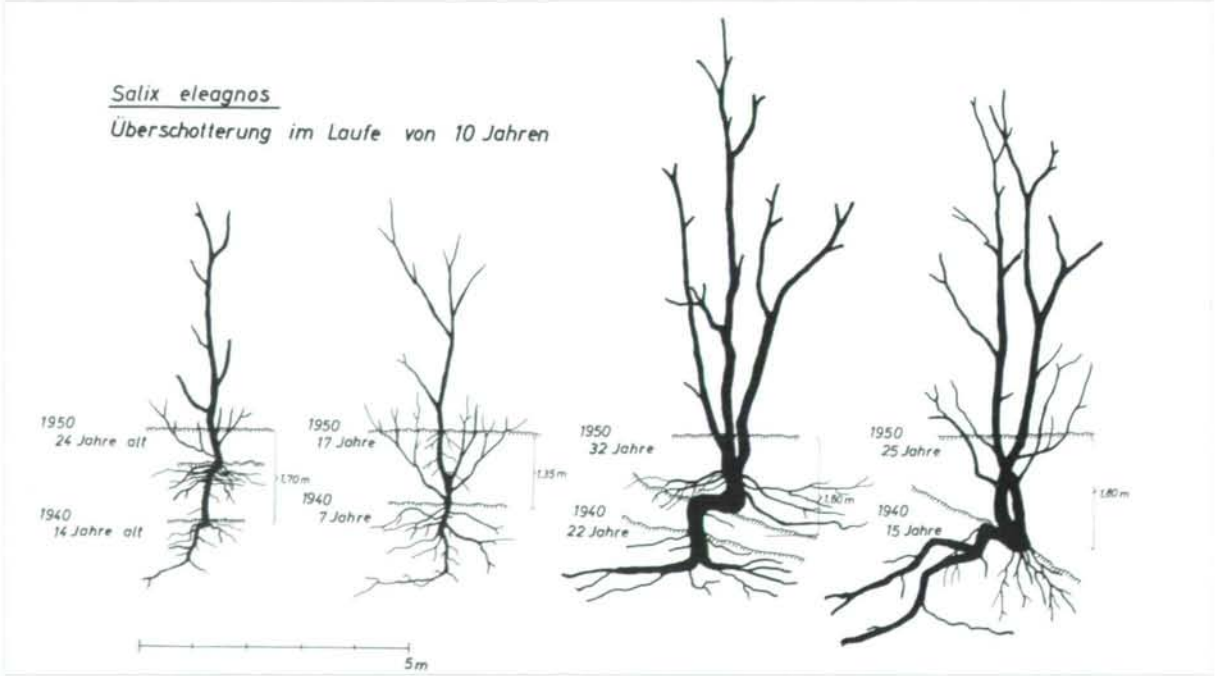


Abb. 8: Beispiele adventiver Wurzelbildung nach Überschotterung bei der Grauweide (*Salix elaeagnos*).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at



Abb. 9: Adventive Wurzelbildung bei einer Silberweide (*Salix alba*), die ein Jahr lang eingeschüttet war.

Viele Pflanzen reagieren auf derartige Ereignisse durch Bildung adventiver Wurzelsysteme, die schließlich nach Absterben der ursprünglichen Wurzeletagen die Aufgabe zur Nährstoffversorgung übernehmen (Abb. 7-9).

Eine weitere Reaktion auf Bodenbewegungen in Hängen, wo hierdurch dauernde Zugspannungen entstehen, ist die Ausbildung kräftiger Ankerwurzeln, die meist waagrecht in die Tiefe reichen oder sogar leicht nach oben gerichtet sind und offensichtlich den Pflanzen am Hang Halt geben sollen. KUMAGAI (mündliche Mitteilung) wies nach, daß solche Ankerwurzeln höhere Zugspannungen aufnehmen können als solche, die nur der Nährstoffaufnahme dienen.

Längere und periodische Überflutungen werden nur von wenigen Pflanzenarten schadlos ertragen, in Mitteleuropa vor allem von Weiden. Schadlose Überflutung in der Dauer von einigen Tagen bis zu sechs Wochen wurde bei

