

Unterschiedliche Klimaeinflüsse auf das Wurzel/Sprossverhältnis, die Wurzelmorphologie und Anatomie einiger Apiaceen

Monika Sobotik^{1*}

Zusammenfassung

Die Wirkung unterschiedlicher Klimaeinflüsse auf die Wurzelentwicklung wurde an einigen Apiaceen (*Daucus carota*, *Anthriscus sylvestris*, *Seseli libanotis*, *Ligusticum mutellina*, *Carum carvi* und *Peucedanum oreoselinum*) in im Boden versenkten Blechröhren untersucht. Die Versuchsstandorte erstreckten sich von der planaren (Obersiebenbrunn) über die colline (Klagenfurt), montane (Irdning) bis in die subalpine Stufe (Patscherkofel).

Das Wurzel/Spross-Verhältnis verändert sich sowohl bei Trockenheit wie auch bei Kältestress zugunsten der Wurzel. Die größten Unterschiede zeigten sich bei *Anthriscus sylvestris*. Der höchste Wert mit 13,7 wurde in Obersiebenbrunn und der niedrigste in Irdning mit 1,9 erreicht. Sehr empfindlich auf die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen reagierte das Xylem. Dies betrifft vor allem den Anteil an großlumigen Elementen sowohl an den verschiedenen Standorten wie auch in den unterschiedlichen Bodentiefen. Am kühlest Standort am Patscherkofel war besonders auffallend, dass bereits in 2 cm Bodentiefe zahlreiche weiltumige Xylem-Leitelemente auftraten.

Summary

The influence of different climatic conditions on root development was investigated on examples of a few Apiaceae (*Daucus carota*, *Anthriscus sylvestris*, *Seseli libanotis*, *Ligusticum mutellina*, *Carum carvi* and *Peucedanum oreoselinum*). For this reason the plants were grown in tubes of sheet. The demonstration sites ranged from the planar (Obersiebenbrunn) to the colline (Klagenfurt), from the montane (Irdning) up to the subalpine region (Patscherkofel). The root/shoot ratio changed in drought as well in cold stress in favour of the root. The biggest differences showed *Anthriscus sylvestris*. The highest value 13.7 was reached at Obersiebenbrunn and the lowest at Irdning with 1.9. The width of the xylem element reacts very sensitive on different climatic conditions. It concerns especially the part of xylem elements with great width on different sites as well as in different soil depths. At the coolest habitat on Patscherkofel it was remarkable that there were many xylem elements with great width in already 2 cm soil depth.

Einleitung

Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluss sehr unterschiedlicher Klimaeinflüsse auf Spross- und Wurzelentwicklung von genetisch weitgehend gleichen Pflanzen verschiedener Arten zu erfassen. Dafür wurden Standorte unterschiedlicher Höhenstufen und Arten ausgewählter Apiaceen wie *Ligusticum mutellina* und *Anthriscus sylvestris* als Beispiele kühlerer und *Daucus carota*, *Seseli libanotis* und *Peucedanum oreoselinum* als solcher wärmerer Wachstumsbedingungen gewählt.

Erste umfangreiche experimentelle Untersuchungen zur Klärung der Frage inwieweit sich genetisch einheitliches Pflanzenmaterial durch unterschiedliche Klimaeinflüsse verändert wurden bereits 1891 von KERNER v. MARI-LAUN angelegt. Er beobachtete folgende Veränderungen: die Tieflandformen blieben auf der Alm kleiner, bildeten weniger und schmalere Blätter, aber stärker gefärbte Blüten. Sie unterschieden sich aber deutlich von den dortigen Gebirgsformen. Ähnliche Versuche stellten BONNIER (1920) und TURESSON (1922-1931) an. BONNIER kam zu dem Schluss, dass sich der klimatische Einfluss besonders stark verändernd auswirkt. TURESSON hingegen

bewertete den Einfluss der Standortunterschiede auf die Gestalt der Pflanzen nur modifizierend. Die Versuche von CLAUSEN, KECK und HIESEY (1932) in Kalifornien konnten den Einfluss der erblichen Komponenten von jenen der Umwelt deutlich unterscheiden. Dies traf besonders auf die Ruhezeiten zu, weil sie teils erblich fixiert, teils ökologisch verursacht wurden. So konnte den Küstenformen in 1.400 m zwar eine Winterruhe aufgezwungen werden, doch behielten sie ihre ursprüngliche Sommerruhe bei. Dadurch gingen die Arten nach längstens zwei Jahren aus Mangel an Speicherstoffen zu Grunde.

