

**Zeitschrift:** Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel  
**Herausgeber:** Geobotanisches Institut der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel  
**Band:** 43 (1974)

**Artikel:** Konkurrenzuntersuchungen zwischen nah verwandten Arten von *Scabiosa columbaria* L.s.l.  
**Autor:** Grossmann, F. / Landolt, E. / Gigon, A.  
**Kapitel:** 2: Material und Methoden  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-377683>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Verdankungen

Die vorliegenden Untersuchungen wurden durch den Schweizerischen Nationalfonds unterstützt, dem wir zu grossem Dank verpflichtet sind. Dankbar sind wir allen Mitarbeitern des Geobotanischen Institutes, die bei der Pflege der Pflanzen, bei der Messung der Merkmale, bei der Auswertung und bei der Uebersetzung der Zusammenfassung mitgeholfen haben, insbesondere E. BRÄM, E. BROUILLET, B. EGGER, T. EGLOFF, A. HEGI, M. JOHNSEN, PD Dr. F. KLÖTZLI, A. LANDOLT, M. PORRET, L. ROOS, M. SIEGL, H. SIGG, PD Dr. K. URBANSKA. Bei der Wahl der Bodenzusammensetzung wurden wir von Prof. Dr. F. RICHARD und Prof. Dr. R. BACH beraten. Bei der Festlegung des Computer-Programms half uns Dr. F. SCHWENDIMANN. Auch dafür danken wir herzlich.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 *Material*

Die Herkünfte der drei verschiedenen Arten mit Standortsangaben sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Ueber das allgemeine Klima der Herkunftsorte geben die Klimadiagramme in Abb. 1 Auskunft. Die Herkunftsorte dürfen in bezug auf Klima und Vegetation als typisch bezeichnet werden.

Von den 3 Arten wurden an Ort und Stelle Samen gesammelt und im Winter 1966/67 im Gewächshaus ausgesät. Die jungen Pflanzen kamen im August 1967 nach Bildung einer kräftigen Rosette vom Gewächshaus in die verschiedenen Versuchsfelder und Kulturgefässe. Die Pflanzen der Kulturgefässe überwinterten im Freien und standen ab April 1968 unter den verschiedenen Temperaturbedingungen in den Gewächshauskammern. Im Herbst 1968 wurde die eine Hälfte der Pflanzen für Gewichtsbestimmungen verwendet, während die andere Hälfte in den Jahren 1969 und 1970 weiter untersucht wurde. Dann waren viele Pflanzen bereits eingegangen und die Konkurrenzbedingungen durch das Aufkommen von Jungpflanzen verändert, so dass der Versuch mit den Elternpflanzen abgebrochen wurde.

### 2.2 *Kulturbedingungen*

Die Versuche wurden in zwei Gruppen durchgeführt: Grundwasserbeckenversuche und Gewächshausversuche.

Tabelle 1. Standort und Herkunft der untersuchten Arten

|   | <i>S. lucida</i>                 | <i>S. columbaria</i>         | <i>S. gramuntia</i>               |
|---|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Kanton  | Graubünden                       | Zürich                       | Wallis                            |
| Lokalität   | Parsennmeder                     | Boppelserweid                | La Bâtiâz                         |
| Koordinaten   | 784.300/191.500                  | 673.900/257.900              | 571.500/106.050                   |
| Exposition  | SE                               | SSE                          | ESE                               |
| Neigung   | 30°                              | 25°                          | 40°                               |
| Höhe ü. M.  | 1950 m                           | 560 m                        | 500 m                             |
| Vegetation  | <i>Caricetum<br/>ferrugineae</i> | <i>Mesobrometum</i>          | <i>Festucetum<br/>vallesiacae</i> |
| Bewirtschaftung   | Mahd,<br>alle 2-3 Jahre          | Mahd,<br>1mal jährlich       | extensive Weide                   |
| Bodentyp  | alpine<br>Rasenbraunerde         | verbraunte<br>Mergelrendzina | Mergelrendzina                    |
| pH (frisch)   | 6.4                              | 7.2                          | 7.5 - 8.0                         |
| CaCO <sub>3</sub> in Feinerde                                     | 0,02 %                           | 23 %                         | 4 - 35 %                          |
| Stickstoff pro<br>100 g trockene<br>Feinerde im Ge-<br>lände      | 0 mg (15.8.68)                   | 0 mg (2.10.68)               | 0 mg (17.8.70)                    |
| nach 6 Wochen<br>Feuchtkammer                                     | 1,8 mg                           | 1,7 mg                       | 2,3 - 3,2 mg                      |
| mittlere Tempera-<br>tur <sup>1</sup> (April bis<br>Oktober)      | 6,7°                             | 12,7°                        | 14,9°                             |
| mittlere Nieder-<br>schlagsmenge <sup>2</sup><br>(April bis Okt.) | 93 cm                            | 74 cm                        | 45 cm                             |
| heitere Tage <sup>3</sup><br>(April bis Sep-<br>tember)           | 39                               | 39                           | 64                                |
| Sonnenschein-<br>dauer <sup>4</sup> (April<br>bis Oktober)        | 1162 Std.                        | 1336 Std.                    | 1484 Std.                         |

<sup>1</sup> Die mittleren Temperaturen sind einer Arbeit von SCHÜEPP (1960) entnommen (Stationen: Davos-Schatzalp, Zürich MZA, Martigny-Bourg)

<sup>2</sup> Die Niederschlagszahlen stammen von UTTINGER (1965). (Stationen: Davos-Schatzalp, Boppelsen, Martigny-Ville; die Summen von Davos-Schatzalp wurden um 25% erhöht, da nach der Niederschlagskarte von UTTINGER (1949) die Herkunftsstation entsprechend höhere Jahressummen aufweist.