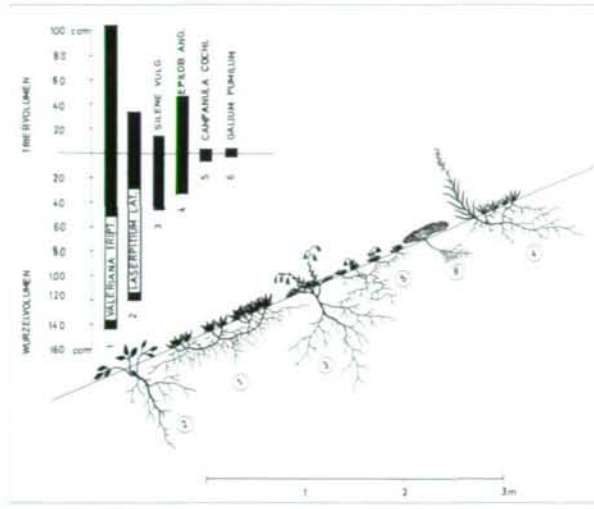


Abb. 10: Wurzelbildung in einer Ansaat auf einem Kalkschutt-Rohboden.

mehreren Weidenarten beobachtet, dauernde Überflutung bis zu einem Drittel der Stammhöhe jedoch nur bei der Silberweide (*Salix alba*).

Während der Überflutung bilden einige Weidenarten lange, quastenförmige, im Wasser flutende Wurzeln aus, die sich bei Rückgang des Hochwassers teppichartig auf die Uferböschung legen.

3. Abhängigkeit der Bodendurchwurzelung von der ingenieurbiologischen Bauweise

Je nach Einbauart der verwendeten Pflanzenarten erzielt man eine unterschiedliche Wurzelausbildung und damit auch einen unterschiedlichen Stabilisierungseffekt.

Bei allen DECKBAUWEISEN ist das vorrangige Ziel der Maßnahmen ein rasch eintretender Erosionsschutz durch die Abdeckung der Bodenoberfläche. Durch die Wahl von Flach- und Tiefwurzlern bei der Aufstellung von Samenrezepturen kann die Bodendurchwurzelung beeinflußt werden (Abb. 10). Durchwurzelung bis in etwa einem Meter Tiefe ist je nach Standort möglich.

Erheblich wirkungsvoller sind Stabilbauweisen und kombinierte Bauweisen.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

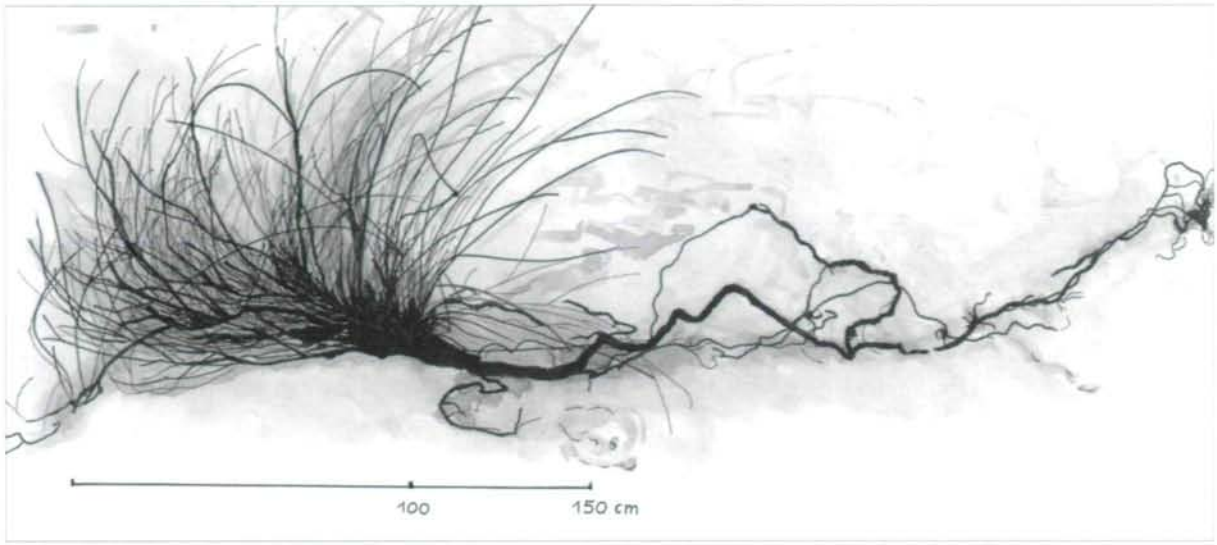


Abb. 11: Wurzelbildung bei einer Steinweide (*Salix purpurea purpurea*), die in 1900 m Seehöhe aus einem Steckholz entstanden ist. 90 Jahre alt.

Bei den STABILBAUWEISEN verwendet man in erster Linie ausschlagfähige Gehölze, daneben aber auch bewurzelte Heister von Pioniergehölzen.

