

**Zeitschrift:** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

**Herausgeber:** Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

**Band:** 99 (1988)

**Artikel:** Genetisch-ökologische Untersuchungen an alpinen Pflanzenarten auf verschiedenen Gesteinsunterlagen : Keimungs- und Aussaatversuche = Genetic-ecological studies in alpine plants from various substrata : germination trials and sowing experiments

**Autor:** Schütz, Martin

**Kapitel:** 4: Ergebnisse

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308907>

### **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:** 31.01.2026

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

## 4. ERGEBNISSE

In der vorliegenden Arbeit wurde nicht nur das Keimverhalten untersucht, sondern immer auch die Entwicklung der Jungpflanzen verfolgt. Beide Lebensphasen, die Keimung und die Entwicklung der Jungpflanzen, werden sowohl in den Laborversuchen wie auch in den Feldversuchen nacheinander beschrieben.

### 4.1 KEIMUNG UND JUNGPFANZENENTWICKLUNG UNTER KONTROLLIERTEN BEDINGUNGEN

Die Versuche im Labor wurden unter standardisierten, klimatischen Bedingungen durchgeführt (vgl. Kap.3.2, S. 37). Pro Serie wurden aus dem vorhandenen Samenpool immer 50 Samen getestet. Zur Abschätzung der Fehlergrenzen wurden von sechs Arten Proben von 6 x 50 Samen untersucht (Tab.6). Ausgewählt wurden zwei Arten mit schlecht keimenden Samen (*Oxytropis campestris*, *Lotus alpinus*), zwei mit mittelmässig keimenden (*Silene willdenowii*, *Achillea atrata*) und zwei mit gut keimenden Samen (*Agrostis rupestris*, *Hieracium alpinum*). Im allgemeinen waren Abweichungen vom Mittelwert während den ersten 30 Tagen ab Versuchsbeginn grösser als gegen Versuchsende nach 100 Tagen. Die grössten Differenzen zwischen den Minimum- und Maximumwerten betrugen nach 100 Tagen nur 14 %. Bei Keimungsraten von Standardserien mit 50 Samen, die um mehr als 14 % voneinander abweichen, kann deshalb mit grosser Sicherheit auf ein unterschiedliches Keimverhalten geschlossen werden.

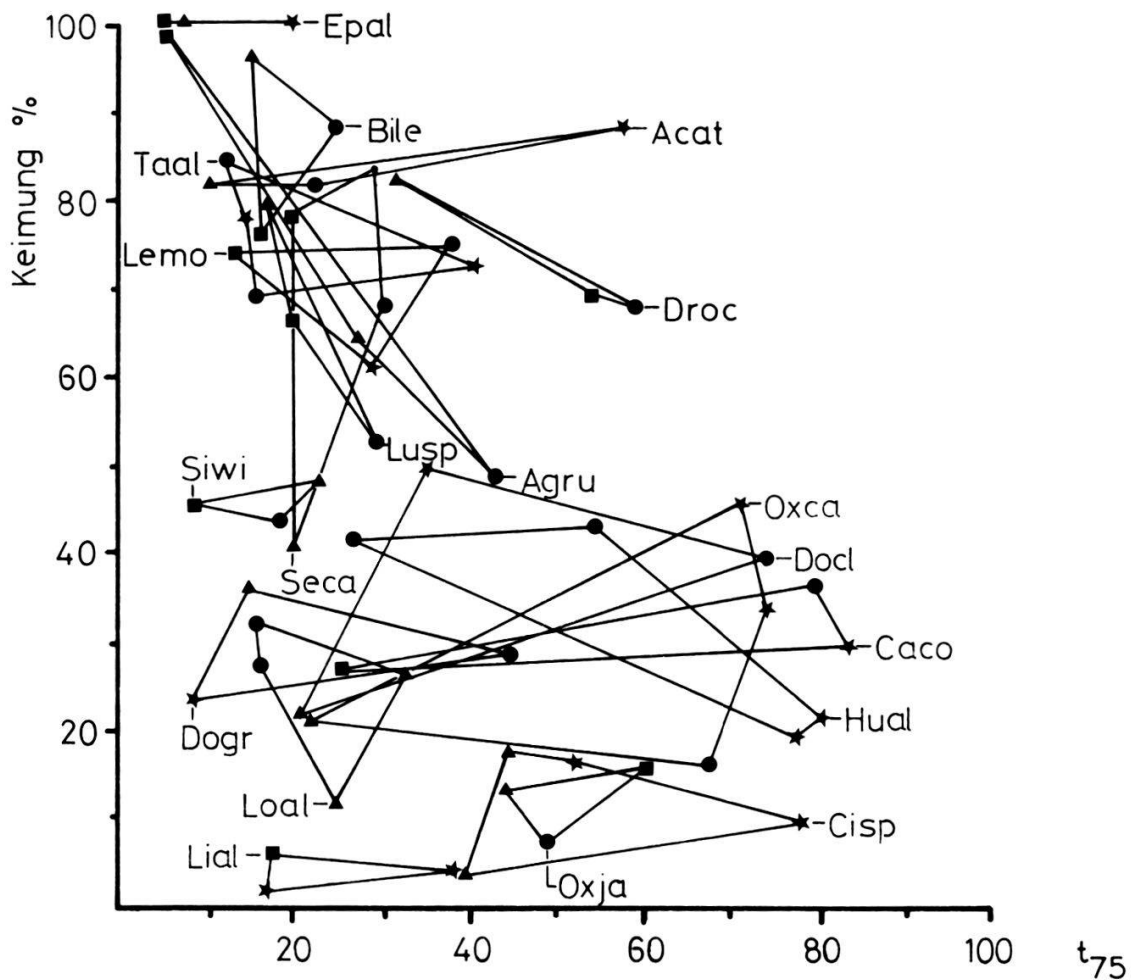
**Tab.6.** Keimung bei Testserien mit 6 x 50 Samen: Angabe von Mittelwert(x) und Differenz der Minimum- und Maximumwerte(Max-Min).  
*Germination in series with 6 x 50 seeds: mean value (x) and difference maximum - minimum (Max-Min) indicated.*

Art		Keimung in % nach Tagen				
		10	20	30	50	100
Oxytropis campestris	x	4,0	7,7	11,7	14,0	18,3
	Max-Min	8	12	10	8	10
Lotus alpinus	x	10,7	11,7	15,3	18,3	20,0
	Max-Min	12	12	6	8	10
Silene wilddenowii	x	6,0	29,7	35,3	44,0	45,7
	Max-Min	16	22	14	10	8
Achillea atrata	x	32,7	56,3	59,7	62,3	67,7
	Max-Min	22	22	16	16	14
Agrostis rupestris	x	71,0	84,7	88,0	89,3	90,0
	Max-Min	20	12	10	10	8
Hieracium alpinum	x	72,3	88,0	93,3	93,7	94,0
	Max-Min	16	10	14	14	14

#### 4.1.1 Versuche ohne Vorbehandlung

Die Basis für Vergleiche zwischen dem Keimverhalten einzelner Arten bildet zwei bis drei Monate altes Samenmaterial. Ohne Berücksichtigung des Erntejahres, des Substrates und der Population, welcher die Samen entnommen wurden, lassen sich einige Verhaltensmuster differenzieren. Einerseits bilden Arten, deren Samen keine oder nur eine teilweise Keimruhe aufweisen die Gruppe der guten und schnellen Keimer, andererseits Arten mit ausgeprägter Keimruhe eine Gruppe von langsam und schlecht keimenden Arten (Fig.7). Samen, die gut aber langsam keimten, konnten in einigen Serien bei *Achillea atrata* und *Dryas octopetala* beobachtet werden. In der Gruppe der Arten mit **gut und schnell keimenden** Samen, keimte Material von *Epilobium alpinum* eindeutig am besten. Bei Proben aus drei verschiedenen Jahren keimten immer alle Samen (Fig.7). Samen von

*Biscutella levigata* und *Achillea atrata* keimten ebenfalls sehr gut. *Agrostis rupestris*, *Luzula spadicea*, *Taraxacum alpinum*, *Leontodon montanus* und *Senecio carniolicus* markieren das breite Feld der Arten, deren Samen sich in der Gruppe der guten und schnellen Keimer durchschnittlich verhielten. Die Samen von *Silene willdenowii* keimten am wenigsten gut. Frische Samen



**Fig.7.** Keimverhalten von unbehandeltem, drei Monate altem Samenmaterial unter kontrollierten Bedingungen. Gesammelt 1982 (★), 1983 (▲), 1985 (●), 1986 (■).  
*Germinating behaviour of not pretreated, three-month-old seeds under controlled conditions. Seed material collected in 1982 (★), 1983 (▲), 1985 (●), 1986 (■).*

Acat	<i>Achillea atrata</i>	Hual	<i>Hutchinsia alpina</i>
Agru	<i>Agrostis rupestris</i>	Lemo	<i>Leontodon montanus</i>
Bile	<i>Biscutella levigata</i>	Lial	<i>Linaria alpina</i>
Caco	<i>Campanula cochleariifolia</i>	Loal	<i>Lotus alpinus</i>
Cisp	<i>Cirsium spinosissimum</i>	Lusp	<i>Luzula spadicea</i>
Docl	<i>Doronicum clusii</i>	Oxca	<i>Oxytropis campestris</i>
Dogr	<i>Doronicum grandiflorum</i>	Oxja	<i>Oxytropis jacquinii</i>
Droc	<i>Dryas octopetala</i>	Seca	<i>Senecio carniolicus</i>
Epal	<i>Epilobium alpinum</i>	Siwi	<i>Silene willdenowii</i>
		Taal	<i>Taraxacum alpinum</i>



von *Achillea atrata* und *Dryas octopetala* schliesslich keimten oft langsamer als diejenigen von anderen Arten, während bei sechs Monate alten Samen ein deutlich beschleunigter Keimungsverlauf beobachtet wurde.

Zusätzlich zu den in Fig.7 abgebildeten Arten gehören in diese Gruppe noch *Trisetum spicatum*, *Gypsophila repens* (Fig.8), *Hieracium alpinum* (Tab.9, Fig.10) und *Leontodon helveticus* (Tab.9). Allerdings sind von diesen Arten nur Daten von zwei Versuchsserien vorhanden. Das Keimverhalten von *Achillea atrata* des Erntejahres 1983 ist ein typisches Beispiel für das Verhalten der gut und schnell keimenden Arten (Fig.8). Am Ende der Versuchszeit von 100 Tagen hatten 82 % der Samen gekeimt. Der  $t_{75}$ -Wert lag bei 11 Tagen, d.h., dass am 11. Tag nach Versuchsbeginn bereits 62 % der Samen gekeimt hatten. Bis zum 30. Tag stieg die Keimungsrate weiter an auf 80 %. Anschliessend keimte nur noch ein einziger Same.

Die Samen von Arten der zweiten Gruppe keimten deutlich schlechter und im allgemeinen auch langsamer als jene der ersten Gruppe. Ein typisches Keimverhalten für Arten dieser Gruppe der **Schlecht- und Langsamkeimer** wurde bei *Hutchinsia alpina*, *Oxytropis campestris*, *Campanula cochleariifolia* und bei *Doronicum clusii* beobachtet (Fig.7). Samen von *Doronicum grandiflorum* des Erntejahres 1985 verhielten sich ebenfalls typisch für zur zweiten Gruppe gehörende Arten. Die ersten Samen keimten 16 Tage nach Versuchsbeginn. Nach 100 Tagen hatten erst 28% der Samen gekeimt. Der  $t_{75}$ -Wert lag bei 44 Tagen, d.h., dass bis zum 44. Tag 21 % der Samen gekeimt hatten. Zwischen dem 16. und 50. Tag ab Versuchsbeginn keimten regelmässig Samen, aber in geringer Zahl. Ab dem 50. Tag bis zum Versuchsende nach 100 Tagen keimten dann nur noch weitere 4% der Samen. Samen von *Oxytropis jacquinii* und *Cirsium spinosissimum* keimten sehr schlecht und langsam. Überdurchschnittlich schnell keimten in dieser Gruppe dagegen Samen von *Lotus alpinus*, *Linaria alpina* und *Doronicum grandiflorum*. *Doronicum clusii* und *Doronicum grandiflorum* änderten ihr

Keimverhalten während einer Lagerung (Tab.9). Frische Samen dieser Arten verhielten sich typisch für die Gruppe der Schlecht- und Langsamkeimer. Samen, die 6 bis 15 Monate alt waren, keimten jedoch schnell und gut und gehörten in diesem Stadium in die erste Gruppe.

In diese zweite Gruppe gehören noch viele andere Arten, deren Samen oft überhaupt nicht keimten und deren  $t_{75}$ -Wert deshalb nicht definiert ist: z.B. *Cerastium latifolium*, *Cerastium uniflorum* und *Moehringia ciliata* (Tab.10), *Arabis alpina* (Fig.8), *Phyteuma hemisphaericum* (Tab.11), sowie *Sesleria disticha*, *Gentiana clusii* und *Gentiana kochiana*. Dazu zählen auch noch alle anderen nicht in Fig.7 abgebildeten Leguminosen-Arten, die untersucht wurden (Kap.4.1.2.1).

Die schnell und gut keimenden Arten keimten durchschnittlich zu 74,2 %. Der  $t_{75}$ -Wert lag dabei bei 25,8 Tagen. Bei den langsam und schlecht keimenden Arten lagen die Mittelwerte bei 30,6 % und bei 45,4 Tagen.

Die ersten Samen von Arten, deren  $t_{75}$ -Wert bei 30 Tagen oder darunter lag, keimten in der Regel schon während der ersten 3 bis 10 Tagen nach Versuchsbeginn. Die Keimungsraten stiegen sprunghaft innerhalb weniger Tage an, sowohl bei *Epilobium alpinum*, wie auch bei *Doronicum grandiflorum* oder *Lotus alpinus*. Die ersten Samen von *Lotus alpinus* von 1985 keimten beispielsweise am 6. Tag. Vom 6. bis zum 20. Tag stieg die Keimungsrate auf 24 %. Bis zum 100. Tag keimten dann bloss noch weitere 4% der Samen.

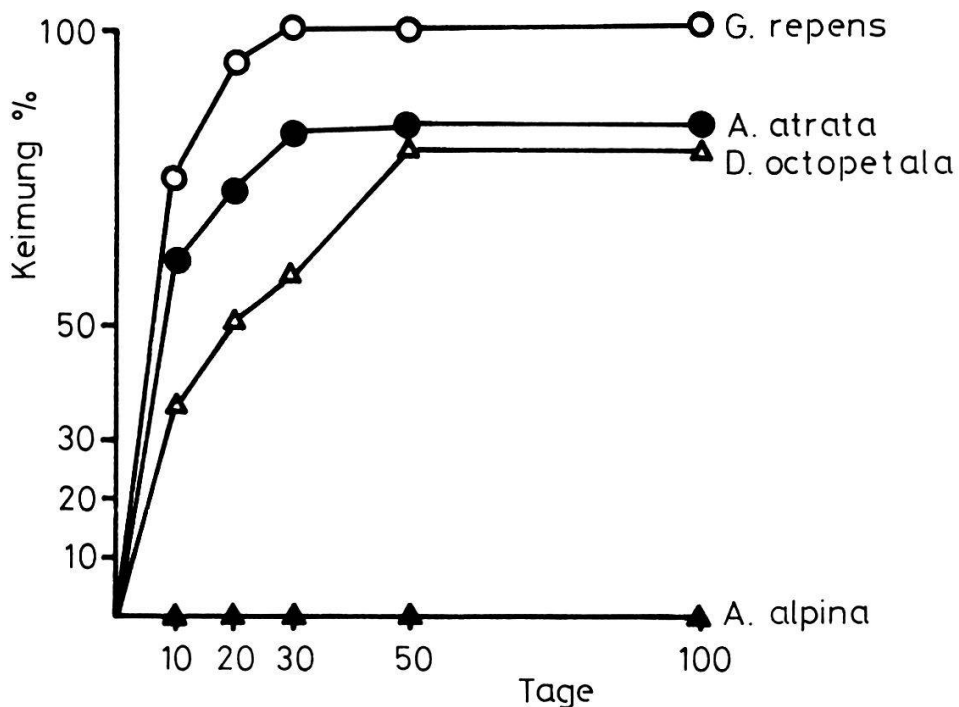
Die ersten Samen von Arten, deren  $t_{75}$ -Wert über 30 Tagen lag, keimten oft auch schon zwischen dem 3. und 10. Tag nach Versuchsbeginn, z.B. Samen von *Achillea atrata*, *Dryas octopetala* oder *Hutchinsia alpina*. Ebenso oft keimten die ersten Samen aber erst zwischen dem 10. und 30. Tag, z.B. bei *Doronicum clusii* oder *Campanula cochleariifolia*. Die Keimungsraten erhöhten sich anschliessend nie sprunghaft. Vom Keimungsbeginn bis zum Versuchsende nach 100 Tagen keimten in regelmässigen Zeitabständen

Samen. Samen von *Achillea atrata* von 1982 erreichten beispielsweise nach 10 Tagen eine Keimungsrate von 10 %, nach 20 Tagen von 18 %, nach 50 Tagen von 62 % und nach 100 Tagen von 88 %. Samen von *Hutchinsia alpina* von 1982 erreichten folgende Keimungsraten: 0 % nach 10 Tagen, 8 % nach 20 Tagen, 12 % nach 30 Tagen, 14 % nach 50 Tagen und 22 % nach 100 Tagen.

Das Keimverhalten von *Agrostis rupestris*, *Luzula spadicea* und *Dryas octopetala* bedarf einer genaueren Betrachtung (Fig.7). Von allen drei Arten wurden die Samen während mehreren Jahren immer der gleichen Population entnommen. Die beinahe lineare Anordnung der Beobachtungspunkte in einer Ausrichtung von schlecht/langsam keimend zu gut/schnell keimend, lässt eine Korrelation zwischen Keimungsrate und Keimungsverlauf vermuten. Das Keimverhalten von Samen zweier anderer Arten, *Biscutella levigata* und *Leontodon montanus* ergeben ein anderes Bild. Das Samenmaterial wurde auch hier immer der gleichen Population entnommen. Die Beobachtungspunkte der beiden Arten liegen zwar in einem eng umgrenzten Bereich, sind aber nicht von schlecht/langsam nach gut/schnell keimend ausgerichtet.