<sup>3</sup> Die mittlere Anzahl der heiteren Tage im Sommer wurde aus einer Arbeit von MÖRIKOFER (1932) herausgelesen (Stationen: Davos, Zürich, Sitten).

<sup>4</sup> Die Angaben der Sonnenscheindauer sind einer Arbeit von SCHÜEPP (1962) entnommen (Stationen: Davos, Zürich MZA, Sitten).

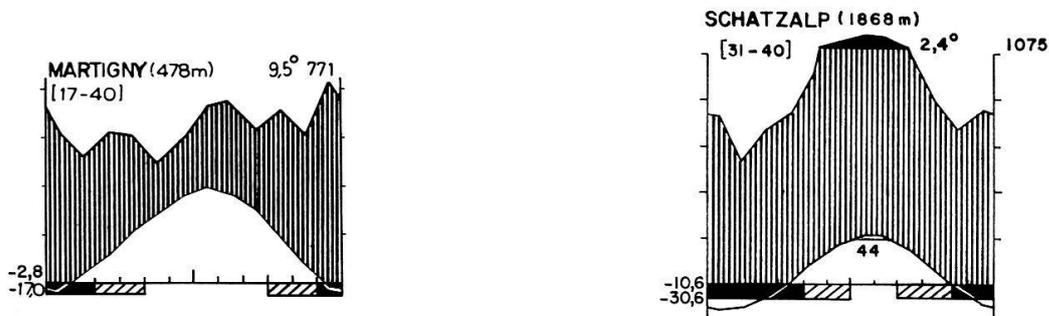
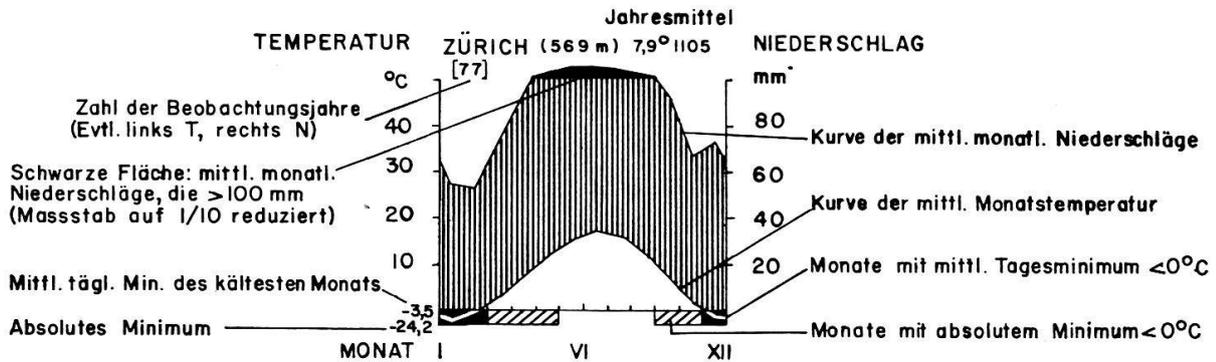


Abb. 1. Klimadiagramme der Stationen Davos-Schatzalp, Zürich und Martigny-Ville (nach WALTER und LIETH 1967). Die Diagramme von Davos-Schatzalp und Martigny-Ville wurden durch Minimaltemperaturen und die Frostangaben der Stationen Davos, bzw. Sion ergänzt.

### 2.2.1 Grundwasserbeckenanlage

Die im Freien gelegenen Grundwasserbecken (4,25m x 1,20m) in denen der Grundwasserstand auf je 25 cm Abstand konstant gehalten werden kann, eignen sich zur Untersuchung des Einflusses von Boden- und Niederschlagswasser und von Nährstoffkonzentrationen auf die Entwicklung von Pflanzen. Abb. 2 zeigt einen Längsschnitt durch ein solches Becken.

Ueber einer 30 cm tiefen Kiesschicht (karbonathaltige, meist über 3 cm dicke Steine), die nach oben mit Steinwatte abgedeckt ist, wurde