Material und Methoden

Für die vorliegende Arbeit wurden besonders die Ergebnisse herausgegriffen, die bei künftigen Untersuchungen zur Erfassung der Auswirkung des Klimawandels interessant sein könnten.

Für die Auswahl der Standorte waren die Höhenstufen und das Vorhandensein einer Wetterstation mit Bodentemperaturmessungen bis in 1 m Tiefe entscheidend. Für den Standort der subalpinen Stufe waren allerdings nur Einzelmessungen möglich. Mit den Standorten Obersiebenbrunn,

¹ Pflanzensoziologisches Institut, Kempfstraße 12, A-9020 KLAGENFURT

* Ansprechpartner: Dr. Monika Sobotik, monika.sobotik@aon.at

Tabelle 1: Seehöhe, Neigung und Klimadaten der vier Versuchsstandorte im Versuchsjahr (Sept. 80 bis Aug. 81) VJM = Versuchsjahresmittel, VJN = Versuchsjahresniederschlag

Standorte		Obersiebenbrunn	Klagenfurt	Irdning	Patscherkofel
Lage	Seehöhe in m ü.A. Neigung in °	150 0	448 0	710 18 S	1964 0
VJM in °C	Sept. 80 – Aug. 81	8,7	8,1	6,4	2,3
VJN in mm	Sept. 80 – Aug. 81	519,4	941	1088,9	1023
Schneebedeckung Beginn Ende	9/1980–8/1981	5.11. 24.2.	3.11. 14.3.	9.10. 31.3.	8.10. 29.5.
heitere Tage	1960/61–1969/70	42,1 24	31,6 45	59,8 19	47,7 39
Tage mit Spätf.	9/1980–8/1981	15.3.–30.4. 5	15.3.–30.4. 11	31.3.–30.4. 5	schneebed.
Eistage	9/1980–8/1981	24	42	42	103
Bodentemp. 10 cm Tiefe	Messwerte Aug. 1981	Max. 26,1 Min. 14,1	Max. 29,4 Min. 11,9	Max. 26,9 Min. 13,0	Max. 12,8 Min. 5,3

Tabelle 2: Zeit der Aussaat und der Beobachtungen während des Wachstums. ABb = Anfangsbeobachtung, ZwBd. = Zwischenbeobachtung

Standort	Aussaat	ABb	1. ZwBd	2. ZwBd
Obersiebenbrunn	24.09.1980	26.04.1981	16.07.1981	
Klagenfurt	20.09.1980	05.05.1981	07.07.1981	30.07.1981
Irdning	25.09.1980	09.05.1981	22.07.1981	
Patscherkofel	04.09.1981	07.06.1981	12.08.1981	

Klagenfurt, Irdning und Patscherkofel erstreckten sich die vier Versuchsstandorte von der planaren über die colline und montane bis in die subalpine Stufe.

Anlage der Versuche und Beobachtungstermine

Als Versuchspflanzen wurden einige Apiaceen verschiedener Wärmeansprüche ausgewählt (s. oben). In der vorliegenden Arbeit werden nur *Daucus carota* als wärmeliebende Art und *Anthriscus sylvestris* für etwas kühlere Ansprüche besprochen.