Interessant im Hinblick auf die Feldversuche (Kap.4.2, S. 86) sind Vergleiche zwischen dem Keimverhalten von *Silene willdenowii* und *Biscutella levigata*, *Achillea atrata* und *Gypsophila repens* sowie zwischen *Dryas octopetala* und *Arabis alpina*, deshalb werden sie im Folgenden kurz charakterisiert. Die Unterschiede im Keimverhalten zwischen *Silene willdenowii* und *Biscutella levigata* waren gross (Fig.7). Samen von *Biscutella levigata* zeigten unter Laborbedingungen keine Keimruhe, während jene von *Silene willdenowii* eine partielle Keimruhe aufwiesen (Kap.4.1.2.3). Bei unbehandelten Serien keimten die ersten Samen beider Arten 3 bis 5 Tage nach Versuchsbeginn. Nach 30 Tagen hatten schon fast alle Samen gekeimt. Von je 150 getesteten Samen keimten bei *Biscutella levigata* nach dem 30. Tag noch 7, bei *Silene willdenowii* noch 5. Die Unterschiede im Keimverhalten von *Dryas octopetala* und *Arabis alpina* waren ebenfalls eklatant

(Fig.8, Fig.9). Während die Samen von *Dryas octopetala* spontan keimten, wiesen Samen von *Arabis alpina* nach der Ernte eine totale, angeborene Keimruhe auf. Der Keimruhetyp war ähnlich wie der von *Silene willdenowii* (Kap.4.1.2.3, S. 82). Die ersten Samen von *Dryas octopetala* keimten schon 5 Tage nach Versuchsbeginn. Bis zum 50. Tag stieg die Keimungsrate kontinuierlich an. Mit Ausnahme der Samen des Erntejahres 1983 (Fig.8) keimten auch nach dem 50. Tag bedeutende Mengen von Samen: Im Jahre 1985 und 1986 je 20 %. Geringer waren die Unterschiede im Keimverhalten von frisch geernteten Samen bei *Gypsophila repens* und *Achillea atrata* (Fig.8). Samen von *Gypsophila repens* keimten aber vollständig zu 100 %, während Samenmaterial von *Achillea atrata* nur gut 80 % erreichte. Deutlichere Unterschiede traten während der Lagerung auf (Fig.9). Während Samen von *Gypsophila repens* nach 39-monatiger Lagerung immer noch zu 94 % keimten, sank bei *Achillea atrata* die Keimung bis auf 24 %. Der Keimungsverlauf von frisch geerntetem Samenmaterial des Jahres



**Fig.8.** Keimverhalten von *Gypsophila repens*, *Achillea atrata*, *Dryas octopetala* und *Arabis alpina*: Erntejahr 1983.

*Germinating behaviour of Gypsophila repens, Achillea atrata, Dryas octopetala and Arabis alpina. Seeds harvested in 1983.*

1983 war bei beiden Arten ähnlich. Innerhalb von 5 Tagen keimten die ersten Samen. Die Keimungsrate erhöhte sich bis zum 30. Tag schnell. Anschliessend keimte nur noch bei *Achillea atrata* ein weiterer Same.

#### 4.1.1.1 Erntejahr und Keimverhalten

Beim Vergleich der Keimungsdaten von Samen, die in verschiedenen Jahren geerntet wurden, bei denen aber das Material immer den gleichen Populationen entnommen wurde, konnten teilweise signifikante Unterschiede festgestellt werden (Tab.7). Es lässt sich eine Rangliste nach Jahren mit schlechter werdenden Bedingungen für die Samenbildung erstellen: 1986 > 1983 > 1982 > 1985.

Bei diesem Vergleich wurden die Signifikanzgrenzen oft wegen des Verhaltens von Arten aus der Familie der *Leguminosae* nicht erreicht. Unterschiede im Keimverhalten von unbehandelten Leguminosensamen in Abhängigkeit vom Samengewicht, sind in Tab.8 aufgelistet. Die Tendenz besteht, dass in für andere Familien schlechteren Jahren, die *Leguminosae* nicht prinzipiell kleinere und leichtere Samen produzieren. Schwere Samen keimen aber besser, als leichte; das zusätzliche Material wird zu einem

**Tab.7.** Unterschiede im Keimverhalten von Samen der Erntejahre 1983 und 1986 im Vergleich zu den Jahren 1982 und 1985 (\* = Signifikanz auf dem 5% - Niveau).  
*Germinating behaviour of seeds harvested in 1983 and 1986 compared with the harvest of 1982 and 1985 (\* = significance at 5% level).*

Erntejahr	10		20		30		50		100 Tage	
	1982	1985	1982	1985	1982	1985	1982	1985	1982	1985
1983	*	*		*		*		*		
1986		*		*		*				*

bedeutenden Teil in den Embryo investiert. Bei einer Skarifikation keimten unabhängig vom Samengewicht und der Samengrösse immer praktisch alle Leguminosensamen (Fig.17). Leider fehlen Daten über den Output von keimfähigen Samen in bezug auf das Samengewicht; dieser Aspekt sollte weiter untersucht werden.

**Tab.8.** Keimung und Samengewicht (100 Samen) bei vier Leguminosenarten.  
*Germination and the seed weight (100 seeds) in four species of Leguminosae.*

Art	Gewicht g	Keimung %
Lotus alpinus	0,118±0,004	12
Lotus alpinus	0,136±0,004	28
Lotus alpinus	0,187±0,003	34
Oxytropis jacquinii	0,314±0,018	8
Oxytropis jacquinii	0,339±0,012	14
Oxytropis jacquinii	0,341±0,004	14
Oxytropis campestris	0,155±0,006	16
Oxytropis campestris	0,197±0,002	28
Oxytropis campestris	0,230±0,007	34
Anthyllis alpestris	0,327±0,018	14
Anthyllis alpestris	0,338±0,016	16

#### 4.1.1.2 Lagerung von Samenmaterial und Keimverhalten

Bei vielen Arten änderte sich das Keimverhalten schon während einer relativ kurzen Lagerung von 6 bis 15 Monaten im getrockneten Zustand im Kühlschrank. Besonders deutlich zeigte sich diese Verhaltensänderung bei den untersuchten Arten aus der Familie der *Compositae* (Tab.9): Nach einer Zeit von 15 Monaten keimten die Samen der meisten *Compositae* besser in einem 100-tägigen Versuch, als frisch geerntete Samen. Ähnlich stark wurde die Keimung beschleunigt, ausgedrückt durch den  $t_{75}$ -Wert. Die einzigen Ausnahmen bildeten dabei *Achillea atrata* (Fig.9) und *Leontodon montanus*

(Tab.9). Frische Samen von *Doronicum clusii* keimten zum Beispiel sehr langsam: Erst nach 18 Tagen keimte der erste Same. Anschliessend erhöhte sich die Keimungsrate kontinuierlich bis auf 40 % nach 100 Tagen. Der  $t_{75}$ -Wert gibt an, dass erst am 74. Tag 30 % der Samen gekeimt hatten. Bei 15 Monate altem Samenmaterial keimten dagegen die ersten Samen schon nach 8 Tagen. Am 20. Tag hatten bereits 66 % der Samen gekeimt und nach 50 Tagen 80 %. Danach keimten keine weiteren Samen mehr. Der  $t_{75}$ -Wert lag bei 14 Tagen; schon 60 % der Samen hatten bis zum 14. Tag also gekeimt.

**Tab.9.** Keimverhalten von 3 und 15 Monate alten Samen in der Familie der *Compositae*.  
*Germinating behaviour of 3- and 15-month-old seeds in the family of Compositae.*

Art	3 Monate		15 Monate	
	Keimung %	$t_{75}$	Keimung %	$t_{75}$
<i>Doronicum clusii</i>	40	74	80	14
<i>Doronicum grandiflorum</i>	28	44	56	8
<i>Hieracium alpinum</i>	90	25	94	8
<i>Hieracium villosum</i>	40	44	58	24
<i>Leontodon helveticus</i>	62	23	62	18
<i>Leontodon hyoseroides</i>	28	26	60	10
<i>Leontodon montanus</i>	74	13	72	26
<i>Senecio carniolicus</i>	68	29	84	12
<i>Taraxacum alpinum</i> Ca	70	17	82	15
<i>Taraxacum alpinum</i> Si	82	12	86	9

Si = Silikat, Ca = Karbonat

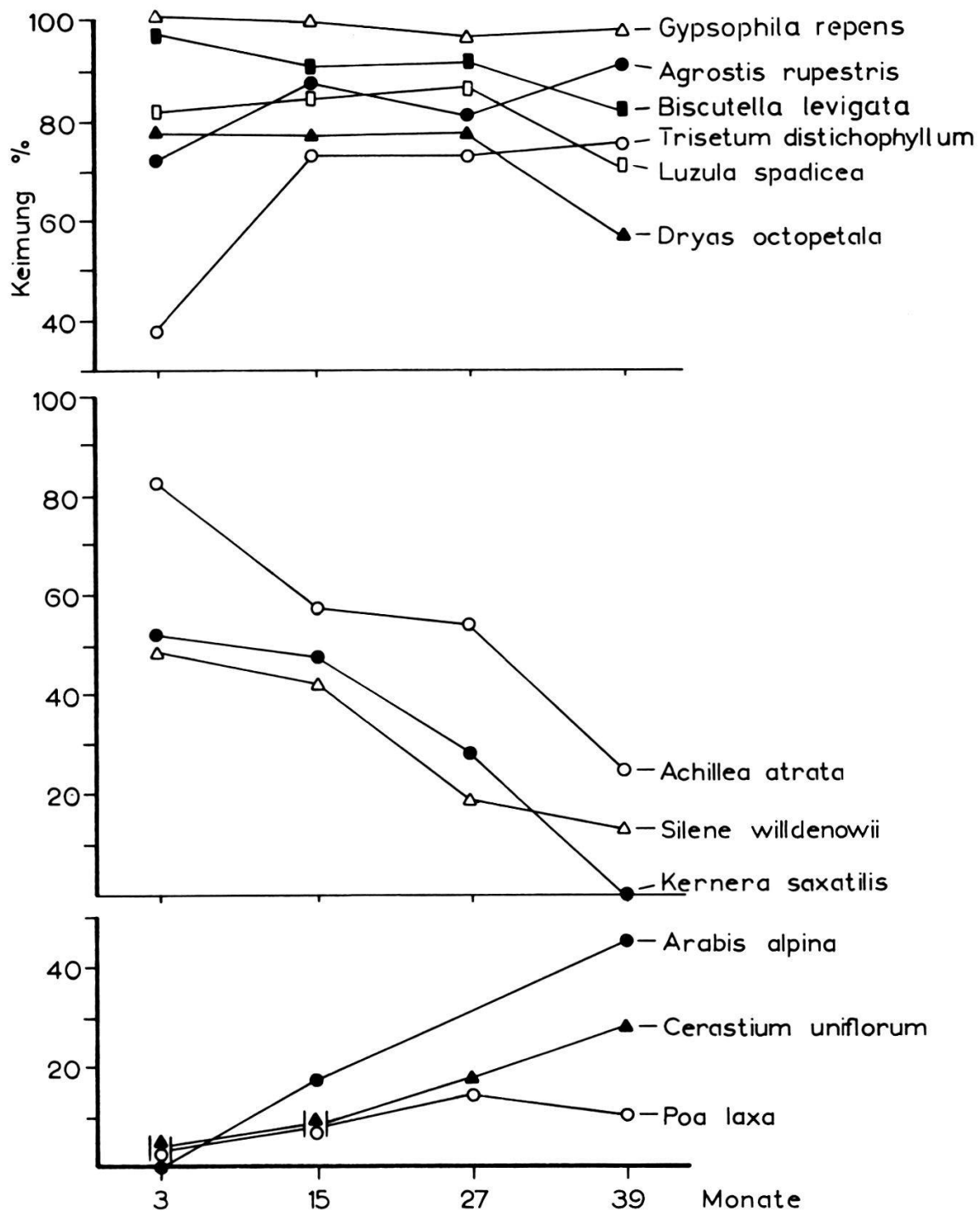
Diese Tendenz im Keimverhalten während einer Lagerung von 15 Monaten bei 4° C zeigten auch mehrere Arten aus der Familie der *Gramineae*, z.B. *Agrostis rupestris*, *Trisetum spicatum* und *Trisetum distichophyllum* (Fig.9, Fig.22). Bei der letztgenannten Art wurde eine deutliche Keimungsverzögerung bei drei Monate alten, unbehandelten Samen beobachtet: Die



ersten Samen keimten erst nach 16 Tagen. Dagegen keimten die ersten Samen bei 6 und 15 Monate altem Samenmaterial bereits am dritten Tag nach Versuchsbeginn. Die Keimungsrate betrug nach 100 Tagen bei 3 Monate alten Samen 18 %, bei 6 Monate alten 68 % und bei 15 Monate alten 76 %.

Änderungen im Keimverhalten während längerer Lagerung waren sehr ausgeprägt. Von den sechs Arten, die sehr gut keimten, zeigten drei keine Verschlechterung der Keimung während der ganzen Beobachtungsperiode von 39 Monaten, nämlich *Agrostis rupestris*, *Gypsophila repens* und *Trisetum distichophyllum* (Fig.9). Auch *Luzula spadicea*, *Biscutella levigata* und *Dryas octopetala* keimten während 27 Monaten nach der Ernte sehr gut, allerdings verschlechterte sich die Keimung nach 39 Monaten Lagerung leicht. Vier der untersuchten Arten keimten 3 Monate nach der Ernte überhaupt nicht, oder zu maximal 4 %. Drei davon, *Arabis alpina*, *Cerastium uniflorum* und *Poa laxa* keimten dann mit zunehmender Lagerung immer besser (Fig.9). Bei *Cerastium latifolium* keimte ein einziger Same erstmals nach 39 Monaten. Interessanterweise zeigten mehrere Arten, die frisch geerntet gut bis sehr gut keimten, eine sukzessive Abnahme der Keimung während der 39 monatigen Versuchsdauer (Fig.9). Auffällig war dieses Verhalten bei weiteren Arten aus der Familie der *Compositae*. So keimten z.B. 39 Monate alte Samen von *Doronicum grandiflorum* während der 100-tägigen Versuchsdauer nur noch zu 2 %, Samen von *Doronicum clusii* zu 4% und solche von *Senecio carniolicus* zu 12 %. Die Möglichkeit besteht, dass eine induzierte physiologische Inaktivität vorliegt (Kap.4.1.2.2, S. 73).





**Fig.9.** Keimverhalten mit zunehmendem Samenalter. Verwendung von unbehandeltem Samenmaterial.

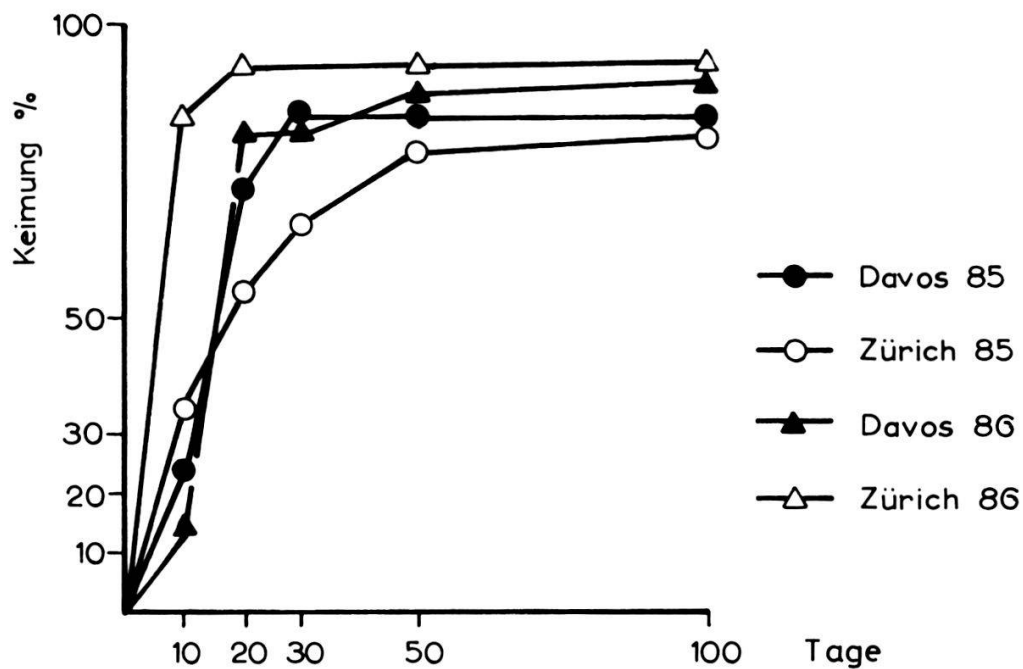
*Germinating behaviour with increasing age of seeds. Data refer to non-pretreated seeds.*

#### 4.1.1.3 Keimverhalten von alpinen Samen aus dem Versuchsgarten in Zürich

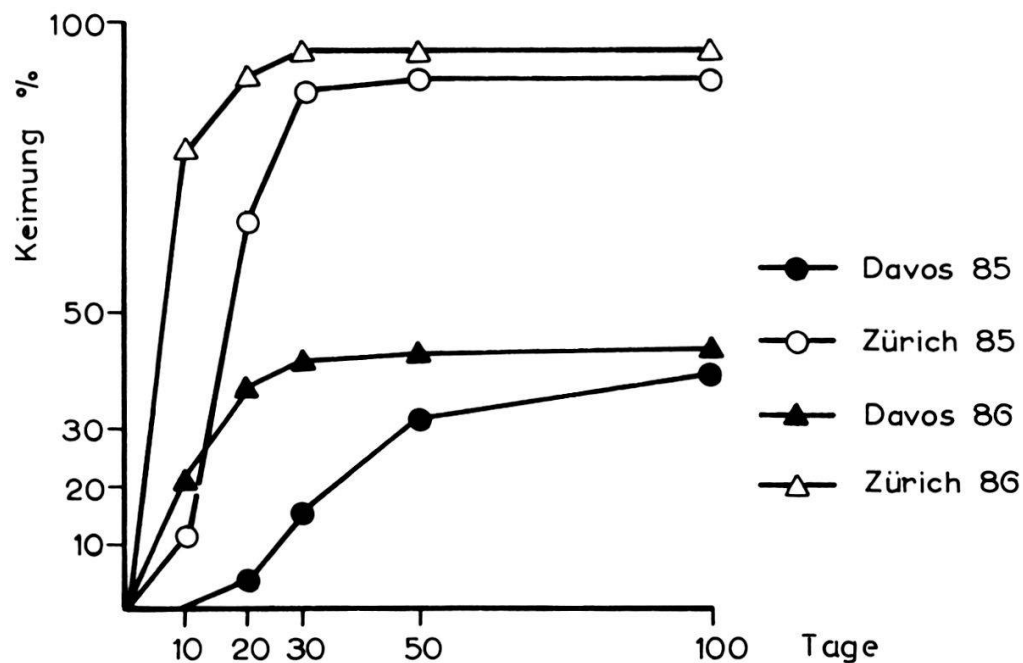
Von einigen Arten wurden Individuen, die das reproduktive Alter erreicht hatten, den natürlichen Populationen entnommen und in den Versuchsgarten nach Zürich verpflanzt, wo sie Samen bildeten, deren Keimverhalten untersucht wurde. Bei den meisten Arten keimten Samen der Versuchspopulationen besser als solche, die in den natürlichen Populationen gesammelt wurden (URBANSKA und SCHÜTZ 1986, vgl. auch URBANSKA 1986).