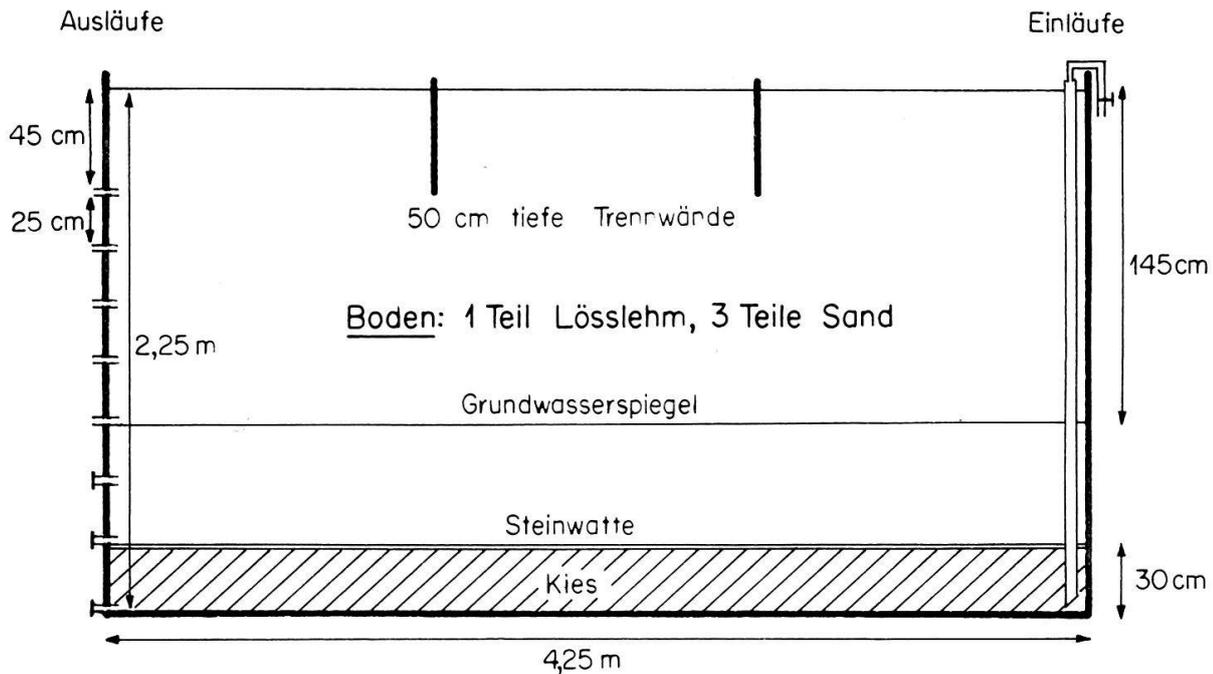


Abb. 2. Längsschnitt durch ein Grundwasserbecken im Freien

als eigentliches Bodenmaterial eine Mischung von Lösslehm zu Sand im Verhältnis 1 : 3 verwendet. Der Lösslehm stammt von Lengnau (Aargau), ist sehr nährstoffarm (ca. 1 g Stickstoff pro m<sup>3</sup> Boden) und karbonatfrei. Der beigemischte im Handel erworbene Sand von 0,2 - 2 mm Korndurchmesser ist karbonathaltig.

Die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse während der Vegetationszeit der Versuchsjahre sind in Tabelle 2 dargestellt (Messwerte aus der 100 m höher gelegenen Meteorologischen Zentralanstalt MZA, Zürich).

Tabelle 2. Monatliche Niederschläge (in mm) und monatliche Mitteltemperaturen (°C) in Zürich (MZA)

| Monat     | Jahr | Niederschläge |      |      | Mitteltemperaturen |      |      |
|-----------|------|---------------|------|------|--------------------|------|------|
|           |      | 1968          | 1969 | 1970 | 1968               | 1969 | 1970 |
| April     |      | 76            | 85   | 200  | 9,6                | 7,6  | 5,8  |
| Mai       |      | 105           | 74   | 95   | 11,7               | 14,0 | 11,2 |
| Juni      |      | 74            | 187  | 149  | 15,7               | 13,7 | 16,9 |
| Juli      |      | 82            | 58   | 105  | 16,9               | 18,4 | 17,1 |
| August    |      | 204           | 189  | 225  | 15,5               | 16,2 | 17,2 |
| September |      | 228           | 23   | 56   | 13,0               | 14,7 | 14,4 |
| Oktober   |      | 36            | 10   | 57   | 11,0               | 10,0 | 8,6  |

Die insgesamt 12 Becken bilden zwei Gruppen von je 6 Becken. Die untersuchten Bedingungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3. Bedingungen in den Grundwasserbecken (abgekürzte Bezeichnungen)

| Bedingungen                                 | Grundwasser<br>in cm unter der<br>Bodenoberfläche | Düngung<br>entsprechend<br>der jährlichen<br>Stickstoffzufuhr<br>in g pro m <sup>2</sup> | Berechnungs-<br>intervall in<br>Tagen |
|---|---|--|---------------------------------------|
| G <sub>45</sub>                             | 45  | 0  | natürlich                             |
| G <sub>45</sub> <sup>D</sup> <sub>3</sub>   | 45  | 3  | natürlich                             |
| G <sub>45</sub> <sup>D</sup> <sub>30</sub>  | 45  | 30   | natürlich                             |
| G <sub>145</sub> <sup>D</sup> <sub>0</sub>  | 145   | 0  | natürlich                             |
| G <sub>145</sub> <sup>D</sup> <sub>3</sub>  | 145   | 3  | natürlich                             |
| G <sub>145</sub> <sup>D</sup> <sub>30</sub> | 145   | 30   | natürlich                             |
| B <sub>7</sub> <sup>G</sup> <sub>45</sub>   | 45  | 3  | 7                                     |
| B <sub>7</sub> <sup>G</sup> <sub>95</sub>   | 95  | 3  | 7                                     |
| B <sub>7</sub> <sup>G</sup> <sub>145</sub>  | 145   | 3  | 7                                     |
| B <sub>28</sub> <sup>G</sup> <sub>45</sub>  | 45  | 3  | 28                                    |
| B <sub>28</sub> <sup>G</sup> <sub>95</sub>  | 95  | 3  | 28                                    |
| B <sub>28</sub> <sup>G</sup> <sub>145</sub> | 145   | 3  | 28                                    |

In den ersten 6 Becken (Becken 1 - 6) wurde unter normalen Niederschlagsbedingungen der Einfluss der Nährstoffkonzentration bei 2 verschiedenen Wasserständen (45 cm und 145 cm unter der Bodenoberfläche) geprüft. Drei verschiedene Nährstoffkonzentrationen kamen zur Anwendung: ungedüngt, schwach gedüngt und stark gedüngt. Als Dünger diente Bel Planto Rapid Dünger (gekörnt), der 8 % Stickstoff, 8 % Phosphor und 8 % Kali enthält. Beim Füllen des Beckens wurde der Dünger auf die ganze Tiefe verteilt und so bemessen, dass für die starke Düngung 100 g und für die schwache Düngung 10 g Stickstoff auf 1 m<sup>3</sup>