Daucus carota wurde am 28.05.1980 in Töpfen ausgesät, die Keimung erfolgte am 13.06.1980. Für die Kultur von *Anthriscus sylvestris* wurden „Kindl“ von Mutterpflanzen abgenommen und am 07.05.1980 in Töpfe gepflanzt. Bis zur Aussaat standen die *Daucus* Pflanzen im gut belüfteten Kalthaus und die *Anthriscus* Jungpflanzen im Feldbeet. Zwischen 4.9. und 25.9. erfolgte die Aussaat an den Versuchsstandorten. Es wurden jeweils 5 Pflanzen je Art und Standort gesetzt. Die Beobachtung der Pflanzen erfolgte im Frühling und Sommer und die Ausgrabung im September. Die Aussaat erfolgte in verzinkte Eisenblechrohre mit einem Durchmesser von 20 cm und einer Länge von 50 cm. Diese wurden im Boden versenkt (Abbildung 1). Die Versuchsröhren wurden je Art mit der Erde der gleichen Herkunft befüllt. Die Erde stammte jeweils von Standorten, an denen die betreffende Art an natürlichen Standorten gut gedieh. Für *Daucus carota* war es ein Braunlehm von Pürgg und für *Anthriscus sylvestris* eine Braunerde aus Irdning.

Die Blechrohre wurden je Versuchsstandort soweit es der teils felsige Untergrund des Bodens erlaubte im Abstand von 25 cm eingesenkt. Aufgrund der nach unten offenen Versuchsgefäße wurden die Pflanzen den natürlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt. Eine Bewässerung fand nirgends statt.

Morphologische und anatomische Untersuchungsmethoden

Das Ausgraben der Pflanzen geschah in der Weise, dass man die Rohre freilegte, durch Drehen anhub, sodass die in dem Rohr enthaltene Erdsäule mit den Wurzeln frei stehen blieb.

Aus der so freistehenden Erdsäule konnte man die Wurzeln mit einer Reißnadel durch trockene Präparation freilegen (vgl. Arbeitsverfahren bei KUTSCHERA 1960). Die räumliche Verteilung der Wurzeln in den Erdsäulen wurde durch Fotografie und Skizzen festgehalten.

Der Transport der freigelegten Pflanzen geschah in dicht verschlossenen Plastiksäcken, sodass auch nachher das Gewicht von Spross und Wurzel bestimmbar war. Anschließend konnte der oberirdische Teil gepresst und der unterirdische nach Aufquellen in 25–30 ° warmem Wasser für 2 Tage in eine Fixierlösung gelegt werden, bestehend aus 4%igem Formaldehyd, Glycerin und Wasser im Verhältnis 2:1:1 + 6 ml Eisessig je Liter Fixierflüssigkeit. Die fixierten Wurzelsysteme wurden in weitestmöglicher Annäherung an ihre ursprüngliche Lage anhand der vorher angefertigten Skizzen und Lichtbilder auf nassem schwarzem Stoff aufgelegt und aufgenäht. In diesem Zustand konnten die



Abbildung 1: Im Boden versenkte Versuchsröhren, die Leerräume zwischen den Röhren wurden wieder mit der ausgehobenen Erde ausgefüllt und über die Vegetationszeit von Unkraut freigehalten.



Abbildung 2: Freigelegtes Wurzelsystem, an Ort und Stelle. *Seseli libanotis*, einzelne unter die Röhre gewachsene Wurzeln wuchsen in Richtung der Oberfläche.

Tabelle 3: Mittelwerte der Zahl und Länge der Grundblattrosetten von *Daucus carota* und *Anthriscus sylvestris* nach der Überwinterung

Ort	Art	Zahl der Pfl.	Tag der Beobachtung	Zahl der Rosettenblätter MW	Länge der Rosettenblätter in cm MW
Obersiebenbrunn	<i>Daucus carota</i>	3	26.04.1981	6,3	12,6
Obersiebenbrunn	<i>Anthriscus sylvestris</i>	3	26.04.1981	6,4	14,2
Klagenfurt	<i>Daucus carota</i>	5	05.05.1981	6,0	7,8
Irdning	<i>Daucus carota</i>	5	09.05.1981	5,8	15,2
Irdning	<i>Anthriscus sylvestris</i>	3	09.05.1981	5,4	20,6
Patscherkofel	<i>Daucus carota</i>	5	07.06.1981	4,0	5,8
Patscherkofel	<i>Anthriscus sylvestris</i>	5	07.06.1981	3,0	13,4