Samen von *Hieracium alpinum* aus natürlichen Populationen keimten unabhängig vom Erntejahr immer sehr gut (Fig.10). Das gleiche Keimverhalten zeigten Samen, die im Versuchsgarten geerntet wurden, von Pflanzen, die derselben Population entnommen wurden. Die ersten Samen keimten kurz nach Versuchsbeginn zwischen dem 3. und 5. Tag. Nach 20 Tagen lagen die Keimungsraten bereits zwischen 52 und 96 %. Nur bei den Samen des Erntejahres 1985 aus dem Versuchsgarten stieg die Keimungsrate zwischen dem 20. und 50. Tag noch stark an. Bei den anderen drei Versuchsserien keimten nach dem 20. Tag nur noch vereinzelt Samen. Grosse Unterschiede konnten im Samengewicht beobachtet werden: 100 Samen aus der natürlichen Population wogen 0,072 g ( $\pm 0,001$ ), Samen aus der Versuchspopulation dagegen 0,122 g ( $\pm 0,013$ ). Die Anzahl Blüten pro Blütenkopf war sowohl im Felde, wie auch im Garten gleich gross. Es ist zu ergänzen, dass die Pflanzen im Garten zweimal jährlich Samen produzierten, wobei die Samenmenge jedesmal etwa gleich gross war.

Samen von *Hieracium villosum*, die in natürlichen Populationen geerntet wurden, keimten nur mittelmässig (Fig.11). Dagegen keimten Samen, die im Versuchsgarten geerntet wurden sehr gut und schnell. Schon nach 10 Tagen hatten 78 % der Samen, die 1986 im Versuchsgarten geerntet wurden, gekeimt. Bei den 1985 im Versuchsgarten geernteten Samen keimte der erste Same zwar auch nach 3 Tagen; am 10. Tag lag die Keimungsrate aber erst bei 12 %. Bis zum 20. Tag erhöhte sie sich auf 66 %. Die ersten Samen von *Hieracium villosum*, die 1985 der natürlichen Population entnommen



**Fig.10.** *Hieracium alpinum*: Keimverhalten von Samen aus dem Versuchsgarten und Samen aus der natürlichen Population gesammelt 1985 und 1986.  
*Hieracium alpinum*: germinating behaviour of seeds from the experimental garden and from the wild harvested in 1985 and 1986.



**Fig.11.** *Hieracium villosum*: Keimverhalten von Samen aus dem Versuchsgarten und Samen aus der natürlichen Population gesammelt 1985 und 1986.  
*Hieracium villosum*: germinating behaviour of seeds from the experimental garden and from the wild harvested in 1985 and 1986.

wurden, keimten erst nach 12 Tagen. Während der restlichen Beobachtungszeit keimten regelmässig weitere Samen. Das Material von 1986 keimte schneller. Der erste Same keimte nach drei Tagen und bis zum 20. Tag stieg die Keimungsrate rasch bis auf 36 %. Anschliessend keimten nur noch vereinzelt weitere Samen. Auch bei *Hieracium villosum* konnten Unterschiede im Samengewicht festgestellt werden: 100 Samen aus der natürlichen Population wogen 0,060 g ( $\pm 0,001$ ), 100 Samen aus der Versuchspopulation 0,077 g ( $\pm 0,001$ ). *Hieracium villosum* produzierte im Versuchsgarten ebenfalls zweimal pro Jahr Samen. Die Samenmenge war dabei etwa gleich gross. Die Anzahl Blütenköpfe pro Rosette lag zwischen 3 und 15, im Felde betrug sie nur maximal 4.

Auch Samen von *Trisetum spicatum*, die im Versuchsgarten geerntet wurden, keimten deutlich schneller und auch deutlich besser als Samen aus der natürlichen Population (URBANSKA und SCHÜTZ 1986). 10 Tage nach Versuchsbeginn hatten 16 % der in den Alpen geernteten Samen gekeimt, aber bereits 88 % der im Versuchsgarten geernteten.

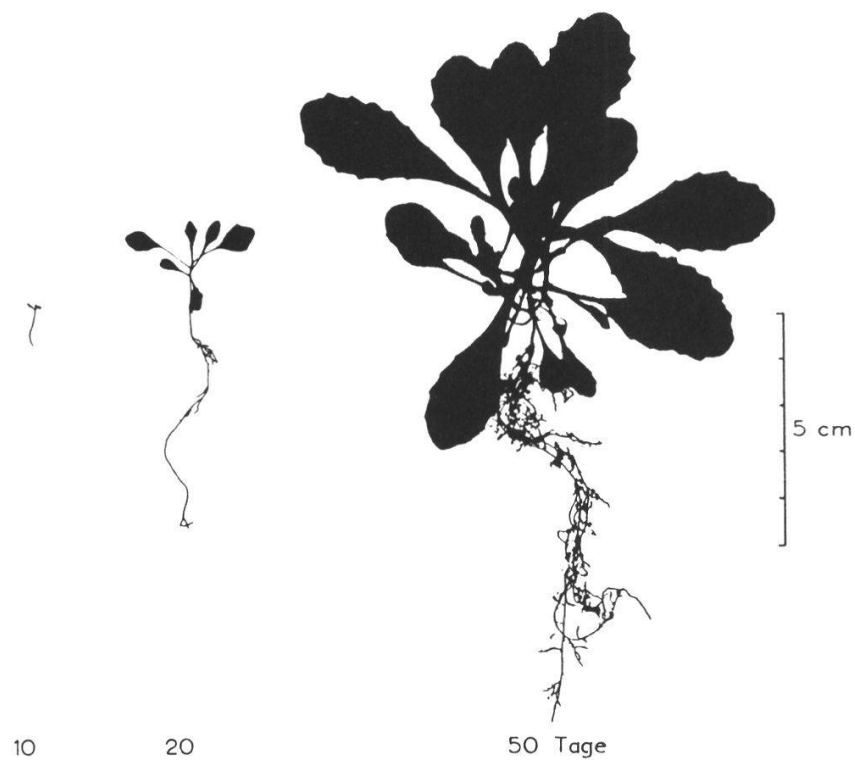
#### 4.1.1.4 Zur Jungpflanzenentwicklung im Gewächshaus

Die Jungpflanzenentwicklung von einigen, der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Arten, wurde bereits früher getestet: *Biscutella levigata* (WEILENMANN 1980, GASSER 1986), *Silene willdenowii* (ISLER 1981), *Hutchinsia alpina* (FOSSATI 1980), *Lotus alpinus* und *Oxytropis jacquinii* (WEILENMANN 1980). Die Entwicklung von einigen weiteren Arten ist im folgenden dargestellt:

*Gypsophila repens* (Fig.12) entwickelte während den ersten 20 Tagen sowohl ein tief reichendes Wurzelwerk, als auch einen gut entwickelten Trieb. Bis zum 50. Tag wurden dann vor allem die oberirdischen Organe gefördert. Bis zu 10 Seitentriebe konnten gezählt werden. In den folgenden Wochen ging die vegetative Entwicklung im gleichen Tempo weiter.



**Fig.12.** *Gypsophila repens*: Jungpflanzenentwicklung im Gewächshaus.  
*Gypsophila repens*: Development of young plants in the greenhouse.



**Fig.13.** *Arabis alpina*: Jungpflanzenentwicklung im Gewächshaus.  
*Arabis alpina*: Development of young plants in the greenhouse.

Die Blütenbildung trat nach der Verpflanzung in den Versuchsgarten mit der 3. Vegetationsperiode auf.

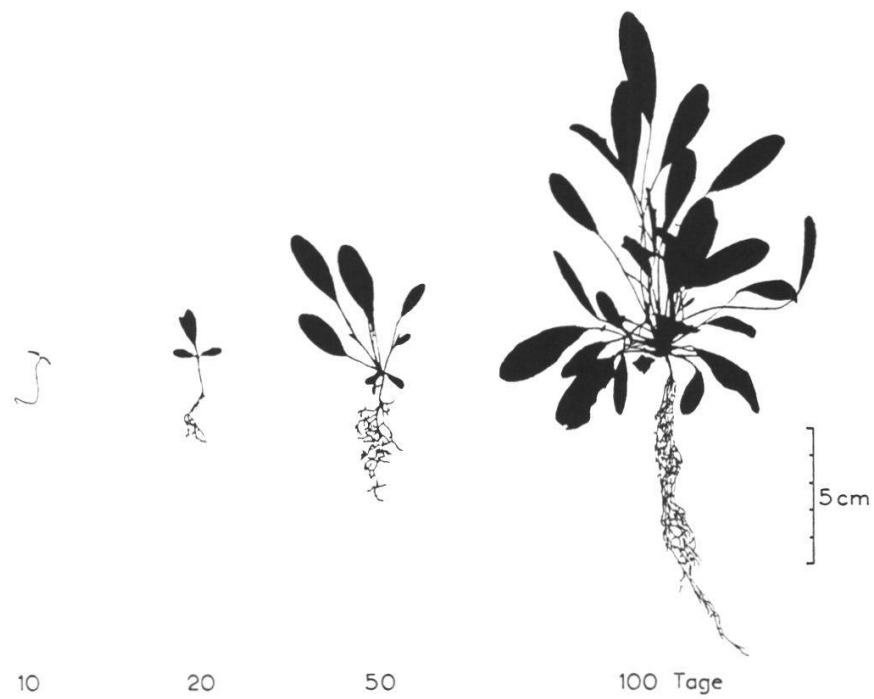
*Arabis alpina* (Fig.13) bildete in den ersten 20 Tagen einerseits eine gut ausgebildete Wurzel, andererseits bereits eine Rosette mit 5 bis 7 Blättern. Während der weiteren Entwicklung wurden die Ressourcen offenbar vor allem zur Bildung von oberirdischen Organen eingesetzt. Die generative Phase wurde während der Beobachtungsperiode von 100 Tagen nicht erreicht. Kloniertes Material von *Arabis alpina* blühte allerdings nach wenigen Monaten (TSCHURR 1987).

*Anthyllis alpestris* (Fig.14) bildete ebenfalls überwiegend Blätter. Die Wurzelentwicklung blieb in den ersten 100 Tagen nach der Keimung eingeschränkt. Die Bildung von Blüten konnte während der Untersuchung nicht beobachtet werden.

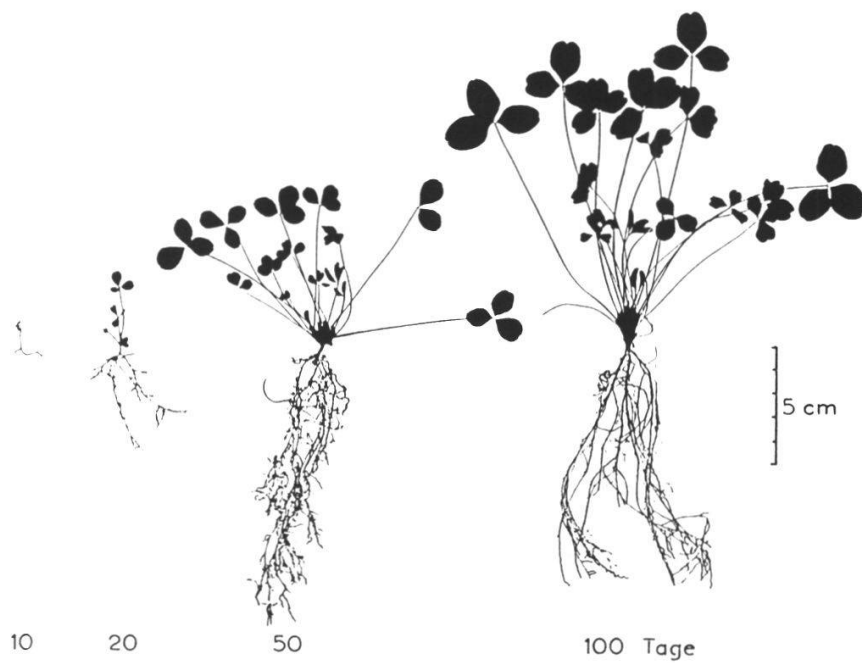
*Trifolium nivale* (Fig.15) investierte anscheinend gleichmässig sowohl in ober- als auch in unterirdische Strukturen. Bereits nach 50 Tagen waren gut ausgebildete Rosetten vorhanden. Die Wurzeln waren stark verzweigt und hatten den zur Verfügung stehenden Raum bereits ausgefüllt. Mehrere Individuen von *Trifolium nivale* blühten bereits 120 Tagen nach der Keimung.

*Epilobium alpinum* entwickelte sich sehr schnell (SCHÜTZ 1983). Die ersten Blätter waren rundlich, aber schon nach 20 Tagen bildete sich das erste Blattpaar mit für *Epilobium alpinum* typischer Form. Nach 50 Tagen waren bei allen Pflanzen bereits gut ausgebildete Seitenäste vorhanden und am 80. Tag öffneten sich die ersten Blüten. Die Hauptwurzel war etwas stärker ausgebildet als die nachher am Rhizom entstandenen. Sie dienten möglicherweise nur beschränkt der Ernährung, da bei den 100 Tage alten Individuen, neben den starken Befestigungswurzeln, ein reich verzweigter Wurzelteil vorhanden war.

Die Jungpflanzenentwicklung von *Leontodon montanus* konnte durch spektakuläre Wurzelentwicklung charakterisiert werden (Fig.16). Nach 20 Tagen waren im Durchschnitt erst 2 Blätter vorhanden, aber die Wurzeln



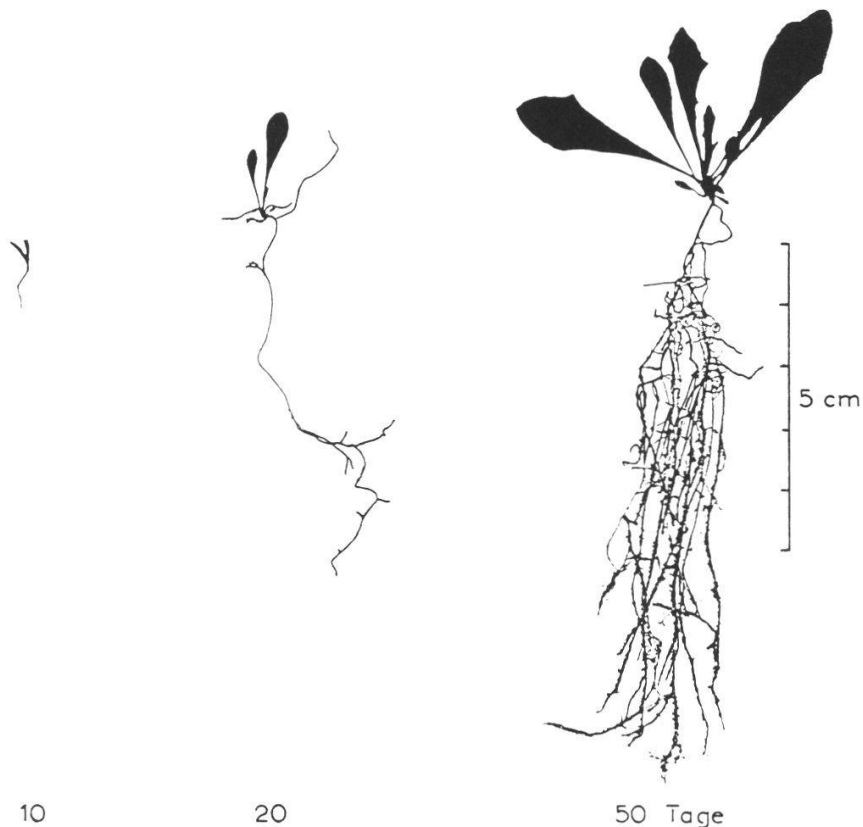
**Fig.14.** *Anthyllis alpestris*: Jungpflanzenentwicklung im Gewächshaus.  
*Anthyllis alpestris*: Development of young plants in the greenhouse.



**Fig.15.** *Trifolium nivale*: Jungpflanzenentwicklung im Gewächshaus.  
*Trifolium nivale*: Development of young plants in the greenhouse.

waren schon tief im Erdreich verankert. Nach 50 Tagen waren die oberirdischen Organe im Vergleich zu den Wurzeln immer noch eher wenig ausgebildet. Blütenbildung konnte bei *Leontodon montanus* nicht beobachtet werden.

Das Auftreten der generativen Phase wurde bei weiteren drei untersuchten Arten beobachtet: Schon 70 bis 80 Tage nach der Keimung blühte *Hutchinsia alpina*. Nur wenig später, 90 Tagen nach der Keimung blühte *Poa laxa*. *Trifolium badium* trat nach 120 Tagen in die generative Phase. Bei allen anderen Taxa konnte während dem ersten Jahr nach der Keimung keine Blütenbildung beobachtet werden.



**Fig.16.** *Leontodon montanus*: Jungpflanzenentwicklung im Gewächshaus.  
*Leontodon montanus*: Development of young plants in the greenhouse.



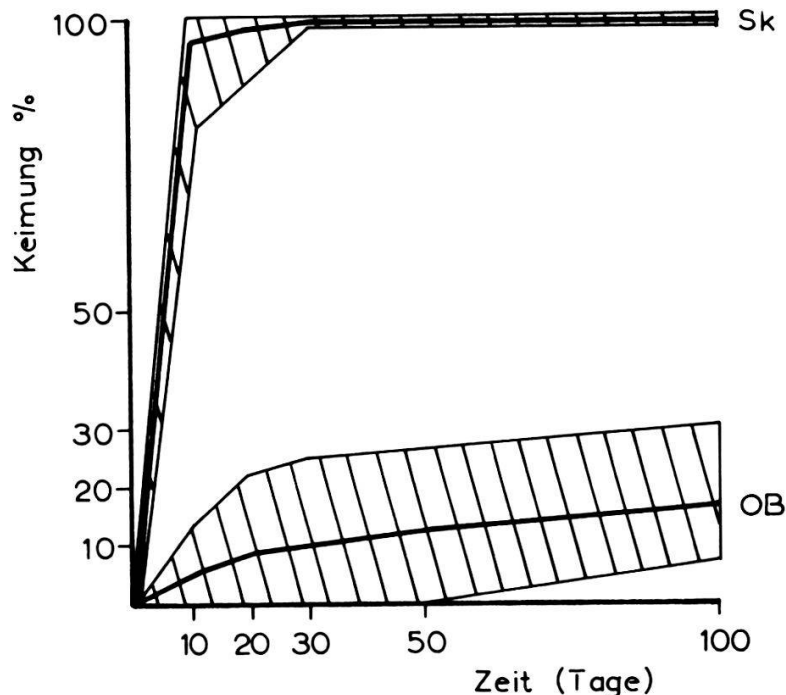
## 4.1.2 Versuche mit Vorbehandlung

### 4.1.2.1 Einfluss der Skarifikation auf das Keimverhalten

Bei einer mechanischen Skarifikation der Samenschale treten dann Änderungen im Keimverhalten auf, wenn die Samenschale wasser-und/oder gasundurchlässig ist oder die Wasser- bzw. Gasaufnahme erschwert.