Boden anfiel. Diese Stickstoffgehalte entsprechen etwa jenen einer gedüngten Fettwiese (*Arrhenatheretum*) bzw. eines ungedüngten Halbtrockenrasens (*Mesobrometum*) (vgl. GIGON 1968). An Spurenelementen erhielten die stark gedüngten Versuchsflächen 1 Liter AZ-Lösung nach Hoagland pro  $m^3$ , die schwach gedüngten 0,1 Liter. Im Verlaufe des Versuches wurde 4mal pro Vegetationsperiode Knop-AZ-Lösung gegeben und zwar wiederum so, dass die starke Düngung (entsprechend jährlich 30 g N pro  $m^2$  oder 300 kg N pro ha) der Versorgung einer sehr stark gedüngten Fettwiese entspricht, die schwache (entsprechend jährlich 3 g N pro  $m^2$ ) jener eines ungedüngten Halbtrockenrasens. Diese Gaben sind relativ hoch bemessen, da angenommen werden muss, dass im gut durchlässigen Kulturboden unter Zürcher Klimabedingungen beträchtliche Nährstoffmengen ausgewaschen werden. Andererseits ist damit zu rechnen, dass mit den Niederschlägen jährlich mindestens 0,5 g N pro  $m^2$  in die Becken gelangen (berechnet aus Angaben in KELLER 1970), was sich auf die ungedüngten und die schwach gedüngten Becken wesentlich auswirken dürfte.

Die übrigen 6 Becken (Becken 7 bis 12) wurden automatisch bei Regen von einem durchsichtigen Dach überrollt und erhielten deshalb kein Niederschlagswasser. In diesen Becken wurde der Einfluss des Grundwasserstandes (45 cm, 95 cm und 145 cm unter der Bodenoberfläche) bei schwacher Düngung untersucht. Drei Becken wurden alle 7 Tage, die anderen alle 28 Tage mit 2 cm entionisiertem Wasser begossen (100 l Wasser pro Becken, mit einer Wasseruhr gemessen). Die während einer Vegetationsperiode bei einem Intervall von 28 Tagen gegossene Wassermenge (15,2 cm) entspricht etwa einem Drittel der in Martigny (Herkunftsort von *S. gramuntia*) gleichzeitig gefallenen Niederschlagsmenge (45 cm), ist also extrem gering. Auch im Wallis treten vierwöchige regenlose Perioden im Sommer selten auf. Die bei einem Intervall von 7 Tagen gegossene Wassermenge (60,7 cm) ist etwas weniger gross als die mittlere Niederschlagsmenge von Boppelsen (Herkunftsort von *S. columbaria*) während der gleichen Zeit (74 cm). Sie entspricht in der Menge, nicht aber in der Verteilung annähernd den natürlichen Regenmengen der Becken 1 bis 6 (1968:80cm;1969:63cm;1970:89cm).

Im Winter (Mitte November bis Ende März) wurden die Grundwasserbecken entleert, um ein Sprengen der Beckenwände durch Fröste zu verhindern, und auch das automatisch verschliessbare Dach blieb offen, damit alle Becken in bezug auf die Schneebedeckung gleiche Bedingungen aufwiesen. Abgesehen von der Nähr-

stoffkonzentration waren deshalb Klima- und Bodenverhältnisse für alle 12 Becken während der Ruheperiode gleich.

In den Grundwasserbecken wurden nur *S. columbaria* und *S. gramuntia* untersucht. Die Becken wurden je in drei Felder unterteilt und mit Reinkulturen von *S. columbaria* und *S. gramuntia* und mit Mischkulturen beider bepflanzt. Jedes Feld enthielt 42 Pflanzen (Abstand zwischen den Pflanzen 18 cm, Randabstand 15 - 16 cm).

Die blühenden Pflanzen wurden von Bienen und anderen Insekten frei bestäubt und setzten reichlich Früchte an. Die Keimlinge in den Versuchsbeeten wurden nicht entfernt, dagegen fremde Pflanzen regelmässig gejätet.

### 2.2.2 Anlagen im Gewächshaus

Die Pflanzen im Gewächshaus wuchsen in Kulturgefässen aus Email (45 cm x 45 cm Oberfläche und 45 cm Tiefe). Ueber einer 10 cm tiefen mit Steinwatte abgedeckten Kiesschicht befand sich der gleiche Boden wie in den Grundwasserbecken (ein Teil Lösslehm und 3 Teile Sand) der in allen Gefässen schwach gedüngt war (jährlich 3 g Stickstoff pro m<sup>3</sup> Boden). Die Mächtigkeit des für die Pflanzen zugänglichen Bodens betrug etwa 30 cm. Die Gefässe wurden zuerst zweimal, ab Mitte Juli 1968 dreimal in der Woche soweit gegossen, dass der Boden ganz durchfeuchtet war, jedoch keine nennenswerten Wassermengen unten ausflossen. Um allfällige Unterschiede in den Temperatur- und Lichtverhältnissen im Gewächshaus auszugleichen, wurden die Gefässe jede Woche systematisch verschoben.

Die Pflanzen wurden bei 70 - 80 % Feuchtigkeit und den folgenden 2 Temperaturbedingungen gezogen:

|    | Tagestemperatur (10 Stunden)            | Nachttemperatur (14 Stunden)            |
|----|---|---|
| 1. | 30 <sup>o</sup> (28 - 31 <sup>o</sup> ) | 20 <sup>o</sup> (20 - 21 <sup>o</sup> ) |
| 2. | 17 <sup>o</sup> (16 - 19 <sup>o</sup> ) | 7 <sup>o</sup> ( 5 - 8 <sup>o</sup> )   |