Tabelle 4: Wuchshöhen zum Zeitpunkt der Wurzelfreilegung von *Daucus carota* und *Anthriscus sylvestris*

Ort	Art	Zahl der Pfl.	Tag der Freilegung	Wuchshöhe			Wurzeltiefe in cm MW
				MW	Min.	Max.	
Obersiebenbrunn	<i>Daucus carota</i>	3	24.08.1981	92,0	77	105	55
Klagenfurt	<i>Daucus carota</i>	5	06.09.1981	104,6	75	130	55
Irdning	<i>Daucus carota</i>	5	23.09.1981	143,0	112	160	70
Patscherkofel	<i>Daucus carota</i>	5	07.10.1981	36,0	24	44	35

präparierten Wurzeln gut fotografiert werden und bildeten so die Grundlage für die Auswertung in Bildtafeln. Für die anatomischen Untersuchungen konnten die auf Stoff angehängten Wurzeln an den vorgesehenen Stellen abgeschnitten und in Extrafäschchen in Fixierflüssigkeit gegeben werden. Die anatomischen Untersuchungen erfolgten einerseits jeweils von der dicksten Seitenwurzel 1. Ordnung nahe Basis in 2, 20 und 30 cm von der Basis und andererseits wurden jeweils aus den gleichen Bodentiefen ähnlich dicke Wurzeln von verschiedenen Wurzeln ausgewählt. Als Beispiel für die anatomischen Untersuchungen wurde nur *Daucus carota* ausgewählt. Die anatomische Untersuchung der Versuchspflanzen erfolgte anhand von 15–20 µm dicken Mikrotomschnitten von fixiertem Material.

Ergebnisse

Beobachtung der Versuchspflanzen nach der Überwinterung

Von *Daucus carota* überwinterten von fünf je Standort ausgesetzten Pflanzen mit Ausnahme von zwei Pflanzen in

Obersiebenbrunn alle. Mehr Ausfälle gab es bei *Anthriscus sylvestris* und zwar überwinterten nur am Patscherkofel alle. Auf den anderen Standorten überwinterten überall nur drei Pflanzen. Bei der Grundblattrosette von *Daucus carota* und *Anthriscus sylvestris* war deutlich, dass mit zunehmendem Jahresmittel die Zahl der entfalten Blätter deutlich zunahm. Hinsichtlich der Länge der Blätter waren die vom Patscherkofel am kürzesten, die längsten Blätter waren bei beiden Arten in Irdning zu finden.

Die höhere Oberbodenfeuchte und die geringe Zahl der Tage mit Spätfrösten sowie das höhere Temperaturminimum zur Zeit der Entwicklung der Blätter im Vergleich zu Klagenfurt förderte in Irdning das Längenwachstum. In Obersiebenbrunn waren zwar gleich viele Tage mit Spätfrösten, aber die zeitweise höhere Oberbodentrockenheit, die z.T. auch durch häufigen Wind bedingt ist, dürfte sich auf eine Hemmung des Längenwachstums ausgewirkt haben.

Bei der Wuchshöhe von *Daucus carota* liegen die niedrigsten Werte am Patscherkofel, gefolgt von Obersiebenbrunn, Klagenfurt und Irdning. Die Höchstwerte in Irdning fallen zusammen mit den größten Blattlängen.