Besonders spektakulär wirkte eine Skarifikation auf das Keimverhalten von *Leguminosae*, die bekanntlich harte Samenschalen produzieren (Fig.17). Insgesamt wurden 9 verschiedene *Leguminosae*-Arten getestet. Dieses Material umfasste Proben von verschiedenen Substraten und Erntejahren.

Die Keimung in Testserien mit unbehandelten Samen war im Durchschnitt regelmässig, aber eher schlecht. Die beste Keimung wiesen Samen von *Tri-*



**Fig.17.** Keimverhalten von 9 Leguminosen-Arten. Mittelwerte und Minimum/Maximum - Angabe. OB = Ohne Behandlung, Sk = Mechanische Skarifikation  
*Germinating behaviour in 9 species of legumes. Mean and minimum/maximum values indicated. OB = no seed pretreatment, Sk = mechanical scarification*

*folium nivale* auf, die schlechtesten Samen von *Astragalus alpinus*. Bei mehreren *Trifolium* -Arten und auch bei *Lotus alpinus* schien oft ein Teil der Samenschalen für Wasser durchlässig, bzw. die Samenschalen beschädigt zu sein. Das wirkte sich in einer besseren Keimung während der ersten 30 Tage aus. Samen von anderen Arten, wie *Astragalus alpinus*, *Oxytropis campestris* und *O. jacquinii* keimten selten schon während der ersten Tage, was darauf hinweist, dass bei diesen Arten in der Regel die Samenschale fester ausgebildet war. Nach einer Skarifikation keimten Samen von allen 9 Arten nach der 100 - tägigen Beobachtungsperiode zu 96-100 %. Bei mehreren Serien wurde eine Keimungsrate von 100 % schon während der ersten 10 Tage erreicht: z.B. bei *Anthyllis alpestris*, *Astragalus alpinus*, *Oxytropis campestris*, *Trifolium alpinum* und *T. thalii*. Den langsamsten Keimungsprozess und die schlechteste Keimung wurde bei *Trifolium nivale* beobachtet.

Arten aus der Familie der *Caryophyllaceae* reagierten ebenfalls positiv auf eine Skarifikation (Tab.10). Bei allen untersuchten Arten wurde die Keimungsrate massiv erhöht und die erhaltenen Vergleichswerte zeigten einen deutlich beschleunigten Keimungsverlauf.

Auch die *Gramineae* reagierten positiv auf eine Skarifikation (Tab.10). Die meisten der getesteten Arten keimten sowohl besser als auch schneller nach einer Skarifikation. Ausnahmen sind *Poa laxa*, bei welcher unabhängig von der Behandlung nur ein Same keimte und *Trisetum distichophyllum* von Silikat, mit einer leicht niedrigeren Keimungsrate nach 100 Tagen nach einer Skarifikation. Nach 10 Tagen hatten aber auch bei *Trisetum distichophyllum* nach einer Skarifikation mehr Samen gekeimt als ohne Vorbehandlung (Fig.18). Der  $t_{75}$ - Wert unterschlägt aber diesen Effekt.

Auch in anderen Familien traten Änderungen im Keimverhalten nach einer mechanischen Skarifikation auf, z.B. bei vielen *Compositae*, die positiv auf eine Skarifikation reagierten (Tab.10). Bei den untersuchten Arten lief die Keimung nach einer Skarifikation signifikant schneller ab als bei

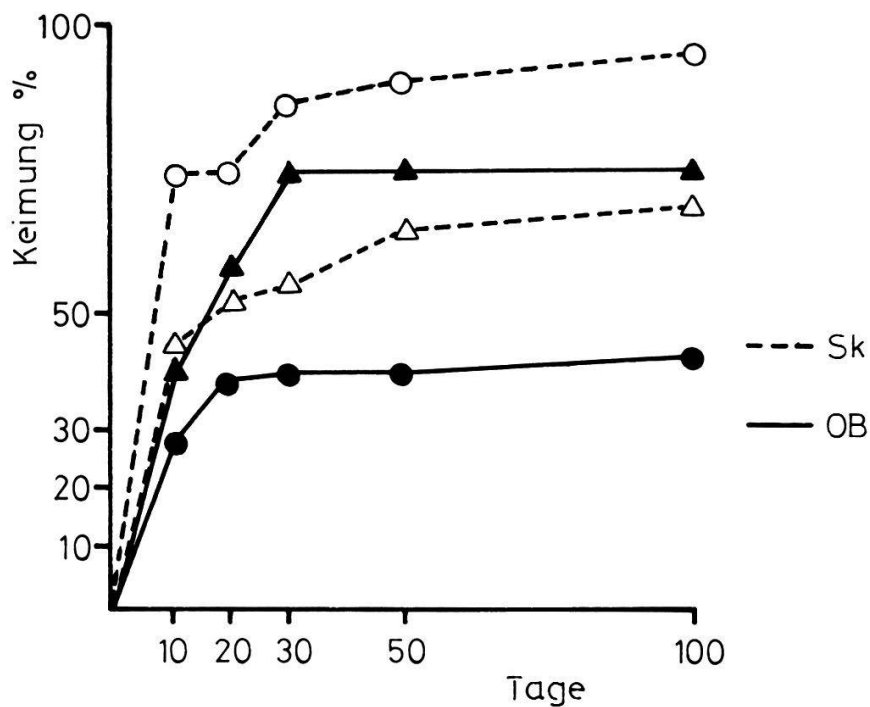
unbehandelten Serien. Eine Erhöhung der Keimungsrate trat aber nicht generell ein. Die Beispiele von *Crepis terglouensis* und *Leontodon montanus* illustrieren dieses Verhalten (Fig.19). Beide Arten keimten bis zum 10. Tag besser nach einer Skarifikation, aber nur bei *Crepis terglouensis* wurde auch eine höhere Keimungsrate beobachtet. Die mechanische Skarifikation der Samenschale hatte keinen Einfluss auf die Entwicklung der Jungpflanzen.

**Tab.10.** Keimverhalten von untersuchten Arten aus den Familien der *Compositae*, *Caryophyllaceae* und *Gramineae*. OB = ohne Behandlung, Sk = mechanische Skarifikation.

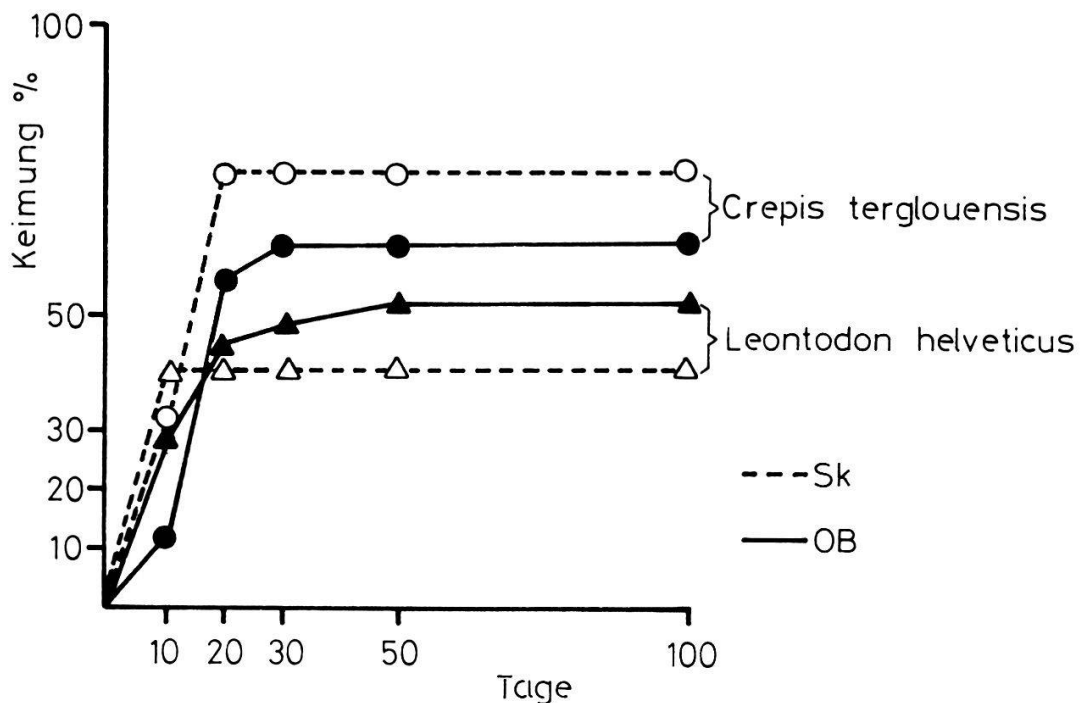
*Germinating behaviour in Compositae, Caryophyllaceae and Gramineae studied. OB = no seed pretreatment, Sk = mechanical scarification.*

Art	t <sub>75</sub>	Keimung %	
		OB	Sk
<i>Achillea atrata</i>	9	11	72
<i>Cirsium spinosissimum</i> Si	21	59	54
<i>Cirsium spinosissimum</i> Ca	20	75	56
<i>Crepis jacquinii</i>	14	34	54
<i>Crepis terglouensis</i>	16	18	74
<i>Doronicum clusii</i>	17	22	12
<i>Leontodon helveticus</i>	8	16	40
<i>Leontodon hyoseroides</i>	16	19	56
<i>Cerastium latifolium</i>	8	-	20
<i>Cerastium uniflorum</i>	37	45	26
<i>Moehringia ciliata</i>	12	-	48
<i>Silene willdenowii</i>	7	24	72
<i>Agrostis rupestris</i>	16	20	90
<i>Helictotrichon versicolor</i>	8	13	96
<i>Poa laxa</i>	70	38	2
<i>Sesleria coerulea</i>	17	26	92
<i>Trisetum distichophyllum</i> Si	19	19	68
<i>Trisetum distichophyllum</i> Ca	22	28	36

Si = Silikat, Ca = Karbonat



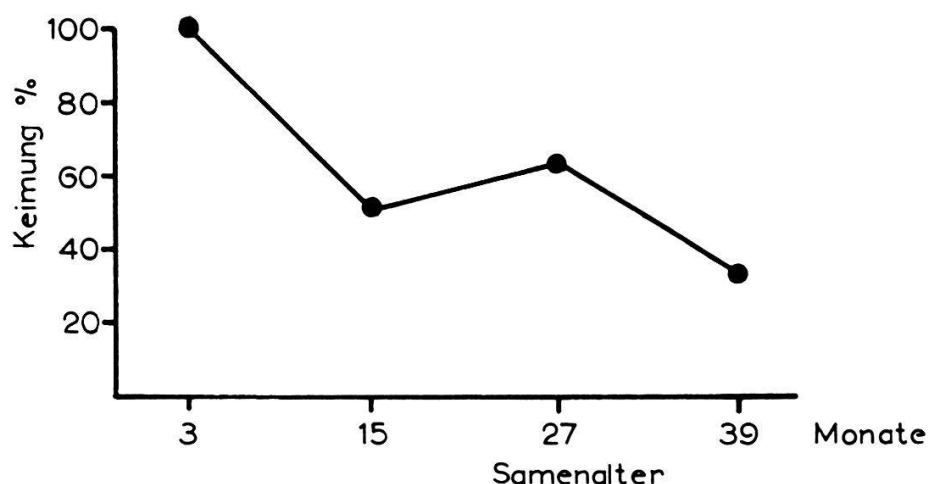
**Fig.18.** Keimverhalten von *Helictotrichon versicolor* (○) und *Trisetum distichophyllum* von Silikat(△). OB = Ohne Vorbehandlung, Sk = Skarifikation.  
*Germinating behaviour of Helictotrichon versicolor*(○) and *Trisetum distichophyllum*(△).  
 OB = no seed pretreatment, Sk = seeds scarified.



**Fig.19.** Keimverhalten von *Crepis terglouensis* und *Leontodon montanus*. OB = Ohne Vorbehandlung, Sk = Skarifikation.  
*Germinating behaviour of Crepis terglouensis* and *Leontodon montanus*. OB = no seed pretreatment, Sk = seeds scarified.

Das Verhalten von skarifizierten Samen mit zunehmendem Samenalter wurde nur bei *Anthyllis alpestris* untersucht. Das Samenmaterial wurde dabei unbehandelt gelagert und erst kurz vor Versuchsbeginn skarifiziert. Die Samen keimten mit zunehmendem Samenalter immer schlechter (Fig.20). Bei frischem Samenmaterial keimten alle Samen schon innerhalb von 10 Tagen. Von den 39 Monate alten Samen keimten nur noch 32 % bis zum 10. Tag. Die Keimungsrate erhöhte sich nicht mehr bis zum Versuchsende nach 100 Tagen.

Bei Samen von drei anderen getesteten Leguminosen, *Lotus alpinus*, *Oxytropis jacquinii* und *Trifolium nivale*, sank die Keimungsrate bei skarifiziertem 15 Monate altem Material ebenfalls. Samen von *Lotus alpinus* keimten zu 84 % (3 Monate alte zu 100 %), von *Oxytropis jacquinii* zu 92 % (gegenüber 100 %) und von *Trifolium nivale* zu 82 % gegenüber 96 %).



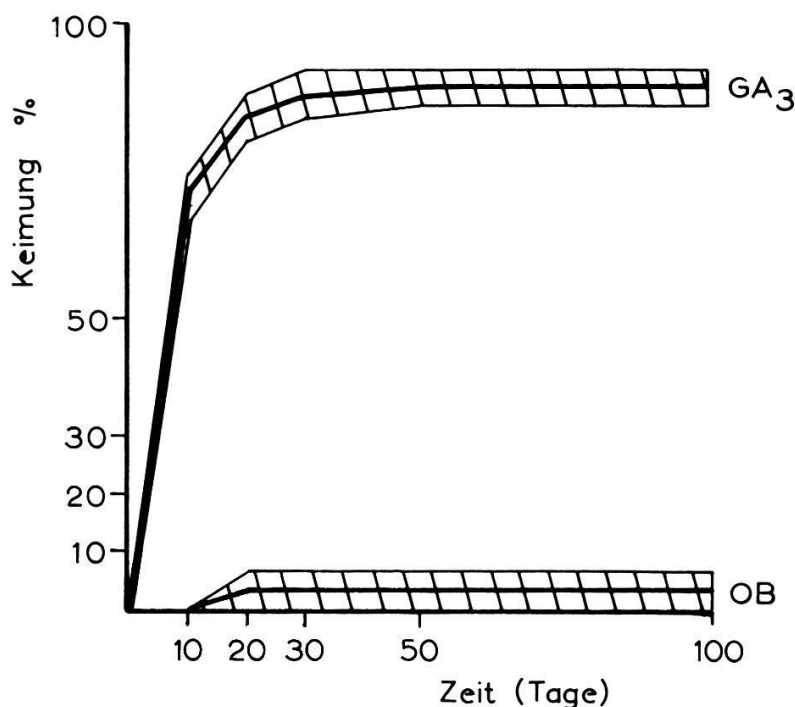
**Fig.20.** *Anthyllis alpestris*: Keimverhalten mit zunehmendem Samenalter. Versuche mit skarifizierten Samen.

*Anthyllis alpestris*: germinating behaviour with increasing age of seeds. Trials with scarified seeds.

#### 4.1.2.2 Einfluss von Gibberellinsäure (GA<sub>3</sub>) auf das Keimverhalten

Bei Samen von Arten, die einen physiologisch inaktiven Embryo haben oder deren Embryo klein und/oder nicht differenziert ist, löst eine Vorbe-

handlung mit Gibberellin die Keimung aus oder erhöht die Keimungsrate. Ein spektakuläres Beispiel dafür ist *Linaria alpina* (Fig.21). Getestet wurde Samenmaterial aus vier verschiedenen Populationen, die von je zwei verschiedenen Substraten und aus je zwei verschiedenen Erntejahren stammten. Unabhängig von Herkunft und Erntejahr blieb das Keimverhalten identisch: Während unbehandelte Samen von *Linaria alpina* sehr schlecht keimten (0-6 %), führte eine Gibberellinbehandlung zu einer ausserordentlich guten und schnellen Keimung.



**Fig.21.** Keimverhalten von *Linaria alpina*. OB = unbehandelte Samen, GA<sub>3</sub> = Samenvorbehandlung mit Gibberellin. Mittelwerte und Minimum/Maximum-Angabe.  
*Germinating behaviour of Linaria alpina.* OB = not pretreated seeds, GA<sub>3</sub> = seeds pretreated with gibberellin. Mean and minimum/maximum values indicated.

Auch bei einigen Arten aus der Familie der *Caryophyllaceae* förderte Gibberellin die Keimung (Tab.11). Vorbehandelte Samen keimten aber langsamer als solche in unbehandelten Serien. Offenbar hemmte die undurchlässige Samenschale die Wirkung von GA<sub>3</sub> (s. Kap. 4.1.2.1 und 4.1.2.4). Auffällig ist das beinahe identische Verhalten der nahe verwandten

*Cerastium latifolium* und *C. uniflorum*. Bei beiden erhöhte sich die Keimungsrate deutlich auf 26 %, allerdings erfolgte die Keimung stark verzögert. Es ist auch interessant, dass *Moehringia ciliata* überhaupt nicht auf eine GA<sub>3</sub>-Behandlung reagierte (Tab.11). Bei allen anderen untersuchten Arten, die aus verschiedenen Familien stammten, erhöhte sich die Keimungsrate teilweise sehr stark (Tab.11). Im Unterschied zu den *Caryophyllaceae* keimten alle Arten schneller nach einer GA<sub>3</sub>-Behandlung als ohne Vorbehandlung.