Die Schwankungen in der Tagestemperatur sind auf Sonneneinstrahlungen zurückzuführen, die durch die Klimaanlage nur langsam korrigiert werden. Die mittlere Temperatur der wärmeren Kammer (24<sup>o</sup>) liegt etwa 5<sup>o</sup> über jener des wärm-

sten Monats von Martigny (Herkunftsort von *S. gramuntia*) und etwa 9<sup>o</sup> über jener der Monate April bis Oktober. Indessen ist in Martigny die Sonneneinstrahlung viel grösser als im Gewächshaus in Zürich, so dass die Temperaturunterschiede tatsächlich nicht ganz so gross sind wie es scheint. Die Mitteltemperatur der kühlen Kammer erreicht 11<sup>o</sup>. Sie liegt um 0,5<sup>o</sup> höher als jene des wärmsten Monats von Davos-Schatzalp (in der Nähe des Herkunftsortes von *S. lucida*) und um 4,3<sup>o</sup> höher als jene der Monate April bis Oktober. Auch hier dürfte die viel intensivere Sonneneinstrahlung am natürlichen Standort von *S. lucida* diesen Klimaunterschied etwas ausgleichen. Die Mitteltemperatur der Monate April bis Oktober von Boppelsen (Herkunftsort von *S. columbaria*) liegt etwa 2<sup>o</sup> höher als jene der kühlen Kammer und etwa 11<sup>o</sup> tiefer als in der warmen Kammer. Während der Winterzeit (Mitte November bis Ende März) wurden die Gefässe ins Freie gestellt und standen dort alle unter den winterlichen Bedingungen von Zürich (ähnlich wie die Grundwasserbecken). Während 3 Wochen vor dem Transport ins Freie im Herbst und während einer Woche nach dem Rücktransport im Frühjahr wurden die Temperaturen im Gewächshaus allmählich den neuen Bedingungen angepasst. Beim Vergleich der Temperaturen der Gewächshauskammern mit jenen des natürlichen Standortes muss berücksichtigt werden, dass die Länge der Vegetationsperioden und die jahreszeitliche Temperaturverteilung nicht gleich sind. Besonders im April und im Oktober waren die Temperaturen im Gewächshaus viel höher als in der Natur. Für *S. columbaria* und mehr oder weniger auch für *S. gramuntia* stimmen die Bedingungen im Winter in Zürich mit jenen am natürlichen Standort überein; für *S. lucida* dagegen ist die Ruheperiode hier in Zürich etwa 3 Monate kürzer als am natürlichen Standort, und die häufig zu Beginn (April, Mai) und am Ende der Vegetationsperiode (September, Oktober) auftretenden Fröste fehlen im Gewächshaus ganz.

Für die Versuche fanden *S. lucida*, *S. columbaria* und *S. gramuntia* Verwendung. In jedes Gefäss wurden normalerweise 6 Pflanzen gesetzt (Abstand zwischen den Pflanzen 18 cm, Randabstand 18,5 cm), und zwar entweder in Reinkulturen der drei Arten oder in Mischkulturen der vier möglichen Kombinationen. In der warmen Kammer wurden 4 Wiederholungen, in der kühlen aus Platzmangel nur 2 durchgeführt. Zudem wurden in der warmen Kammer von jeder Art je 4 Gefässe mit 3 Pflanzen und mit einer Pflanze besetzt, um den Einfluss der Pflanzendichte festzustellen. Schliesslich wurden 4 Gefässe mit je 3 Pflanzen von

*S. columbaria* und *Bromus erectus* Huds. bepflanzt.

Da im Gewächshaus keine bestäubenden Insekten vorhanden sind, wurde während der Blütezeit zweimal wöchentlich mit einem Pinsel nach zufälliger Verteilung bestäubt.

## 2.3 Messungen

### 2.3.1 Messungen an der Pflanze

Es wurden die folgenden Merkmale gemessen, die für die Pflanzen in ihrem Konkurrenzkampf eine grosse ökologische Bedeutung besitzen: Rosettendurchmesser (Assimilationsfläche!), Höhe, Trockengewicht (Stoffproduktion!), Blüten- und Fruchtköpfchenzahl (Vermehrungsvermögen!). Daneben fanden auch einige systematisch wichtige artspezifische Merkmale Beachtung, die durch Aussenfaktoren relativ wenig beeinflusst werden: Kelchborstenlänge und -breite, Blattbehaarung, Verhältnis der Stengelblattlänge zur Länge des Endabschnittes usw. Indessen wird über diese Merkmale erst in einer späteren Arbeit berichtet.

Von jeder Art wurden für jede Bedingung in den Grundwasserbecken 20 Pflanzen bezeichnet, an denen 1968 vier Messungen (am 1.4., 5.6., 6.8., 4.11.) erfolgten; im Gewächshaus wurden an den gleichen Daten alle Pflanzen gemessen. Im November 1968 wurde die Hälfte aller Pflanzen sorgfältig ausgegraben und anschliessend das Trockengewicht bestimmt. Im Jahr 1969 konnten an den verbliebenen Pflanzen nochmals Messungen durchgeführt werden (am 18.6. und 13.8. Rosettendurchmesser, Höhe und Köpfchenzahl, am 2.11. nur noch die Köpfchenzahl). 1970 wurde einzig am 14.8. die Höhe der noch lebenden Pflanzen gemessen. Jährlich wurden der Blühbeginn jeder Pflanze (zweimal wöchentliche Kontrollen) und im Frühjahr die Zahl der abgestorbenen Pflanzen notiert.

#### *Definition der gemessenen Merkmale.*

**Rosettendurchmesser:** Grösster Durchmesser der grünen Blattrosette in cm, ohne Berücksichtigung von abgestorbenen Blättern.

**Höhe:** Grösste Höhe in cm, die die Pflanze noch mit lebenden Teilen erreicht. Geknickte und niedergedrückte Pflanzen wurden aufgerichtet; Pflanzen, die noch keinen Stengel ausgebildet hatten, wurden nicht berücksichtigt.

**Köpfchenzahl:** Zahl der blühenden (mindestens 1 Blüte geöffnet) und fruchtenden (einschliesslich verdorrten) Köpfchen.