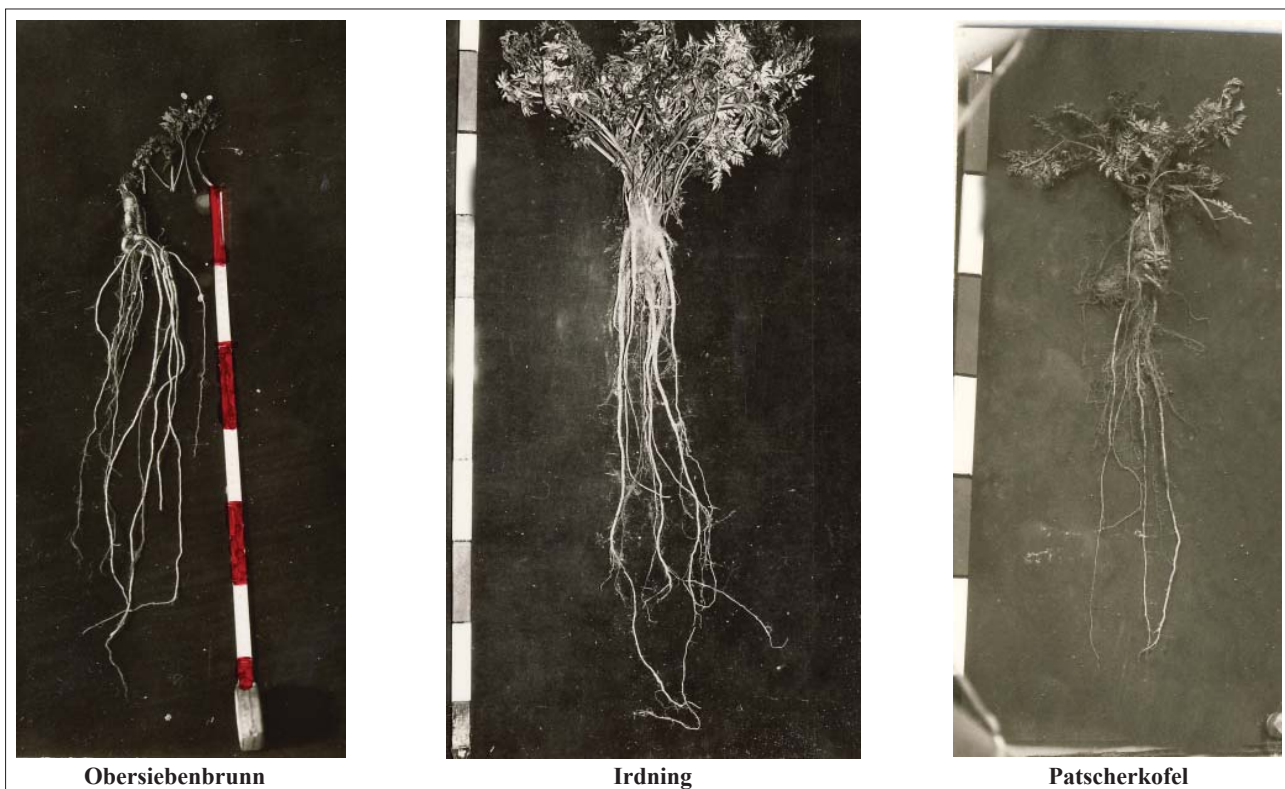
Abbildung 3: *Daucus carota*

Zur Wurzeltiefe kann nur so viel gesagt werden, dass sie mit Ausnahme am Patscherkofel noch in den Untergrund unter den Versuchsröhren reichte. Am Patscherkofel erreichte keine Pflanze die Versuchsröhrentiefe von 30–40 cm.

Morphologie Wurzel

Räumliche Anordnung

Die räumliche Anordnung der Wurzelsysteme bei Gefäßversuchen verwischt die sonst bei großen Standortsunter-

Abbildung 4: *Anthriscus sylvestris*

schieden feststellbaren Verschiedenheiten der räumlichen Wurzelverteilung auf natürlich gewachsenem Boden. Daher können auch bei diesem Versuch keine ökologisch gesicherten Aussagen über Unterschiede in der räumlichen Wurzelverteilung gemacht werden.

Einige Merkmale sind trotzdem erkennbar. So ist die zylindrische Anordnung der Wurzeln in Obersiebenbrunn am deutlichsten erkennbar. Auffallend ist auch, dass der Unterschied zwischen der Dicke der Polwurzel und der stärksten Seitenwurzel verhältnismäßig gering ist. Der auffallendste Unterschied der räumlichen Anordnung der Wurzelsysteme am Patscherkofel gegenüber jener auf wärmeren Standorten liegt in der starken Verkürzung der Wurzelsysteme, obwohl der Boden in den Röhren ein weiteres Tiefenstreben ermöglicht hätte. Andererseits konnten sich die Seitenwurzeln infolge des geringen Durchmessers der Versuchsröhren nicht wie es im subalpinen Raum an natürlich gewachsenen Böden zumeist der Fall ist, weiter ausdehnen.