Die Wirkung von Gibberellin auf die Keimung von Samen, die unterschiedlich lange gelagert wurden, war differenziert. Samen von einigen ausgewählten Arten wurden während 39 Monaten beobachtet. Bei *Trisetum distichophyllum* (Fig.22) keimten unbehandelte Samen während einer La-

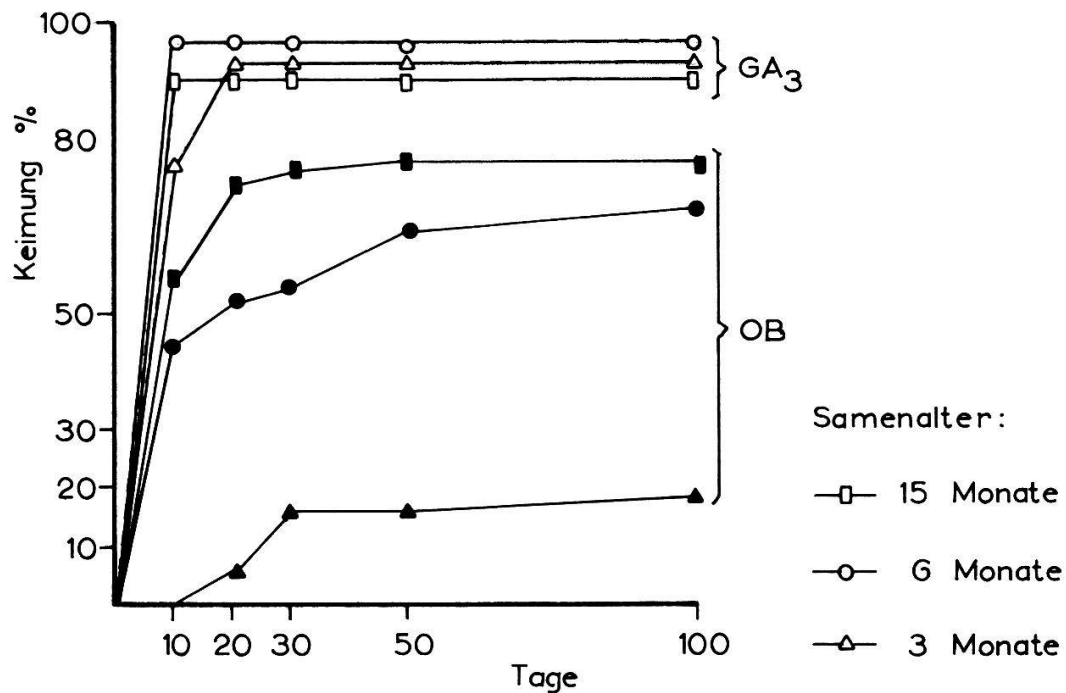
**Tab.11.** Keimverhalten von *Caryophyllaceae* (oben) und Arten aus anderen Familien (unten): OB = ohne Vorbehandlung, GA<sub>3</sub> = Samenvorbehandlung mit Gibberellin.  
*Germinating behaviour of Caryophyllaceae (above) and species from other families (below): OB = not pretreated seeds, GA<sub>3</sub> = seeds pretreated with gibberellin.*

Art	t <sub>75</sub>	Keimung %	
	GA <sub>3</sub>	OB	GA <sub>3</sub> OB
<i>Cerastium latifolium</i>	82	-	26 0
<i>Cerastium uniflorum</i>	70	45	26 2
<i>Moehringia ciliata</i>	-	-	0 0
<i>Silene wilddenowii</i>	23	18	74 44
<i>Arabis alpina</i>	13	-	76 0
<i>Cirsium spinosissimum</i> Si	17	40	28 4
<i>Geum montanum</i>	83	86	24 18
<i>Hutchinsia alpina</i> Ca	14	27	76 42
<i>Phytheuma hemisphaericum</i>	12	-	74 0
<i>Poa laxa</i>	21	70	34 2

Si = Silikat, Ca = Karbonat

gerzeit von 15 Monaten immer besser und schneller. Mit Gibberellin behandeltes Material keimte unabhängig vom Samenalter zu über 90 %. Die Keimung verlief bei drei Monate altem Material etwas langsamer als bei länger gelagertem.

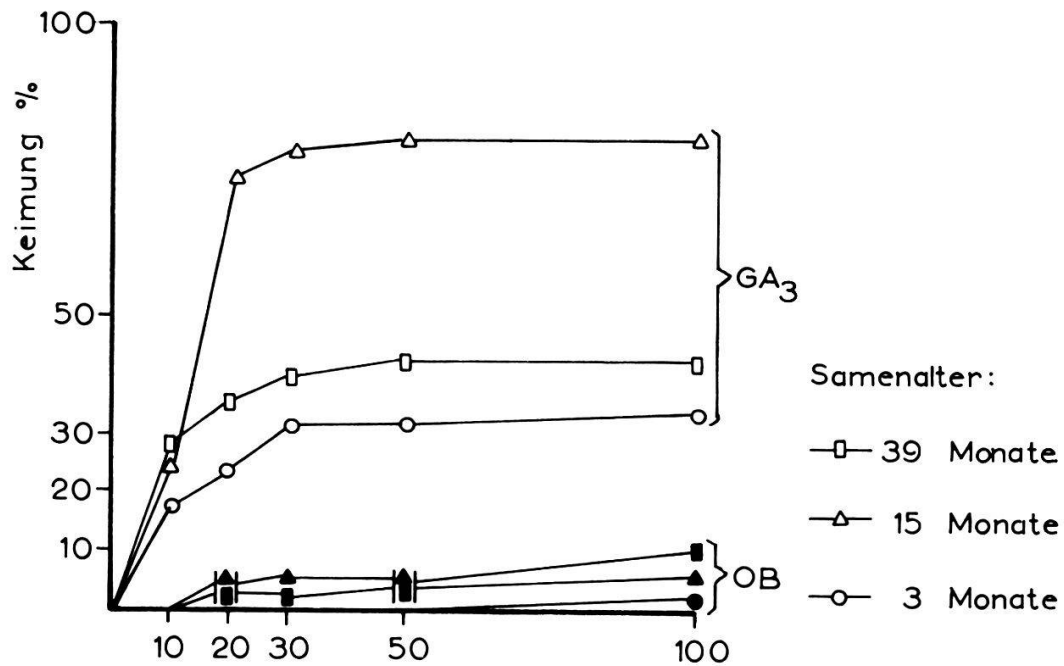
Bei *Poa laxa* verbesserte sich die Keimung von unbehandelten Samen sehr langsam während einer Lagerung von mehreren Jahren (Fig.23). Gibberellin verbesserte und beschleunigte die Keimung massiv. 15 Monate alte Samen keimten dabei am besten und schnellsten. Offenbar konnte  $GA_3$  in diesem Fall nicht den ganzen Prozess der Nachreife ersetzen.



**Fig.22. *Trisetum distichophyllum*:** Keimverhalten mit zunehmendem Samenalter. OB = Ohne Vorbehandlung,  $GA_3$  = Vorbehandlung mit Gibberellinsäure.

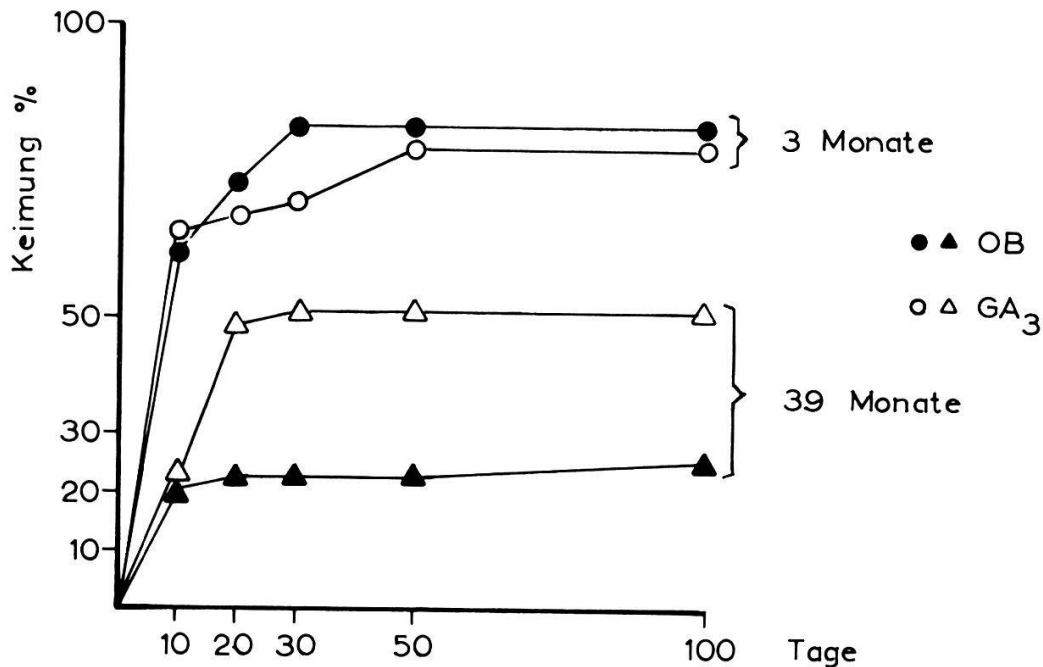
*Trisetum distichophyllum*: germinating behaviour with increasing age of seed. OB = no seed pretreatment,  $GA_3$  = pretreatment with gibberellinic acid.





**Fig.23. *Poa laxa*:** Keimverhalten mit zunehmendem Samenalter. OB = Ohne Vorbehandlung, GA<sub>3</sub> = Vorbehandlung mit Gibberellinsäure.

*Poa laxa*: germinating behaviour with increasing age of seed. OB = no seed pretreatment, GA<sub>3</sub> = pretreatment with gibberellinic acid.



**Fig.24. *Achillea atrata*:** Keimverhalten mit zunehmendem Samenalter. OB = Ohne Vorbehandlung, GA<sub>3</sub> = Vorbehandlung mit Gibberellinsäure.

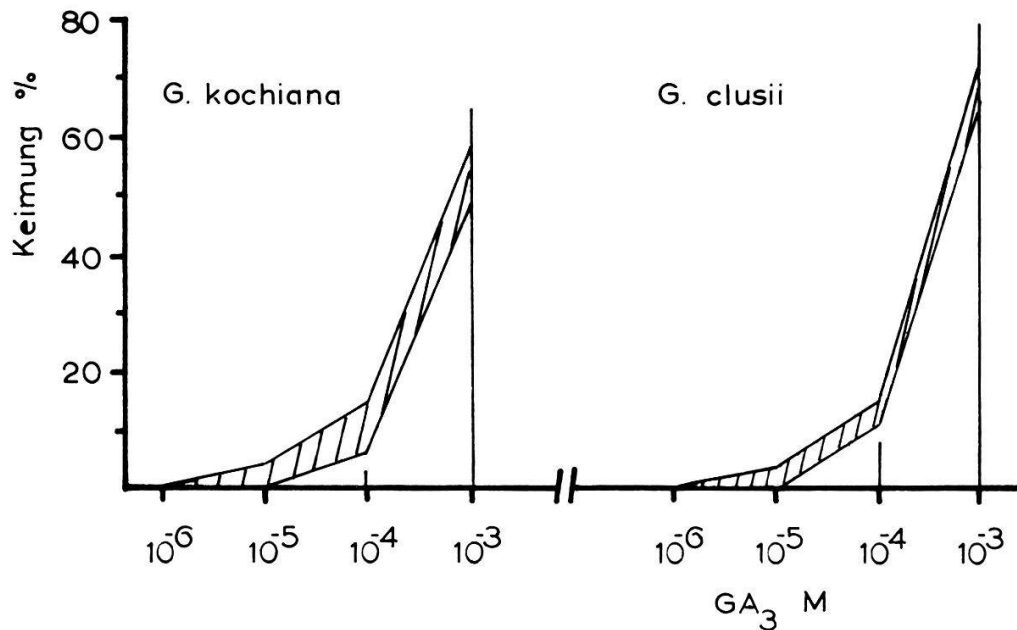
*Achillea atrata*: germinating behaviour with increasing age of seed. OB = no seed pretreatment, GA<sub>3</sub> = pretreatment with gibberellinic acid.

Drei Monate altes Material von *Achillea atrata* keimte mit und ohne Vorbehandlung mit Gibberellin gleich gut. Nach 10 Tagen hatten in beiden Serien zwischen 60 und 64 % der Samen gekeimt (Fig.24). Unbehandelte 39 Monate alte Samen keimten nur zu 24 %. Nach einer Behandlung mit Gibberellin erhöhte sich die Keimungsrate auf 54 %. Bei *Achillea atrata* trat während der ungünstigen Lagerzeit offenbar eine induzierte Keimruhe ein.

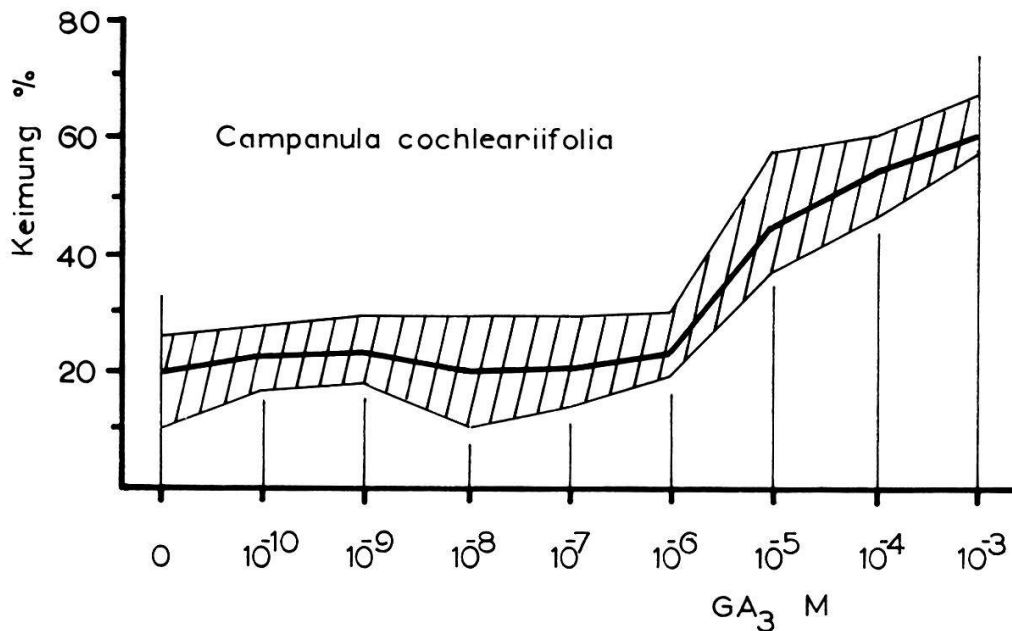
Gibberellin kann also bei vielen Arten die Keimung verbessern oder beschleunigen. Es stellte sich jedoch die Frage, ob auch die Jungpflanzenentwicklung positiv beeinflusst wird. Eine andere Frage war, welche Gibberellinkonzentrationen in diesem Zusammenhang am besten wären. Diese Probleme wurden bei einigen Arten untersucht, deren Samen mit verschiedenen Gibberellinkonzentrationen vorbehandelt wurden.

*Gentiana clusii* und *Gentiana kochiana* keimten bis zu einer Konzentration von  $10^{-6}$  M  $GA_3$ -Lösung überhaupt nicht (Fig.25). Zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-4}$  M setzte die Keimung langsam ein, die grösste Erhöhung der Keimungsrate trat aber erst bei sehr hoher Gibberellinkonzentration ein, ab  $10^{-4}$  M. *Gentiana clusii* keimte dabei leicht schneller und besser als *Gentiana kochiana*.

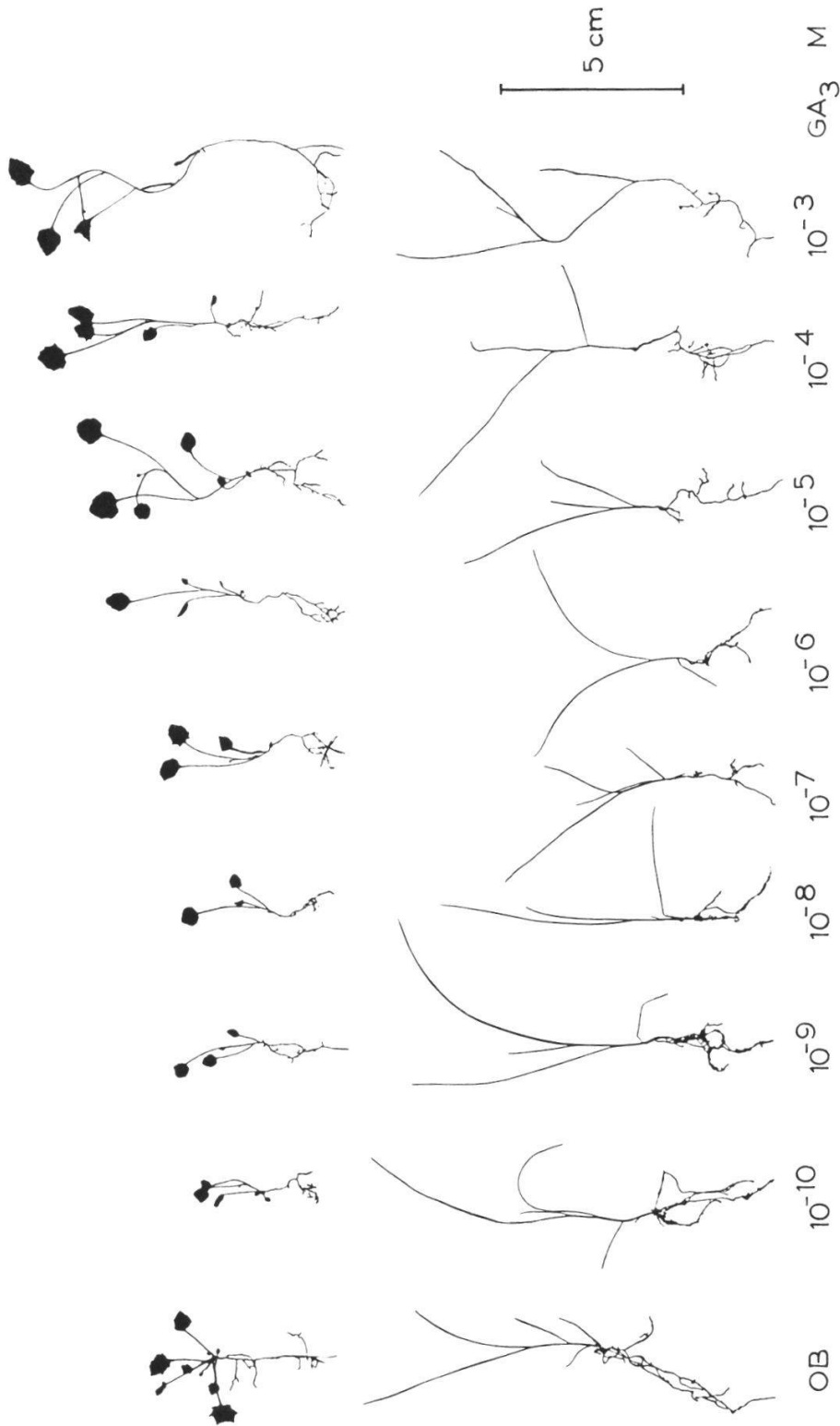
Bei *Campanula cochleariifolia* trat ein Effekt von Gibberellin auf das Keimverhalten ebenfalls erst ab einer Konzentration von  $10^{-6}$  M ein (Fig.26, teilweise aus SCHÜTZ 1986). Der höchste Zuwachs der Keimungsrate erfolgte im Gegensatz zu den *Gentiana*-Arten zwischen  $10^{-6}$  M und  $10^{-5}$  M. Bei weiterer Erhöhung der  $GA_3$ -Dosis verminderte sich die Zuwachsrate.