*Trockengewicht*: Gewicht der bei  $105^{\circ}$  im Ofen getrockneten Pflanzen, getrennt nach oberirdischen (*Sprossgewicht*) und unterirdischen Teilen (*Wurzelgewicht*), auf 0,2 g genau gewogen.

### 2.3.2 Standortkundliche Messungen

Standortkundliche Messungen wurden nach den Methoden durchgeführt, wie sie in STEUBING (1965) und in GIGON (1968) beschrieben sind. Die Inkubationsbedingungen für die Stickstoffakkumulation waren  $20^{\circ}\text{C}$  und 95 % relative Luftfeuchtigkeit. Der Karbonatgehalt wurde in 2 mm gesiebter lufttrockener Fein-erde mit dem Passon-Apparat gemessen und als Kalziumkarbonat-Gehalt angegeben.

### 2.4. Auswertungen

Von allen Messungen wurde das Mittel und die Standardabweichung bestimmt. Der Einfluss der verschiedenen Aussenfaktoren auf die Pflanzen wurde soweit möglich mit Hilfe einer Varianzanalyse auf einem Computer der ETH erfasst. Diese Methode hat unter anderem dem Vorteil, dass auch relativ komplizierte Wechselwirkungen erkannt werden können. Leider war die Varianzanalyse nur für die Auswertung der Ergebnisse von 1968 aus den Grundwasserbeckenversuchen anwendbar, weil einzig dort und in jenem Jahr unter allen Bedingungen gleich viele Pflanzen (je 10) gemessen werden konnten. Für den Vergleich der übrigen Resultate wurde der t-Test verwendet. Ziel der Teste war, herauszufinden, wie weit Unterschiede zwischen den Messresultaten von Pflanzen, die unter verschiedenen Bedingungen wuchsen, gesichert sind. Die Resultate der Teste, die erst nach einer Logarithmustransformation aller Messwerte berechnet wurden, sind in den Tabellen 4 und 5 dargestellt. Es wurden die folgenden Vergleiche durchgeführt:

#### a. Vergleiche zwischen Pflanzen in den Grundwasserbecken

- |                |                      |   |
|----------------|----------------------|---|
| O              | (Ort der Pflanzung): | Unterschied zwischen den Pflanzen am Rand und in der Mitte der Becken   |
| S              | (Mischung):          | Unterschied zwischen den Pflanzen in Reinkultur und in Mischkultur  |
| G <sub>1</sub> | (Grundwasserstand):  | Unterschied zwischen den Pflanzen bei einem Grundwasserstand von 45 cm und von 145 cm unter der Bodenoberfläche |

- $G_2$  (Grundwasserstand): Unterschied zwischen den Pflanzen bei einem Grundwasserstand von 95 cm unter der Bodenoberfläche und bei einem Grundwasserstand von 145 cm und 45 cm (gemittelte Werte)
- $B_1$  (Beregnung): Unterschied zwischen den Pflanzen mit natürlicher Regenmenge und mit siebentägigem Bewässerungsintervall
- $B_2$  (Beregnung): Unterschied zwischen den Pflanzen mit siebentägigem und mit 28-tägigem Bewässerungsintervall
- $D_1$  (Düngung): Unterschied zwischen den Pflanzen mit starker Düngung (jährlich 30 g Stickstoff pro  $m^2$  Fläche) und ohne Düngung
- $D_2$  (Düngung): Unterschied zwischen den Pflanzen mit schwacher Düngung (jährlich 3 g Stickstoff pro  $m^2$  Fläche) und jenen mit starker Düngung und ohne Düngung (gemittelte Werte)
- $SG_1$  (Wechselwirkung Mischung/Grundwasserstand): Unterschied zwischen dem Mischungsvergleich bei einem Grundwasserstand von 45 cm und von 145 cm unter der Bodenoberfläche
- $G_1 D_1$  (Wechselwirkung Grundwasserstand/Düngung): Unterschied zwischen dem Grundwasserstand-Vergleich (45 cm und 145 cm) bei starker Düngung und ohne Düngung
- $B_2 G_1$  (Wechselwirkung Beregnung/Grundwasserstand): Unterschied zwischen dem Beregnungsvergleich (7-tägiges und 28-tägiges Bewässerungsintervall) bei einem Grundwasserstand von 45 cm und 145 cm unter der Bodenoberfläche

b. Vergleiche zwischen Pflanzen im Gewächshaus

- T (Temperatur): Unterschied zwischen den Pflanzen bei warmer Temperatur (Tag  $30^\circ$ , Nacht  $20^\circ$ ) und bei kühler Temperatur (Tag  $17^\circ$ , Nacht  $7^\circ$ )
- P (Pflanzdichte):  $P_{1-3}$ : Unterschied zwischen den Pflanzen zu 1 und zu 3 je Gefäß  
 $P_{1-6}$ : Unterschied zwischen den Pflanzen zu 1 und zu 6 je Gefäß  
 $P_{3-6}$ : Unterschied zwischen den Pflanzen zu 3 und zu 6 je Gefäß
- K (Konkurrenz): Unterschied zwischen Pflanzen in Reinkultur und in Mischkultur
- $K_{wc}$ : mit *S. columbaria* bei warmer Temperatur  
 $K_{wg}$ : mit *S. gramuntia* bei warmer Temperatur  
 $K_{w1}$ : mit *S. lucida* bei warmer Temperatur  
 $K_{w2}$ : mit den beiden anderen Arten bei warmer Temperatur