Dicke von Wurzelhals, Polwurzel und Seitenwurzel

Die Dicke des Wurzelhalses ist infolge des durch Wassermangel oder durch Kälte gehemmten Wachstums der Pflanzen in Obersiebenbrunn und am Patscherkofel im Durchschnitt geringer als in Klagenfurt und Irdning. In Obersiebenbrunn und Irdning hat jedoch der größte Teil der Seitenwurzeln eine Dicke von 2,1–5,0 mm bzw. 2,1–6,5 mm. Am Patscherkofel hingegen die zahlreichen Seitenwurzeln nur eine Stärke von 0,1–2,0 mm. In dem kühlen Gebiet vertrocknen auch die feinen Seitenwurzeln nahe der Oberfläche nicht.

Frischgewichte von Wurzel und Spross von Daucus carota und Anthriscus sylvestris

Die beiden Arten unterscheiden sich schon dadurch sehr, dass bei *Daucus* alle Pflanzen im Jahr der Freilegung der Wurzeln zur Blüte kamen und bei *Anthriscus sylvestris* keine. Dadurch weist das Verhältnis von Wurzel und Spross bereits extreme Unterschiede auf. Das niedrigste Verhältnis von Wurzel und Spross wird bei den Arten in Irdning erreicht. Die für beide Arten ungünstigeren Klimabedingungen zeigen sich in einer Zunahme der Wurzelmasse. WERGER (1982) weist auf diese Strategie zur Überdauerung ungünstiger Wuchsbedingungen hin. In Obersiebenbrunn litt *Anthriscus* unter der Trockenheit am meisten. Am Patscherkofel hingegen litt *Daucus carota* deutlich mehr aufgrund der kühleren Witterungsbedingungen.

Wurzelanatomische Untersuchungen am Beispiel von Daucus carota

Deutlich unterscheidet sich die Größe der leitenden Xylem-Leitelemente so wie ihre Anordnung. Die anhaltende Kühle am Patscherkofel führte zur Bildung weitleumiger Elemente von nahezu gleicher Größe im gesamten Holzteil sowie zu einem geringen Anteil an Parenchymgewebe. In 2 cm Tiefe nimmt die Größe der Elemente des Xylems nur geringfügig ab. In 20 und 30 cm Tiefe unterbleibt diese Abnahme. Auf den übrigen drei Standorten kommt es hingegen zu einer weitgehenden Abnahme der größeren Elemente im äußersten Teil des Xylems, der zudem eine große Breite erreicht. Die Wurzeln von Irdning und Klagenfurt unterscheiden sich von denen in Obersiebenbrunn durch eine allmähliche Abnahme der Größe der Xylem-Leitelemente von innen nach außen.

Tabelle 5: Frischgewicht von Wurzel und Spross von *Daucus carota* und *Anthriscus sylvestris*

Ort	Art	Zahl d. Pfl.	Tag d. Freilegung	F-Gewicht in g Wurzel			Spross			WG SpG MW
				MW	Min.	Max	MW	Min.	Max	
Obersiebenbrunn	<i>Daucus carota</i>	3	24.08.	7,6	+7,4	-6,8	45,4	+59,7	-32,2	0,16
Obersiebenbrunn	<i>Anthriscus sylvestris</i>	3	24.08.	42,6	+60,6	-21,6	4,0	+6,1	-2,5	10,70
Irdning	<i>Daucus carota</i>	5	23.09.	23,3	+40,8	-12,5	243,2	+385,7	-160,4	0,10
Irdning	<i>Anthriscus sylvestris</i>	4	23.09.	112,0	+233,1	-50,7	58,0	+87,8	-14,5	1,90
Patscherkofel	<i>Daucus carota</i>	5	7.10.	3,0	+4,4	-1,3	17,4	+25,9	-5,7	0,20
Patscherkofel	<i>Anthriscus sylvestris</i>	4	7.10.	21,9	+38,0	-9,3	3,7	+6,1	-1,7	6,00

Tabelle 6: Durchschnittliche Fläche der leitenden Xylemelemente von Seitenwurzeln 1. Ordnung in den Bodentiefen 2, 20 und 30 cm, angegeben in μm^2 je Einheitsquadrat und Berechnung des T-Testes. XE = Xylemelemente.