**Fig.25.** *Gentiana kochiana* und *Gentiana clusii* Keimverhalten nach Samenvorbehandlungen mit verschiedenen Gibberellinkonzentrationen. Minimum/Maximum-Angabe.  
*Gentiana kochiana* und *Gentiana clusii*: germinating behaviour after the seed pretreatment with various concentrations of gibberellin. Minimum/maximum indicated.



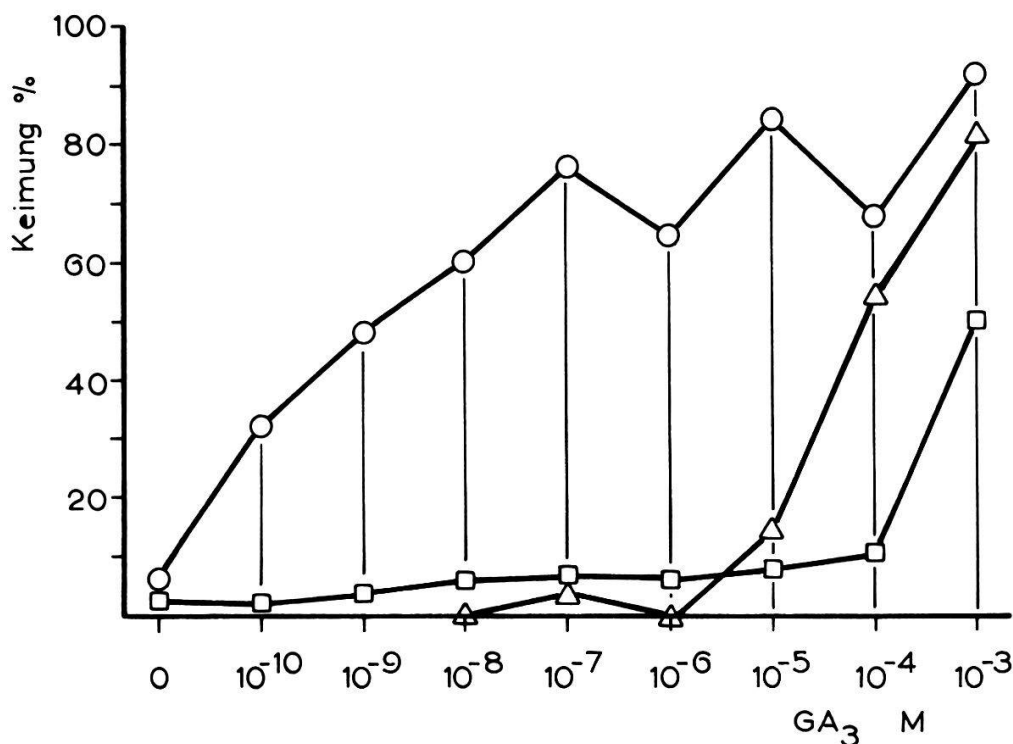
**Fig.26.** *Campanula cochleariifolia*: Keimverhalten nach einer Samenvorbehandlung mit verschiedenen Gibberellinkonzentrationen. Angabe von Mittelwert und Minimum/Maximum.  
*Campanula cochleariifolia*: germinating behaviour after the seed pretreatment with various concentrations of gibberellin. Mean and minimum/maximum values indicated.



**Fig.27.** Jungpflanzenentwicklung nach einer Vorbehandlung der Samen mit verschiedenen Gibberellin-Konzentrationen bei *Campanula cochlearifolia* (20 Tage alt, oben) und *Trisetum distichophyllum* (25 Tage alt, unten).  
Development of young plants after the seed pretreatment with various concentrations of gibberellin in *Campanula cochlearifolia* (20 - day - old, above) and *Trisetum distichophyllum* (25 - day - old, below)

Die Auswirkung von Gibberellin auf die Entwicklung der Jungpflanzen sind in Fig.27 dargestellt. Zwanzig Tage alte Jungpflanzen, die sich aus unbehandelten Samen entwickelt hatten, waren schon sehr kräftig mit bis zu 8 Blättern und gut ausgebildetem Wurzelwerk. Pflanzen aus Samen, die mit  $10^{-10}$  bis  $10^{-7}$  M  $\text{GA}_3$ -Lösung behandelt wurden, waren bedeutend schwächer. Die Wurzelentwicklung blieb zurück und die Anzahl der Blätter betrug nur drei bis vier. Ab Konzentrationen von  $10^{-6}$  M etiolierten die Pflanzen sehr stark, d.h. wuchsen in die Länge und verblichen. Pflanzen aus Samen, die mit  $10^{-3}$  M behandelt wurden, zeigten nicht einmal den Ansatz zu einer Rosettenbildung, sondern glichen eher einem Kriechtrieb.

Von *Trisetum distichophyllum* konnten nur je 25 Samen pro Serie getestet werden (Fig.28). Schon ab einer  $10^{-10}$  M  $\text{GA}_3$ -Lösung stieg die Keimungsrate



**Fig.28.** *Trisetum distichophyllum*( $\circ$ ), *Arabis alpina*( $\square$ ) und *Linaria alpina*( $\triangle$ ): Keimverhalten nach einer Samenvorbehandlung mit verschiedenen Gibberellinkonzentrationen.

*Trisetum distichophyllum*( $\circ$ ), *Arabis alpina*( $\square$ ) and *Linaria alpina*( $\triangle$ ): germinating behaviour after the seed pretreatment with various concentrations of gibberellin.

an und nahm bis  $10^{-7}$  M kontinuierlich zu. Ab  $10^{-7}$  M verlangsamte sich die Erhöhung der Keimungsrate. Eine starke Etiolation der Internodien bei Jungpflanzen, die aus mit Gibberellin behandelten Samen aufwuchsen, trat erst ab einer Konzentration von  $10^{-6}$  M auf (Fig.27) wie bei *Campanula cochleariifolia*. Bei niedrigeren Konzentrationen als  $10^{-8}$  M waren morphologisch keine grossen Differenzen zu unbehandeltem Material festzustellen.

*Arabis alpina* verhielt sich ähnlich wie die beiden *Gentiana*-Arten (Fig.28). Ein Einfluss von Gibberellin auf die Keimung konnte erst ab einer Konzentration von  $10^{-4}$  M beobachtet werden. Da unbehandeltes Samenmaterial von *Arabis alpina* nicht keimte, wurde die Jungpflanzenentwicklung nicht verfolgt.

Schon ab einer Konzentration von  $10^{-6}$  M verbesserte sich die Keimung bei *Linaria alpina* (Fig.28). Die grösste Steigerung der Keimungsrate wurde zwischen  $10^{-5}$  und  $10^{-4}$  M Gibberellinlösung realisiert. Bei noch höheren Konzentrationen verlangsamte sich die Erhöhung der Keimungsrate. Auch bei *Linaria alpina* konnte der Vergleich der Jungpflanzenentwicklung nicht beobachtet werden.

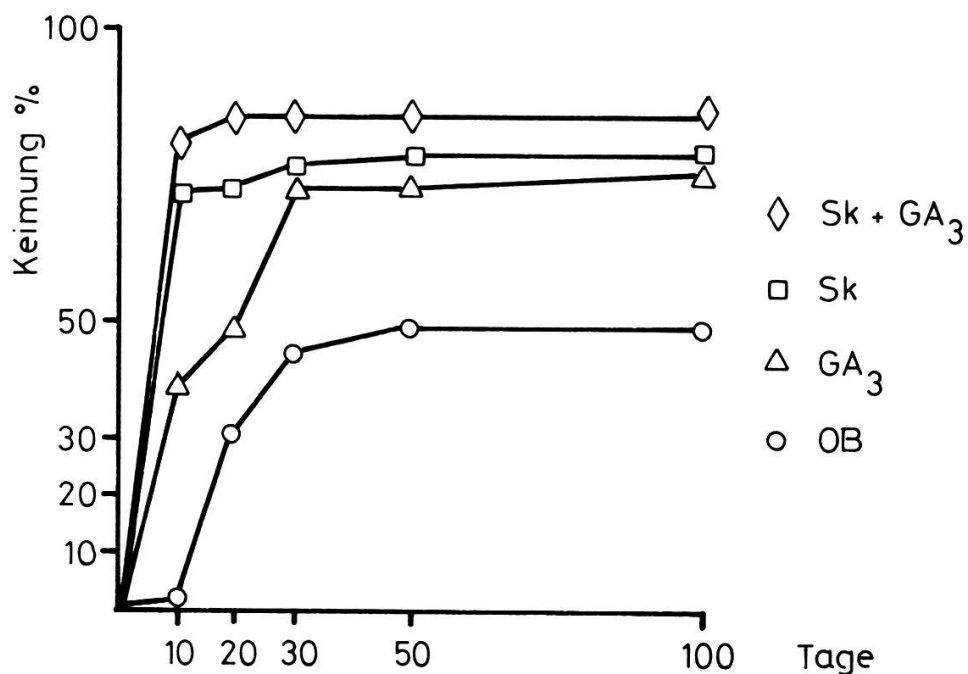
#### 4.1.2.3 Wirkung von einer kombinierten Vorbehandlung (Skarifikation und Gibberellin) auf das Keimverhalten

Die Versuche mit einer kombinierten Vorbehandlung sollten zeigen, ob die Keimungsrate bei Arten, die auf eine alleinige Skarifikation oder alleinige Gibberellinbehandlung positiv reagierten, weiter erhöht werden kann.

Bei Arten, die sowohl auf eine Skarifikation wie auch auf eine Gibberellinbehandlung mit einer verbesserten Keimung reagieren, wird das Keimverhalten nochmals verbessert, falls eine Skarifikation mit einer Behandlung mit Gibberellin kombiniert wird. Bei den *Caryophyllaceae* überwiegt dabei der Effekt der Skarifikation im allgemeinen jenen der

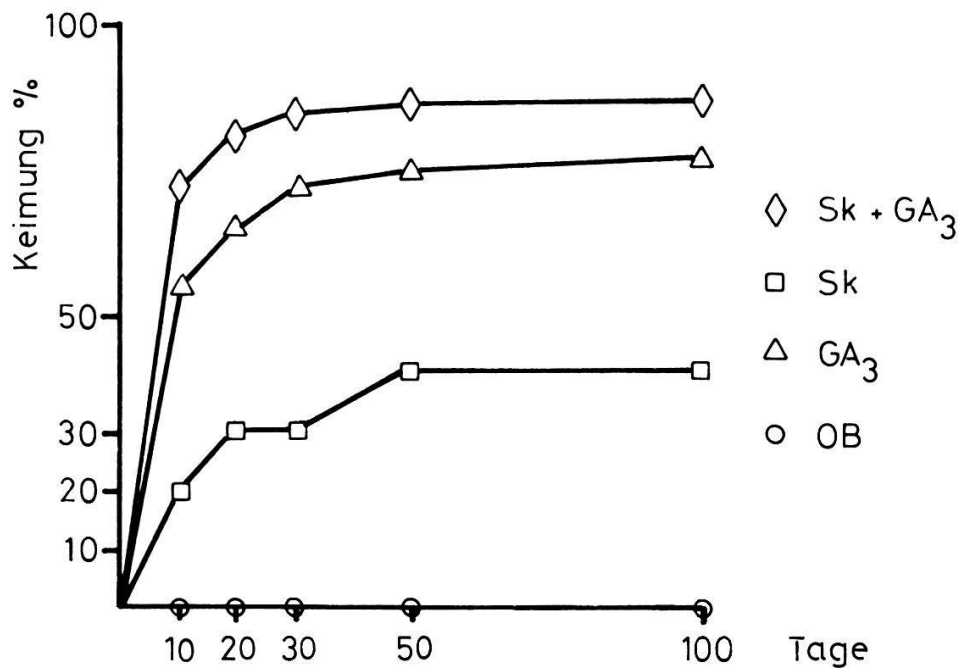
Behandlung mit  $GA_3$  (vgl. URBANSKA und SCHÜTZ 1986). Bei einer kombinierten Behandlung keimten die Samen allerdings nochmals besser und schneller als bei einer Vorbehandlung mit nur einem Faktor. Kaum auf  $GA_3$  reagierte *Moehringia ciliata*, sehr stark dagegen *Silene willdenowii* (Fig.29). Die alleinige Skarifikation hatte dabei immer eine höhere Keimungsrate zur Folge, als die alleinige Behandlung mit Gibberellin. Deutlich schneller verlief die Keimung immer nach einer Skarifikation. Die kombinierte Behandlung beschleunigte die Keimung, die nach einer alleinigen Skarifikation auftrat, noch einmal etwas.

*Cerastium latifolium* und *Cerastium uniflorum* keimten ebenfalls am besten nach einer kombinierten Vorbehandlung. Bei einer Behandlung mit nur einem Faktor, also alleinige Skarifikation oder alleinige Behandlung mit Gibberellin, keimten in allen Serien zwischen 20 und 26 % der Samen. Allerdings beschleunigte die alleinige Skarifikation, im Unterschied zur



**Fig.29.** Keimverhalten von *Silene willdenowii*: OB = Ohne Vorbehandlung, Sk = Skarifikation,  $GA_3$  = Behandlung mit Gibberellin.

*Germinating behaviour of Silene willdenowii*: OB = no seed pretreatment, Sk = scarification,  $GA_3$  = pretreatment with gibberellin.



**Fig.30.** Keimverhalten von *Arabis alpina*: OB = Ohne Vorbehandlung, Sk = Skarifikation, GA<sub>3</sub> = Behandlung mit Gibberellin.

*Germinating behaviour of Arabis alpina*: OB = no seed pretreatment, Sk = scarification, GA<sub>3</sub> = pretreatment with gibberellin.

alleinigen Gibberellinbehandlung, den Keimungsverlauf deutlich (vgl. Kap. 4.1.2.1, S. 68 und 4.1.2.2, S. 73).

Samen von *Arabis alpina* wiesen unbehandelt eine totale Keimruhe auf. Sowohl eine GA<sub>3</sub>-Behandlung, wie auch eine Skarifikation konnten die Keimruhe teilweise brechen (Fig.30). Anders als bei den *Caryophyllaceae* überwog der Effekt von Gibberellin jenen einer alleinigen Skarifikation. Auch in diesem Beispiel verbesserte eine kombinierte Vorbehandlung die Keimung nochmals.



## 4.2 KEIMUNG UND JUNGPFANZENENTWICKLUNG IM FELDE

### 4.2.1 Aussaaten auf Karbonat

#### 4.2.1.1 Gesamt-Auswertung

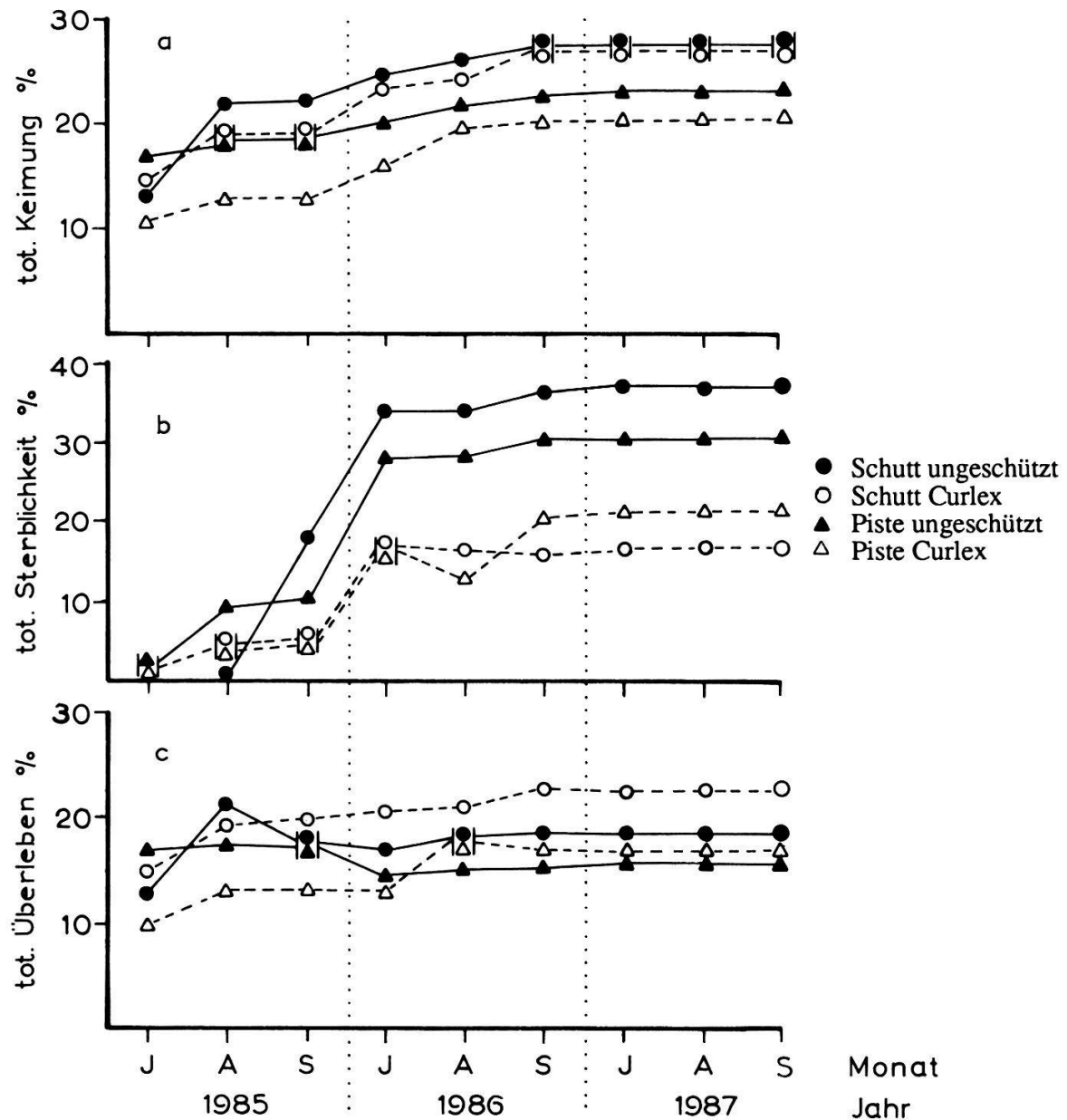
Von den im Frühsommer 1984 ausgesäten 13 Arten (siehe Kap. 3.3.1, S. 43) überlebten Keimlinge von *Sesleria coerulea*, *Luzula multiflora*, *Sagina linnaei* und *Crepis jacquinii* den ersten Winter nicht. Die Daten beziehen sich deshalb nur auf das Verhalten von 9 Arten.