Tabelle 4. Gesicherte Merkmalsunterschiede (Varianzanalyse) 1968 in den Grundwasserbecken

| Grundwasserbecken  | Vergleich *     | Art Merkmal | S. columbaria |                          |      |                        | S. gramuntia                 |                          |               |                        |                              |    |         |    |    |
|--------------------|-----------------|-------------|---------------|--------------------------|------|------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------|------------------------|------------------------------|----|---------|----|----|
|                    |                 |             | Monat         | Rosetten-<br>durchmesser | Höhe | Köpf-<br>chen-<br>zahl | Trocken-<br>gewicht<br>S. W. | Rosetten-<br>durchmesser | Höhe          | Köpf-<br>chen-<br>zahl | Trocken-<br>gewicht<br>S. W. |    |         |    |    |
| 1 bis 6            | 0               |             | IV VI VIII XI | +3                       | =    | VIII XI                | +2                           | =                        | IV VI VIII XI | +3                     | VI VIII XI                   | +1 | VIII XI | +3 | =  |
|                    | S               |             |               | +2                       | =    |                        | +3                           | +2                       |               | -1                     |                              |    |         | -1 | -1 |
|                    | G <sub>1</sub>  |             |               | +1                       | =    |                        | +3                           |                          |               | =                      |                              | -1 |         | -3 | -3 |
|                    | D <sub>1</sub>  |             |               | +3                       | =    | +3                     | +3                           | +3                       |               | +3                     | +3                           | +3 | +3      | +3 | +3 |
|                    | D <sub>2</sub>  |             |               | -3                       | =    | -2                     | -1                           |                          |               | -3                     | -3                           | -3 | -1      | -3 | -3 |
|                    | SG <sub>1</sub> |             |               |                          |      |                        |                              |                          |               | +2                     | +1                           | =  | +1      |    |    |
| 7 bis 12           | 0               |             |               | +3                       | +3   | +3                     | +2                           | +3                       |               | +3                     | +2                           | +2 | +3      | +3 | +3 |
|                    | S               |             |               | +2                       | +2   | +1                     | +2                           | +2                       |               | -1                     | -3                           | =  | -1      | -3 | -1 |
|                    | B <sub>2</sub>  |             |               | +3                       | +1   |                        |                              | +2                       |               | +2                     | +1                           | +3 | +3      | -1 | -2 |
|                    | G <sub>1</sub>  |             |               | +1                       | +3   | +3                     | -2                           | +2                       |               | +2                     | +2                           | =  | -3      | -2 | -1 |
|                    | G <sub>2</sub>  |             |               | +3                       | +3   | +3                     | +1                           | +1                       |               | +3                     | +1                           | +2 | +3      | +2 | +2 |
|                    | SG <sub>1</sub> |             |               |                          |      |                        |                              |                          |               | +1                     | =                            | +1 | +1      | +1 |    |
| 2, 5, 8, 9, 11, 12 | 0               |             |               | +3                       | +3   | +1                     | +1                           | +1                       |               | +3                     | +2                           | +3 | +2      | +3 | +3 |
|                    | S               |             |               | +2                       | +2   | +1                     | +2                           | +2                       |               | -1                     | -2                           | =  | -2      | -2 | -1 |
|                    | G <sub>1</sub>  |             |               | +3                       | +3   | +2                     | -2                           | +3                       |               | +2                     | -3                           | =  | -3      | -3 | -3 |
|                    | B <sub>1</sub>  |             |               | +3                       | +3   | +2                     | +3                           | +1                       |               | +3                     | +3                           | =  | +2      | +3 | +3 |
|                    | SG <sub>1</sub> |             |               | +1                       | +1   | +1                     |                              | +1                       |               | +1                     | +1                           | =  | +1      | +1 | +1 |
|                    |                 |             |               |                          |      |                        |                              |                          |               | -1                     | +1                           | =  | -1      | +1 | +1 |

1 mit mindestens 95 % Wahrscheinlichkeit gesichert  
 2 mit mindestens 99 % Wahrscheinlichkeit gesichert  
 3 mit mindestens 99,9 % gesichert

↑ Unterschied positiv, bzw. negativ  
 +, -  
 = kein Vergleich möglich, da das Merkmal nicht messbar  
 Erklärung der übrigen Zeichen siehe bei Tabelle 5