Bodentiefe in cm	Ø Fläche der XE in μm^2	T-Wert Unterschiedswahrscheinlichkeit in %		
		2 cm	20 cm Tiefe	32 cm
2	1.165,4		-4,66 -99,9%	-4,97 99,9%
20	2.783,9			-1,88 94,0%
32	3.995,4			

Im trockenen Gebiet von Obersiebenbrunn verursacht hingegen die Zunahme der Trockenheit eine sprunghafte Abnahme der Weite der Xylem-Leitelemente. Auffallend war die Zunahme der Weite der Xylem-Leitelemente mit der Tiefe. Die durchschnittliche Fläche sowie die Anzahl der leitenden Xylem-Leitelemente je Flächeneinheit wurde mit Hilfe der Bildanalyse bestimmt.

Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass folgende Parameter witterungsabhängig sind: Zahl und Länge der Rosettenblätter, Wuchshöhe, Dicke des Wurzelhalses, der Pol- und Seitenwurzeln, Frischgewicht von Wurzel und Spross, Größe und Verteilung der Xylem-Leitelemente. Weitere Parameter sind: Verzweigungsgrad des Sprosses, Zahl der Blütendolden, Verzweigungswinkel der Seitenzweige, Reife der Samen, Größe und Zahl der Sekretgänge an vergleichbaren Wurzelquerschnitten. Für die Artenauswahl zur Anreicherung von C im Boden könnten Arten mit einem hohen Wurzel-Spross-Verhältnis hilfreich sein. Dieses könnte anhand ähnlicher Versuche ermittelt werden.

Eine wichtige Ergänzung wäre die Bestimmung der Wurzeltiefen zu den verschiedenen Beobachtungsterminen. Die Zahl der Versuchspflanzen müsste sich allerdings verdreifachen. Die Bestimmung des Tiefenwachstums zu diesen

Zeitpunkten wäre sehr aufschlussreich. Auch könnte in Versuchsröhren mit einer Länge von 1 m das Tiefenwachstum besser verfolgt werden. Der Gefäßdurchmesser muss den zu untersuchenden Arten angepasst werden. Inwieweit Parameter des oberirdischen Wachstums oder auch bestimmte anatomische Merkmale der Seitenwurzeln aus dem oberen Bereich korrelieren, damit sie für die Berechnungen der wahrscheinlichen Wurzeltiefen eingesetzt werden können, müssten weitere Versuche klären.

Literatur

- BONNIER, G., 1920: Nouvelles observations sur les cultures experimentales a diverses altitudes. Rev. Gén. Bot. 32: 305-326.
- CLAUSEN, J., D.D. KECK and W.M. HIESEY, 1941: Regional differences in plant species. The Amer. Naturalist 75/231-250.
- KERNER von MARILAUN, A., 1891: Pflanzenleben. – Bibliographisches Institut, Leipzig und Wien, Bd. II, 896 S.
- KUTSCHERA, L., 1960: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 574 S.
- SOBOTIK, M., 1982: Ökologische, morphologische, anatomische Untersuchungen am Beispiel einiger Apiaceen. Diss. Univ. Salzburg, 1-105.
- TURESSON, G., 1922-1931: Arbeiten in Hereditas 3, 4, 6, 7, 14, 15.
- WERGER, M.J.A., 1982: Wurzel/Spross-Verhältnis als Merkmal der Pflanzenstrategie. In: Böhm, W., Kutschera, L., Lichtenegger, E. (eds.) Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung: 323-334. BVA Gumpenstein, Irdning.