Die vier Versuchsflächen der Frühsommerrausaat Juli 1984 wurden bewusst unterschiedlich angelegt (vgl. Kapitel 3.3). Unterschiede im Keimverhalten und in der Entwicklung der Pflanzen zwischen verschiedenen Flächen wurden in Gesamt-Auswertungen deutlich. Dabei wurde jede Fläche separat als Versuchseinheit betrachtet, ohne das Verhalten der einzelnen Arten zu berücksichtigen. Keimungen, die schon 1984 unmittelbar nach der Aussaat erfolgten, wurden nicht berücksichtigt, da auf den mit CURLEX bedeckten Flächen ein Auszählen nicht möglich war. Unberücksichtigt blieben auch die Individuen, die im Sommer 1984 und im Winter 1984/85 abstarben.

Es wurden deutliche Unterschiede im Keimverhalten festgestellt (Fig.31a). Bis und mit Ende der 2. Vegetationsperiode nach der Aussaat keimten signifikant mehr Samen auf den unbedeckten Flächen als auf den mit CURLEX bedeckten. Im Lauf der 3. Vegetationsperiode wurden die Unterschiede zwar kleiner, blieben aber signifikant. Die meisten Arten keimten auf der Schutthalde besser als auf der Skipiste.

Der Vergleich der Sterberaten zeigte deutlich den schützenden Effekt der CURLEX-Decken (Fig.31 b). Sowohl im Laufe der 2. Vegetationsperiode als auch im folgenden Winter starben auf den offenen Flächen bedeutend

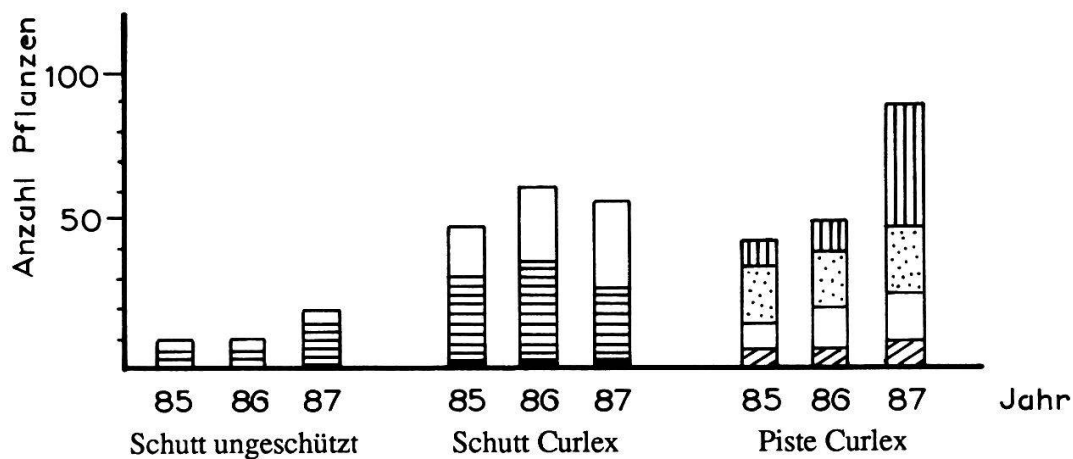
mehr Keimlinge und Jungpflanzen als auf den durch CURLEX geschützten Flächen. Im Laufe der 3. Vegetationsperiode und im folgenden Winter starben nur noch vereinzelt Pflanzen, ein Hinweis darauf, dass ein- bis zweijährige Individuen schon gut etabliert sind. Bis zum Ende der 4. Vegeta-



**Fig.31.** Gesamt-Auswertung des Verhaltens von 9 Arten auf den verschiedenen Versuchsflächen. Fröhsommerausaat Juli 1984. J = Juli, A = August, S = September.  
*Global evaluation of germination, mortality and survivorship of 9 species in different field plots sown in July 1984. J = July, A = August, S = September.*

tionsperiode blieben die durchschnittlichen Sterberaten auf den mit CURLEX bedeckten Flächen signifikant tiefer als auf den offenen. Die Sterblichkeit auf der mit CURLEX bedeckten Fläche auf der Skipiste stieg während der dritten Saison an; dies könnte damit zusammenhängen, dass der Schutzeffekt durch die Decken nicht mehr vorhanden war, da die Fasern praktisch vollständig abgebaut waren. Zudem war der Einfluss von weidenden Schafen und Wild auf der Skipiste viel grösser als auf der Schutthalde, wo nie Frassspuren festgestellt werden konnten.

Am Ende der 2. Vegetationsperiode waren auf der mit CURLEX geschützten Fläche auf der Skipiste noch deutlich weniger Individuen vorhanden als auf den drei anderen Flächen (Fig.31c). Bemerkenswert ist jedoch, dass die Individuenzahl auf dieser Fläche während des Winters 1985/86 des Sommers 1986 und des Winters 1986/87 anstieg, auf den anderen Flächen aber stagnierte. Im September 1986, d.h. am Ende der 3. Vegetationsperiode nach der Aussaat waren deshalb auf den beiden Skipistenflächen und auf der unbe-



**Fig.32.** Verhalten von eingewanderten Arten. Frühsommersaat Juli 1984. Keine Pflanzen auf der ungeschützten Skipistenfläche.  
*Behaviour of immigrant species. Plots sown in early summer July 1984. No plants on the unprotected ski run plot.*

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| Poa alpina          | Hutchinsia alpina |
| Polygonum viviparum | Arabis pumila     |
| Moehringia ciliata  | Sedum atratum     |

deckten Schuttfläche etwa gleich viele Individuen von ausgesäten Arten vorhanden. Auf der mit CURLEX bedeckten Fläche auf der Schutthalde war die Anzahl der Individuen deutlich grösser. In der 4. Vegetationsperiode änderte sich an dieser Reihenfolge nichts mehr.

**Tab.12.** Anzahl Pflanzen im Sommer 1987. Frühsommersaat 1984.  
*Number of plants in summer 1987. Plots sown in early summer 1984.*

Fläche	Piste ungeschützt	Piste Curlex	Schutt ungeschützt	Schutt Curlex
Anzahl Pflanzen *	145	250	205	283

\* eingewanderte Arten inbegriffen

Neben den Arten, deren Samen ausgesät wurden, konnten auf mehreren Flächen Keimlinge und Jungpflanzen von Arten festgestellt werden, deren Samen bzw. Propagulen nicht im Saatgut vorhanden waren (Fig.32). Nur auf der ungeschützten Skipistenfläche konnten keine zusätzlichen Pflanzen beobachtet werden. Vor allem die CURLEX-Decken hatten einen positiven Einfluss auf die Ansiedlung von nicht ausgesäten Arten. *Poa alpina* und *Hutchinsia alpina* waren die beiden erfolgreichsten Arten. Beide vermehrten sich zum Teil durch Selbstsaat bzw. durch Etablierung von Propagulen in dichten Gruppen (Fig. 63b). Mit Berücksichtigung dieser von aussen eingewanderten Arten, sind auf den beiden mit CURLEX bedeckten Flächen klar mehr Individuen vorhanden als auf den ungeschützten Flächen (Tab.12).

Auf den offenen Flächen der Spätsommersaat 1985 keimten die Samen der meisten Arten zu Beginn der 1. Vegetationsperiode. Da ein Auszählen auf den mit CURLEX bedeckten Flächen erst ab der 2. Vegetationsperiode möglich war, konnten die Keimungsdaten nicht verglichen werden.

Die Anzahl überlebender Individuen in Prozent der potentiell möglichen

Anzahl wurde am Ende der 2. Vegetationsperiode erfasst. Es ergab sich folgende Reihenfolge: Schutt ungeschützt: 21,2 %, Schutt CURLEX: 18,7 %, Piste ungeschützt: 17,3 %, Piste CURLEX: 16,4 %. Signifikante Unterschiede konnten nicht festgestellt werden, weder beim Vergleich der einzelnen Flächen miteinander, noch zwischen Skipiste und Schutthalde und zwischen ungeschützten Flächen und mit CURLEX bedeckten.

Es scheint also, dass die Populationsentwicklung sehr unterschiedliche Muster zeigt, je nachdem, ob die Aussaaten durch CURLEX geschützt wurden oder nicht. Die Auswirkungen der CURLEX-Decken auf die Populationsentwicklung dürfte dabei während der ersten Jahre am grössten sein. Ungeschützte Flächen dürften allgemein durch einen hohen Population-Turnover gekennzeichnet sein, also durch hohe Keimungs- und Sterberaten. Dagegen werden die geschützten Flächen durch langsamere aber eher ausgewogenere Anfangsentwicklung der Aussaaten charakterisiert, mit langsam ansteigender Keimungsrate und weniger drastischer Sterberate. Durch Einwanderung wurde auf den CURLEX-Flächen die Artendiversität erhöht. Auf der offenen Skipistenfläche vom Juli 1984, auf der sich die Pflanzen am schnellsten entwickelten, wurden die experimentellen Aussaaten durch Selbstausaat verstärkt. Auch auf der durch CURLEX geschützten Skipistenfläche wurde Selbstausaat beobachtet und zwar von den sich spontan ansiedelnden *Sedum atratum* und *Hutchinsia alpina*. Die eingewanderte *Poa alpina* bildete eigene Propagulen.

#### 4.2.1.2 Verhalten einzelner Arten

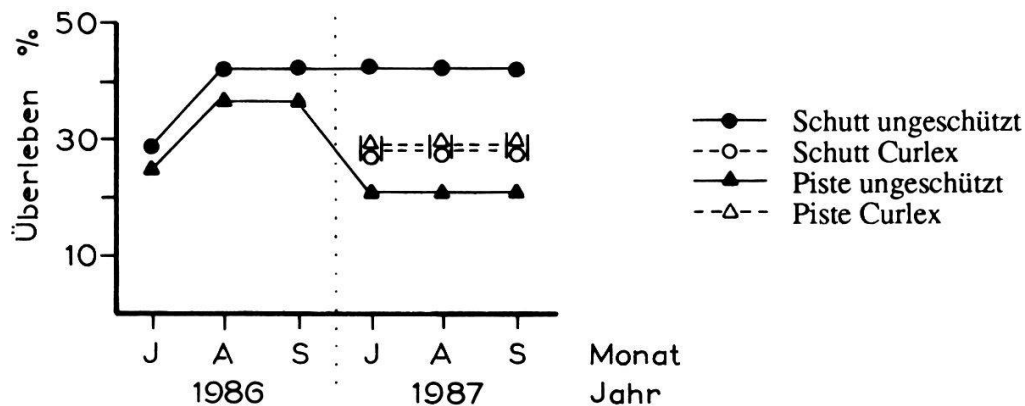
##### *A. Trisetum distichophyllum*

Samen von *Trisetum distichophyllum* wurden im Spätsommer 1985 ausgesät. In Einzelaussaaten wurde sowohl unbehandeltes, wie auch skarifiziertes Material getestet. Dabei keimte nach der 1. Überwinterung unbehandeltes

Samenmaterial zu 40 %, skarifiziertes Material zu 48 %. Die unbehandelten Samen keimten in den ersten vier Wochen nach der Schneeschmelze, während die skarifizierten Samen alle innerhalb von nur einer Woche keimten.

Für die Mischaussaaten wurde nur unbehandeltes Material verwendet. Auf den beiden offenen Flächen keimten während der 1. Vegetationsperiode auf der Schutthalde 42 % der Samen, auf der Skipiste 36 %. Während der 2. Vegetationsperiode keimten keine Samen mehr.

Auf der Schutthalde überlebten auf der ungeschützten Fläche alle Jungpflanzen den ersten Winter, auf der Skipiste wurde eine hohe Sterberate von 44 % beobachtet.

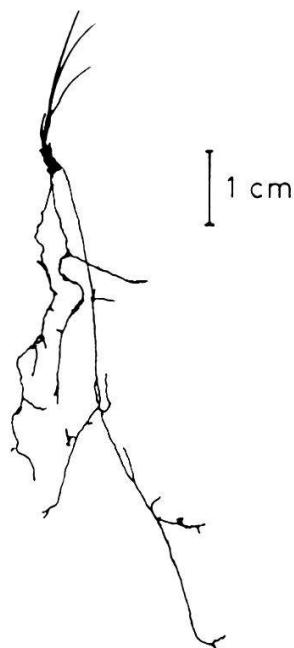


**Fig.33.** Verhalten von *Trisetum distichophyllum* im Felde. Aussaat: September 1985 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Behaviour of Trisetum distichophyllum in field plots sown in September 1985 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Bis zum Ende der 2. Vegetationsperiode hatten auf der ungeschützten Schuttfläche am meisten Pflanzen überlebt (42 %), auf der ungeschützten Pistenfläche nur etwa halb so viele (20 %, Fig.33). Auf den beiden mit CURLEX bedeckten Flächen waren mit 28 % genau gleich viele Pflanzen vorhanden.

**Jungpflanzenentwicklung:** Bis zum Ende der 2. Vegetationsperiode hatte noch kein Individuum Ausläufer gebildet. Alle Pflanzen bestanden aus einem Trieb mit 3 bis 4 Blättern (Fig.34). Die Wurzeln waren sehr dünn, bildeten

aber auf der Fläche mit Einzelaussaat in der obersten Bodenschicht ein dichtes Geflecht.



**Fig.34.** Entwicklung von *Trisetum distichophyllum* im Felde. Pflanzen gesammelt in der 2. Vegetationsperiode.  
*Development of Trisetum distichophyllum in field plots. Plants collected in the 2<sup>nd</sup> season.*

#### *B. Silene willdenowii*

Samen von *Silene willdenowii* wurden sowohl im Frühsommer 1984 und 1986, wie auch im Spätsommer 1985 ausgesät. Es wurden skarifizierte und unbehandelte Samen verwendet. Skarifizierte Samen keimten auf den Einzelaussaatflächen nicht. Deshalb wurde bei der Auswertung der Daten von *Silene willdenowii* nach der Frühsommernautsaat angenommen, dass auch auf den Flächen mit Mischaussaat die Keimung von skarifizierten Samen zu vernachlässigen ist. Bei der Mischaussaat im Spätsommer wurde nur unbehandeltes Samenmaterial ausgesät.

Die Samen von *Silene willdenowii* keimten in Mischaussaaten nach der Frühsommernautsaat 1984 kaum (Fig.35a), was offenbar teilweise durch Wassermangel erklärt werden könnte. Die Keimung erfolgte in der 2. Vegetationsperiode leicht verzögert nach der Schneeschmelze. Besonders viele Samen (43 %) keimten auf der ungeschützten Fläche auf der Skipiste.



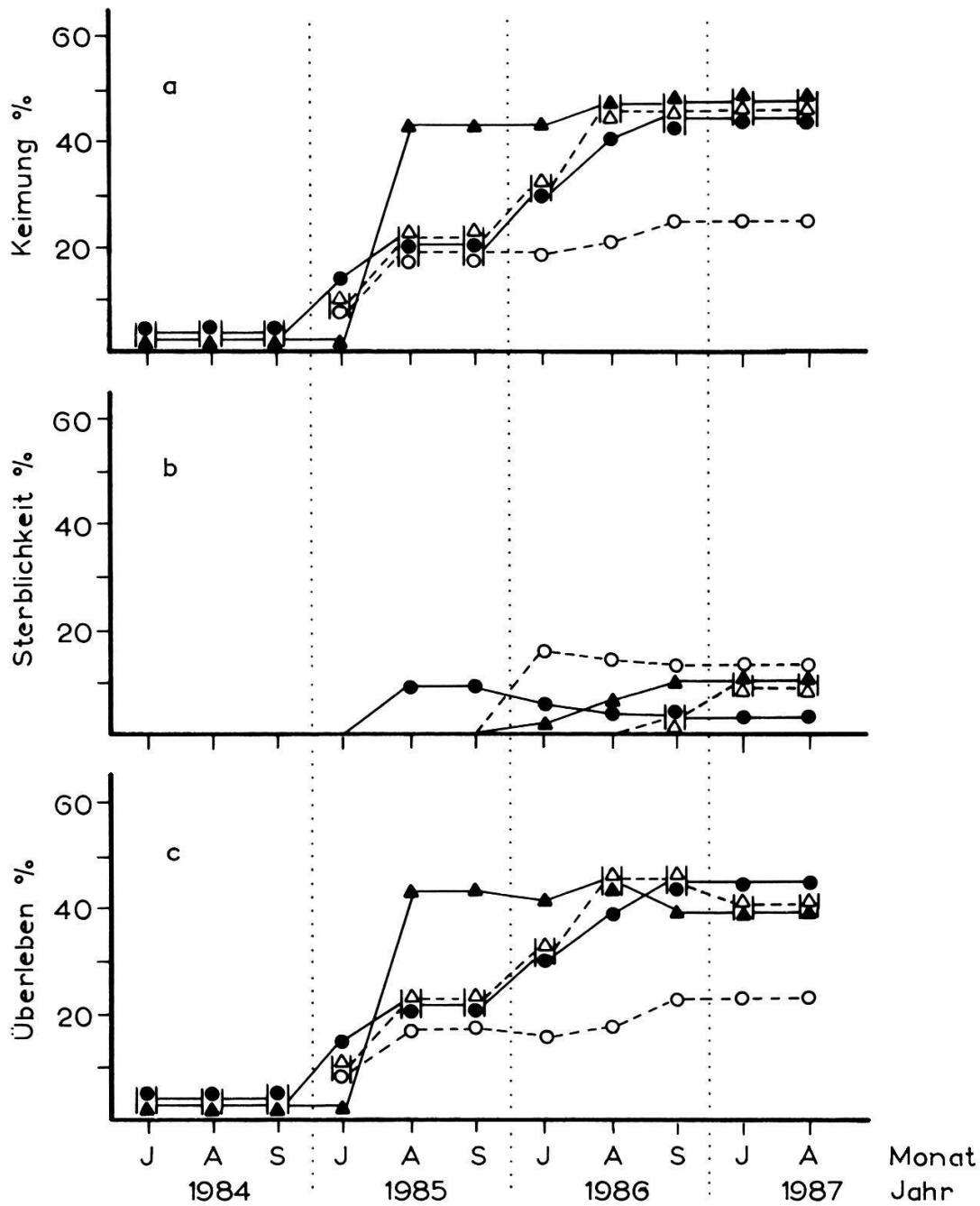
Auf den drei anderen Flächen wurde exakt das gleiche Keimungsniveau von 14 % beobachtet. Während auf der ungeschützten Pistenfläche und auf der durch CURLEX geschützten Schuttfläche in der 3. Saison kaum neue Keimlinge auftraten, keimten auf den beiden anderen Flächen sehr viele weitere Samen. Ende der 3. Vegetationsperiode nach der Aussaat hatten deshalb auf drei der vier Flächen genau gleich viele Samen gekeimt (46 %), auf der mit CURLEX bedeckten Schuttfläche dagegen nur gerade 23 %. In der 4. Vegetationsperiode keimten keine Samen mehr.