Tabelle 5. Gesicherte Merkmalsunterschiede (t-Test) im Gewächshaus

| Art             | Vergleich        | Rosetten-<br>durchmesser |    |      | Höhe |    |      | Köpfchen-<br>zahl |    |      | Trocken-<br>gewicht |    |      |    |    |
|-----------------|------------------|--------------------------|----|------|------|----|------|-------------------|----|------|---------------------|----|------|----|----|
|                 |                  | 1968                     |    |      | 1969 |    |      | 1968              |    |      | 1968                |    |      |    |    |
|                 |                  | Jahr                     | VI | VIII | XI   | VI | VIII | XI                | VI | VIII | XI                  | VI | VIII | XI |    |
| S. gramuntia    | T                | -2                       | +3 | =    | +3   | -2 | +3   | =                 | =  | +3   | =                   | +3 | +3   |    |    |
|                 | P <sub>1-3</sub> |                          | +1 | =    | =    |    | =    | =                 |    |      | =                   | =  |      |    |    |
|                 | P <sub>1-6</sub> |                          | +1 | =    | =    |    | =    | =                 | +1 | +1   | =                   | =  |      |    |    |
|                 | P <sub>3-6</sub> |                          | -2 |      |      |    | -1   | -1                | -1 | +2   | =                   | +1 | +1   |    |    |
|                 | K <sub>wc</sub>  |                          |    |      |      | -2 |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
|                 | K <sub>w1</sub>  |                          |    | =    |      |    |      |                   | +2 |      |                     |    |      |    |    |
|                 | K <sub>w2</sub>  |                          |    |      |      |    |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
|                 | K <sub>kc</sub>  |                          | +1 | =    |      |    |      |                   | =  | =    | =                   | =  |      |    |    |
|                 | K <sub>k1</sub>  |                          |    | =    |      |    |      |                   | =  | =    | =                   | =  | -2   |    |    |
|                 | K <sub>k2</sub>  |                          |    | -1   | =    |    | -1   |                   | =  | =    | =                   | =  | -2   |    |    |
| S. columbaria   | T                |                          |    |      | =    | +1 | +3   | =                 | +2 | +3   | =                   | +3 | +3   |    | -2 |
|                 | P <sub>1-3</sub> |                          | -1 | =    |      |    | =    | -1                | +1 |      | =                   | -1 |      | =  | =  |
|                 | P <sub>1-6</sub> |                          |    | =    |      |    | =    | -3                | +2 |      | =                   | -1 | -2   | =  | =  |
|                 | P <sub>3-6</sub> |                          |    |      | +1   |    |      |                   |    |      |                     | +1 |      |    | +2 |
|                 | K <sub>wg</sub>  |                          |    |      |      |    |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
|                 | K <sub>w1</sub>  |                          |    | +1   |      |    |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
|                 | K <sub>w2</sub>  |                          |    |      |      |    |      |                   |    |      |                     | -1 | -1   |    |    |
| K <sub>kg</sub> |                  |                          |    |      |      |    |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
| K <sub>k1</sub> |                  |                          | =  |      |      |    |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
| K <sub>k2</sub> |                  |                          |    |      |      |    |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
| K <sub>wB</sub> |                  |                          |    |      |      |    |      |                   |    |      | +3                  | +3 | +1   | +2 |    |
| S. lucida       | T                |                          |    |      |      |    |      |                   |    |      | +1                  |    |      |    | -1 |
|                 | P <sub>1-3</sub> |                          |    |      |      |    |      | =                 |    |      |                     |    |      | =  | =  |
|                 | P <sub>1-6</sub> |                          |    |      |      |    |      | =                 | +2 |      |                     |    |      | =  | =  |
|                 | P <sub>3-6</sub> |                          |    |      |      |    |      | -1                |    |      | -1                  |    |      |    |    |
|                 | K <sub>wg</sub>  |                          |    |      |      |    |      |                   |    | +1   |                     |    |      |    |    |
|                 | K <sub>wc</sub>  |                          |    | +1   |      |    |      |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
| K <sub>w2</sub> |                  |                          | +1 |      |      |    |      | =                 |    |      |                     |    |      |    |    |
| K <sub>kg</sub> | +1               |                          |    |      | =    |    | +1   |                   |    |      |                     |    |      |    |    |
| K <sub>kc</sub> |                  |                          |    |      | =    | =  | =    | =                 |    |      |                     |    |      |    |    |
| K <sub>k2</sub> | +2               |                          | +1 |      |      |    | =    | =                 | =  |      |                     |    |      |    |    |

1 mit mindestens 95 % Wahrscheinlichkeit gesichert

2 mit mindestens 99 % gesichert

3 mit mindestens 99,9 % gesichert

+, - Unterschied positiv, bzw. negativ

= kein Vergleich möglich, da das Merkmal nicht messbar war

\* Die Bedeutung der Buchstaben in dieser Kolonne ist auf den vorangegangenen Seiten erklärt

↑ Werte, die für die Auswertung verwendet wurden

S. = Spross (Trockengewicht)

W. = Wurzel (Trockengewicht)

- $K_{WB}$  : mit *Bromus erectus* bei warmer Temperatur  
 $K_{kC}$  : mit *S. columbaria* bei kühler Temperatur  
 $K_{kg}$  : mit *S. gramuntia* bei kühler Temperatur  
 $K_{k1}$  : mit *S. lucida* bei kühler Temperatur  
 $K_{k2}$  : mit den beiden anderen Arten bei kühler Temperatur

In den Tabellen 6 bis 15 wurden die Mittelwerte auf die nächste ganze Zahl auf- oder abgerundet. In Klammern sind die Standardabweichungen beigefügt.

### 3. Verhalten der Arten in Reinkulturen

#### 3.1 Entwicklung der Pflanzen

Als Beispiel für die Entwicklung der Pflanzen im Laufe der Versuchsdauer sei *S. gramuntia* unter 4 verschiedenen Bedingungen aufgeführt (Tabelle 6). *S. columbaria* und, soweit untersucht, *S. lucida* verhalten sich ähnlich, wenn auch besonders im Blühbeginn gewisse Unterschiede auftreten.

Die jungen Pflanzen überwintern mit einer Blattrosette; bei älteren Pflanzen sind es meist mehrere dicht beieinanderliegende Rosetten. Vom Frühjahr bis in den Juni wird die Rosette durch Blattneubildungen vergrößert. Dann bildet sich im Zentrum der Rosette ein Stengel, und die Rosettenblätter sterben meist ab. Die ersten Köpfchen blühen frühestens im Juni. Im August und September erreicht der Stengel die maximale Höhe; nachher sterben die höchsten Triebe teilweise ab. Einzelne Stengelteile bleiben im Freien bis in den Dezember grün und können sogar teilweise noch blühen, aber nicht mehr fruchten. Im Laufe des späteren Sommers bilden sich am Grunde des Stengels neue, seitliche Rosetten, die überwintern. Die Pflanzen sind sowohl in Kultur wie in der Natur relativ kurzlebig. Dies hängt damit zusammen, dass die Rosetten sich kaum adventiv bewurzeln und deshalb auch nicht verselbständigen können.

Die Unterschiede der Messergebnisse zwischen 1968 und 1969 liegen wahrscheinlich weniger darin, dass die Messungen im Juni und August 1969 13 bzw. 7 Tage später durchgeführt wurden als 1968 (die Entwicklung war 1969 allgemein etwas verspätet, wie der Blühbeginn zeigt), sondern an den verschiedenen Konkurrenzbedingungen. Im November 1968 sind in den Kulturgefäßen die Hälfte