Beide baute man einige Meter tief ein, wodurch sofort eine gute Stabilisierung der obersten Bodenschichten entsteht. Durch die adventive Bewurzelung der im Boden liegenden Äste verbessert sich die stabilisierende Wirkung und es entsteht ein Verbundsystem Wurzel/Boden (Abb. 11, 12).

Die kräftigsten Wurzeln werden in der Regel an der Basis der Äste - also am tiefsten im Boden - ausgebildet. Voraussetzung ist dafür, daß die Äste nicht waagrecht, sondern nach außen ansteigend (mindestens 10 Grad) eingebaut werden.

Auch hier ist die Wurzelbildung von der Bodenart abhängig. Dichte, tonige Böden werden schlechter durchwurzelt als durchlässige.

Bei den KOMBINIERTEN BAUWEISEN verbindet man lebende Baustoffe mit nicht lebenden, also z. B. Steinen, Holz, Stahl, Kunststoffe.

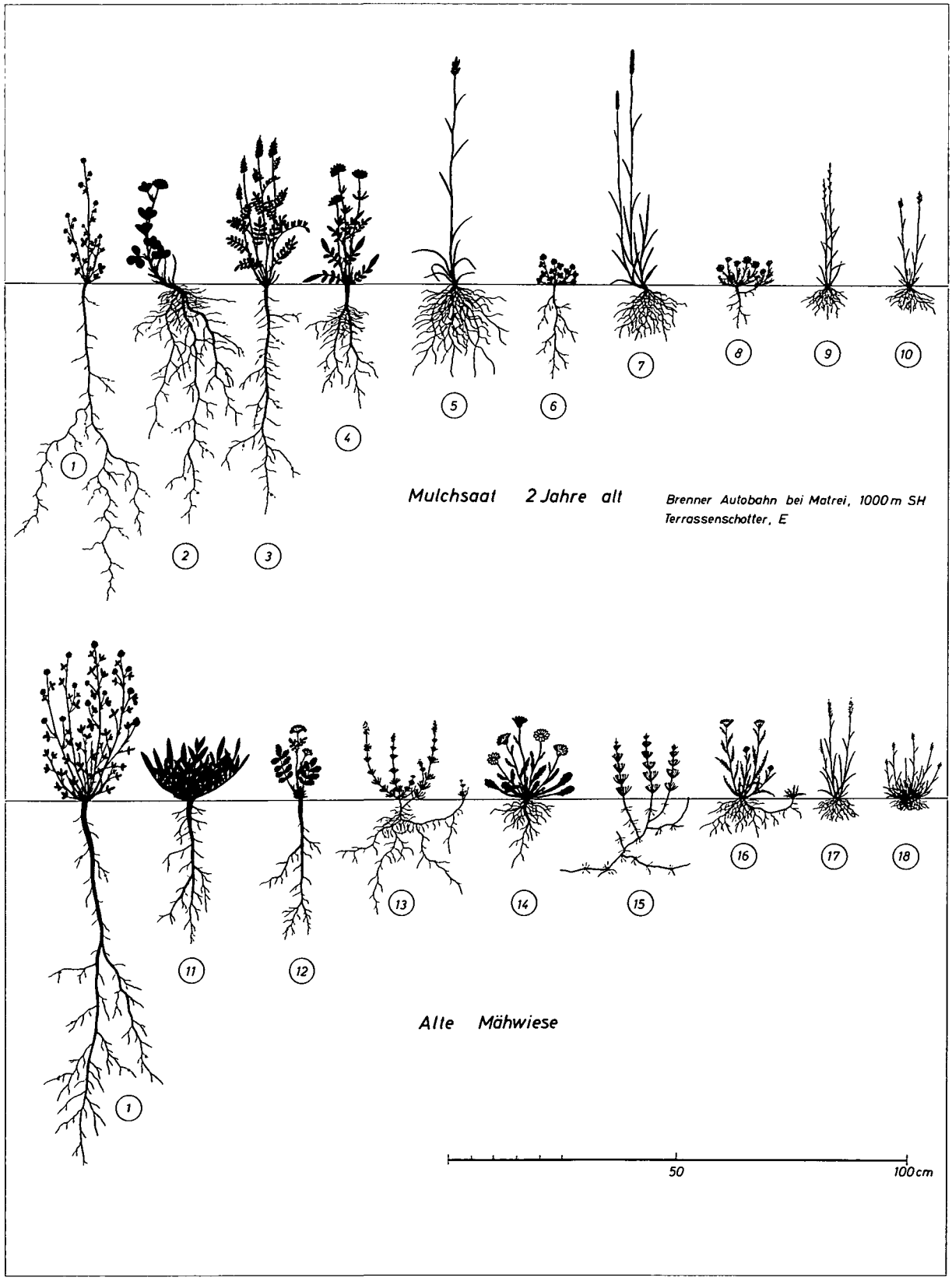
Infolge der Bewurzelung der eingebauten Gehölzpflanzen werden diese Bauwerke in den ersten Jahren stetig stabiler. Nach einigen Jahren übernehmen die angewachsenen Pflanzen die Funktionen der nicht lebenden



Abb. 12: Wurzelbildung bei einem Flechtzaun, der zum Uferschutz gebaut wurde. 12 Jahre alt.



© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at



© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Hartbaustoffe oder sie verbessern und verstärken das Bauwerk in seiner technischen, ökologischen und ästhetischen Wirkung (SCHIECHTL 1958, 1973, 1980, 1983, 1985). Kombinierte Bauweisen setzt man zur Stabilisierung labiler Hangabschnitte (besonders am Hangfuß) oder zur Entwässerung ein.

Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Möglichkeiten naturnaher Bauweisen werden Beispiele der biotechnischen Fähigkeiten von Wurzelsystemen vorgestellt. Unterschiedliche Wurzelmassen, Wurzelvolumen und Wurzelfestigkeit bei Sträuchern, Stauden und Halbsträuchern werden tabellarisch vorgestellt. Die Werte stammen aus der Literatur und aus eigenen Untersuchungen. Hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit der Ergebnisse werden die Unterschiede zwischen Deckbauweise, Stabilbauweise und kombinierter Bauweise diskutiert.

Literatur

HÄHNE K. (1997): Berechnung der standsicherheitserhöhenden Wirkung von Gehölzen. — Mitt. d. Ges. f. Ingenieurbiologie, Aachen **9**: 2-18.

HILLER H. (1966): Beitrag zur Beurteilung und zur Verbesserung biologischer Methoden im Landeskulturbau. — Diss. TU Berlin, D 83, Nr. 26: 140 S.

HOFMANN J. (1997): Eine neue Richtlinie zur Sicherung von Böschungen durch Pflanzen. — Wien. 3 S.

OPLATKA M. (1995): Beanspruchung von Weiden durch die Strömung. — Bundesamt für Straßenbau, Zürich. 57 S.

RASCHENDORFER I. (1953): Stecklingsbewurzelung und Vegetationsrhythmus. Einige Versuche zur Grünverbauung in Rutschflächen. — Forstw. Zentralbl. Wien **72**, 5/6.

SCHAARSCHMIDT G. & V. KONECNY (1971): Der Einfluß von Bauweisen des Lebendbaues auf die Standsicherheit von Böschungen. — Mitt. a. d. Inst. f. Verkehrswasserbau, Grundbau u. Bodenmechanik TH Aachen **49**: 1-90.

SCHIECHTL H. M. (1958): Grundlagen der Grünverbauung. — Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien **55**.

SCHIECHTL H. M. (1973): Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Grundlagen lebende Baustoffe-Methoden. — Callwey-Verlag, München: 244 S.

SCHIECHTL H. M. (1980): Bioengineering for land reclamation and conservation. — University of Alberta Press, Edmonton. Canada. 404 S.

SCHIECHTL H. M. (1983): Die Pflanze als Mittel zur Bodenstabilisierung. — In: Wurzelökologie und ihre Nutzanwendung. Intern. Symp. Gumpenstein 1982: 703-708.

SCHIECHTL H. M. (1985): Pflanzen als Mittel zur Bodenstabilisierung. — In: Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen. Jahrbuch d. Ges. f. Ing. Biologie, Aachen **2**: 50-62.

SCHIECHTL H. M. (1992): Weiden in der Praxis. Die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und Bestimmung. — Verlag Patzer, Hannover/Berlin. 130 S.

SCHIECHTL H. M. (1996): I Salici nell'uso pratico. — Edizioni Arca, Trento. 178 S.

SCHUPPENER B. (1997): Statistische Berechnung der lebend bewehrten Erde. — Wien, Univ. Bodenkultur. 5 S.

STINY J. (1977): Die Zugfestigkeit von Pflanzenwurzeln. — Durch den Verfasser übermittelte Separat-Abschrift.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Hugo Meinhard SCHIECHTL
Wurmbachweg 1
A-6020 Innsbruck
AUSTRIA

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Stapfia

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: 0050

Autor(en)/Author(s): Schiechtl Hugo Meinhard

Artikel/Article: Die Wurzelsysteme der Pflanzen als Grundlage für ihre Verwendung zu ingenieurbiologischen Hangsicherungen 295-307