Die Sterblichkeit war auf allen Flächen auffällig tief (Fig.35 b). Unterschiede zwischen geschützten und ungeschützten Flächen traten ebensowenig auf, wie zwischen Schutt- und Pistenflächen. Die Überlebenskurven stimmen deshalb mit den Keimungskurven praktisch überein. Auf den beiden Pistenflächen überlebten genau gleich viele Pflanzen, etwas weniger als auf der ungeschützten Schuttfläche. Deutlich weniger Individuen waren auf der mit CURLEX geschützten Schuttfläche vorhanden.

Nach der Spätsommernautsaat 1985 keimten auf der unbedeckten Schuttfläche mehr Samen, als nach der Frühsommernautsaat 1984 (36 % gegenüber 20 %), auf der unbedeckten Skipistenfläche dagegen weniger (28 % gegenüber 43%), durchschnittlich allerdings genau gleich viele (32 % gegenüber 31,5%). Zu Beginn der 2. Vegetationsperiode stieg die Keimungsrate auf der offenen Pistenfläche auf 66 % und auf der offenen Schuttfläche auf 40 %. Die Keimungsraten auf den mit CURLEX bedeckten Flächen konnten nicht erfasst werden.

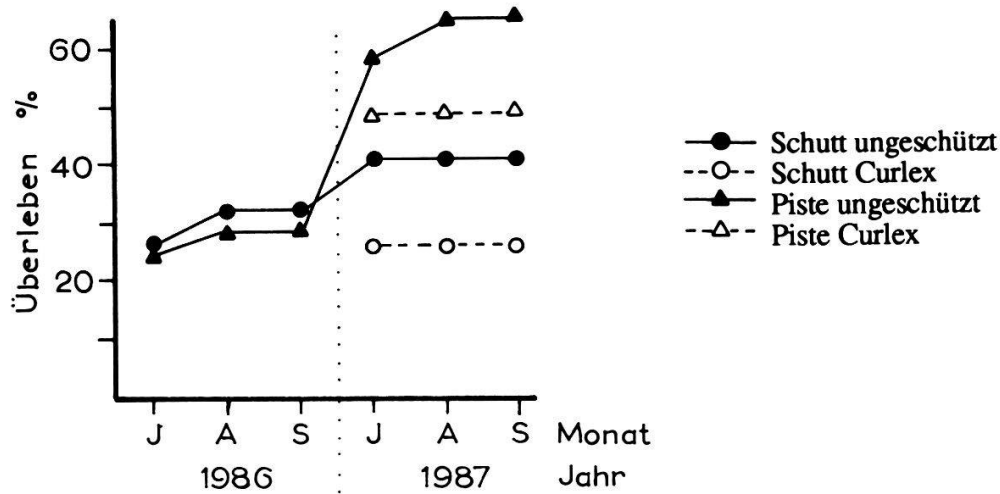
Auf den beiden offenen Flächen starb bis zum Ende der 2. Vegetationsperiode keine einzige Jungpflanze. Die Überlebenskurven (Fig.36) sind deshalb identisch mit den Keimungskurven. Am meisten Individuen überlebten auf der offenen Pistenfläche mit 66 %. Auf der mit CURLEX bedeckten Pistenfläche überlebten bis Ende der 2. Vegetationsperiode 48 %, auf der offenen Schuttfläche 38 % und auf der mit CURLEX bedeckten Schuttfläche 26 % der Individuen. Vorteile ergaben sich für die Skipistenflächen gegenüber den Schuttflächen und für die offenen Flächen im Vergleich zu den mit CURLEX bedeckten Flächen.





**Fig.35.** Verhalten von *Silene willdenowii* im Felde. Aussaat: Juli 1984 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Germination, mortality and survivorship of Silene willdenowii in field plots sown in July 1984 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Flächen/plots: ● — Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 ○ - - Schutt Curlex/scree Curlex  
 ▲ — Piste ungeschützt/run unprotected  
 △ - - Piste Curlex/run Curlex



**Fig.36.** Verhalten von *Silene willdenowii* im Felde. Aussaat: September 1985 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Behaviour of Silene willdenowii in field plots sown in September 1985 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

**Jungpflanzenentwicklung:** Am schnellsten entwickelten sich die Jungpflanzen von *Silene willdenowii* auf der offenen Skipistenfläche (Fig.62b). Die Belege (Fig.37) stammen jedoch von den offenen Schuttflächen, da die Skipistenflächen für weitere Untersuchungen unbeschädigt bleiben mussten. Gut ausgebildete Rosetten waren bereits in der 2. Vegetationsperiode vorhanden. Zu Beginn der 3. Vegetationsperiode bildeten sich Tochter- rosetten. Ein Individuum auf der offenen Skipistenfläche blühte. In der 4. Vegetationsperiode blühten auch auf allen anderen Flächen einige Individuen. Samen wurden zwar gebildet, Keimlinge wurden aber bisher nicht beobachtet.

Die Wurzeln waren schon in der 2. Vegetationsperiode gut ausgebildet. Bei vierjährigen Pflanzen konnte allerdings nur der obere Teil des Wurzelsystems erfasst werden, da der Rest zu tief im Boden verankert war und abbrach.



**Fig.37.** Entwicklung von *Silene willdenowii* im Felde. Von links nach rechts: Pflanzen gesammelt in der 2., 3. und 4. Vegetationsperiode.  
*Development of Silene willdenowii in field plots. From left to right: plants collected in the 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> season.*

### *C. Gypsophila repens*

Samen von *Gypsophila repens* wurden nur im Frühsommer 1984 unbehandelt ausgesät. Wie viele andere Arten trat auch *Gypsophila repens* nach der Aussaat in eine aufgezwungene Keimruhe (Fig.38 a, vgl. auch Laborversuche). Zu Beginn der 2. Vegetationsperiode setzte dann die Keimung etwas verzögert ein. Ein Jahr später keimten nur noch vergleichsweise wenige Samen, ausser auf der mit CURLEX abgedeckten Skipistenfläche. Auf den beiden offenen Flächen keimten bis zum Ende der 4.

Saison mehr Samen (18 - 22 %) als auf den durch CURLEX geschützten Flächen (9 - 16 %), auf Schutt mehr als auf der Skipiste.

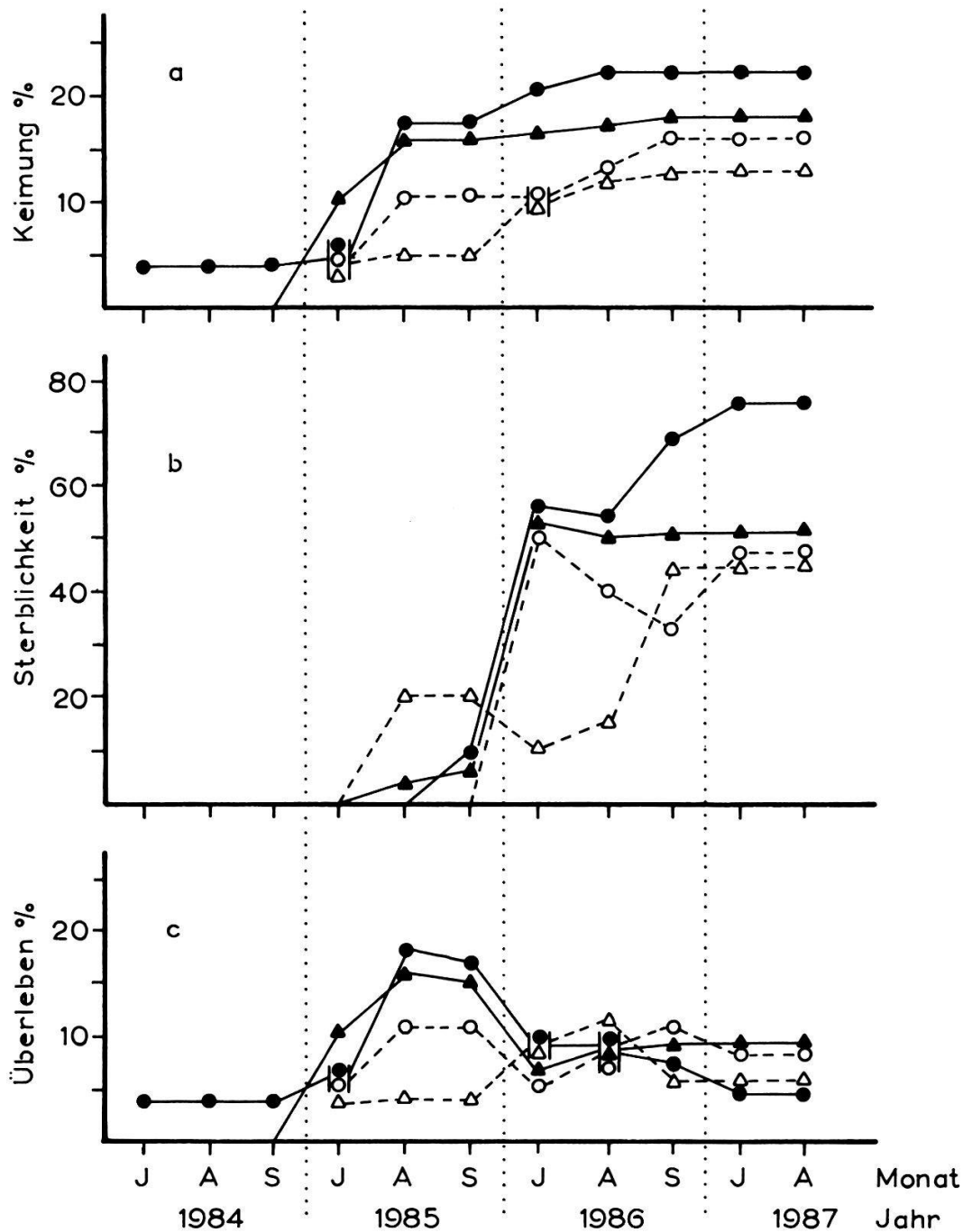
Die Sterblichkeit im Winter 1985/86 war sehr gross (50 %, Fig.38 b). Eine Ausnahme stellte die mit CURLEX abgedeckte Pistenfläche dar. Ende August und Anfang September 1986 wurden jedoch auf dieser Fläche beinahe 50 % der Individuen von Schafen gefressen oder ausgerissen. Ohne diesen Einfluss wäre die mit CURLEX abgedeckte Fläche gegenüber der offenen Fläche stark im Vorteil gewesen und vor allem auch die Flächen auf der Skipiste gegenüber den Schuttflächen.

Überlebt haben bis Ende der 4. Vegetationsperiode auf allen Flächen etwa gleich viele Individuen von *Gypsophila repens* (Fig.38 c); durchschnittlich 7,5 %. Ohne den starken Einfluss der Beweidung auf der Pistenfläche mit CURLEX, wären Vorteile von CURLEX im Vergleich zu den offenen Flächen und von der Skipiste im Vergleich zur Schutthalde erhalten geblieben.

**Jungpflanzenentwicklung:** Die oberirdischen Strukturen entwickelten sich bei *Gypsophila repens* auf der Schutthalde langsam. Auch am Ende der Untersuchung waren nur ein bis zwei spärlich beblätterte Triebe vorhanden. Ganz anders entwickelten sich die Individuen auf der Skipiste. Die oberirdischen Teile hatten nach 4 Jahren mehrere Triebe und erreichten eine ähnliche Grösse, wie jene von *Silene willdenowii* (Fig.63a). Da die Flächen für weitere Untersuchungen intakt bleiben müssen, konnte die Wurzelentwicklung nicht verfolgt werden.

#### *D. Biscutella levigata*

Von *Biscutella levigata* wurde ausschliesslich unbehandeltes Samenmaterial ausgesät. Die Samen keimten nach der Frühsommersaat 1984 in den folgenden Wochen kaum (Fig.39 a), wahrscheinlich mangels Wasser. Nach der Schneeschmelze zu Beginn der 2. Vegetationsperiode 1985 traten auf



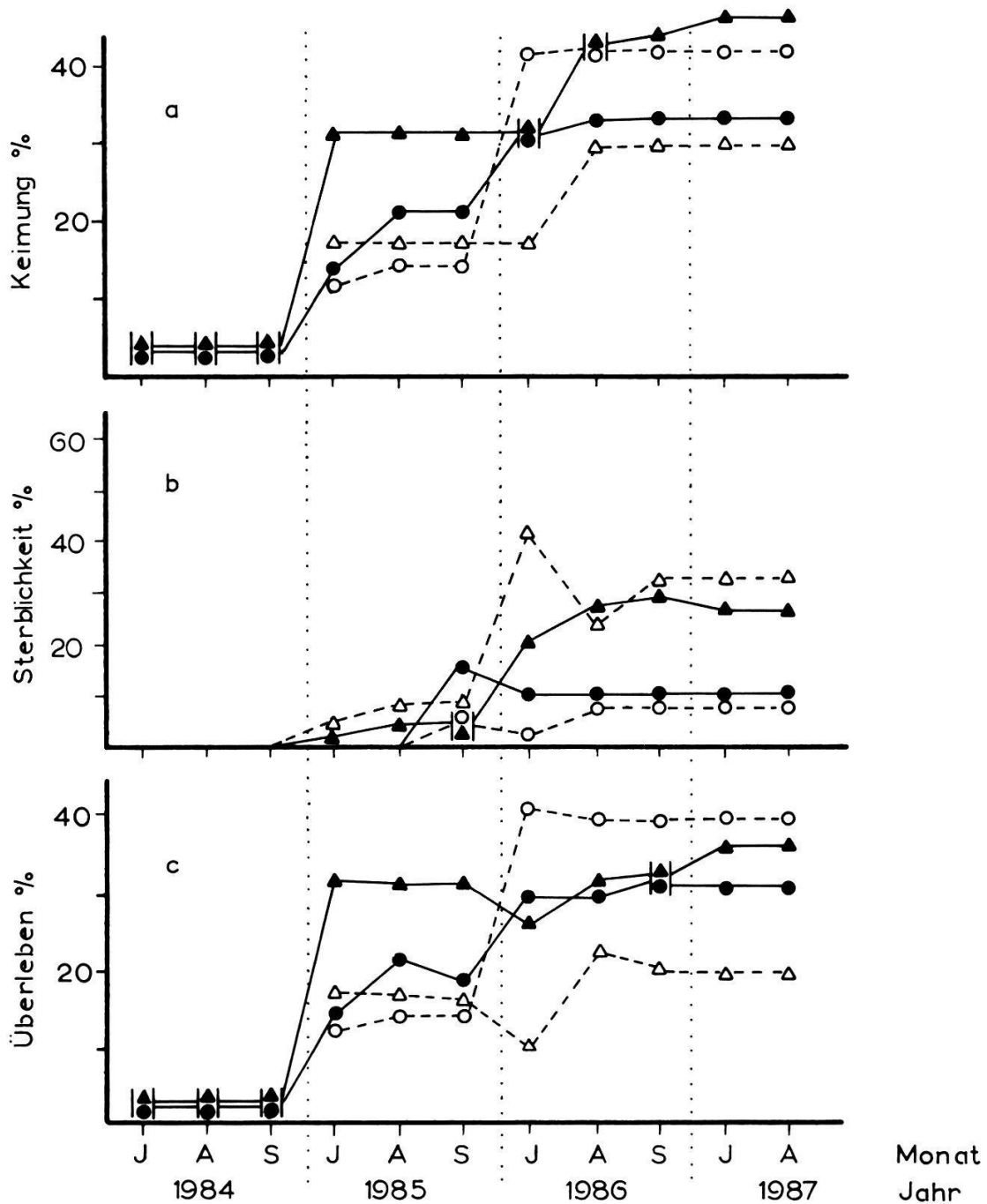
**Fig.38.** Verhalten von *Gypsophila repens* im Felde. Aussaat: Juli 1984 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Germination, mortality and survivorship of Gypsophila repens in field plots sown in July 1984 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Flächen/plots: —●— Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 ---○--- Schutt Curlex/scree Curlex  
 —▲— Piste ungeschützt/run unprotected  
 ---△--- Piste Curlex/run Curlex

allen Flächen sehr schnell viele Keimlinge auf. Die beste Keimungsrate wurde mit 32 % auf der unbedeckten Skipistenfläche erreicht. Auch auf der ungeschützten Schuttfläche keimten mit 22 % mehr Samen als auf den beiden mit CURLEX geschützten Flächen, wo auf der Schutthalde eine Keimungsrate von 14 % und auf der Skipiste von 16 % beobachtet wurde. In der 3. Saison nach der Aussaat wurden weitere Keimlinge erfasst. Zu Beginn der 4. Vegetationsperiode keimten auf der ungeschützten Schuttfläche erneut Samen; dicht um die Mutterpflanze auftretende Keimlingsgruppen bewiesen, dass Selbstaussaat stattgefunden hatte.

Beim Betrachten der Sterblichkeit nach der Frühsommersaat (Fig.39 b) fällt sofort das insgesamt niedrige Niveau auf. Vor allem auf der Schutthalde starben kaum Jungpflanzen. Eine deutlich höhere Sterberate trat dagegen auf der Skipiste auf. Die CURLEX-Decken brachten offenbar *Biscutella* keinen Vorteil. Der massive Anstieg der Sterberaten auf der Skipiste im Winter 1985/86 ist durch das verspätete Auftreten neuer Keimlinge zu erklären. Obwohl auf der Skipiste prozentual mehr Keimlinge eingingen, waren auf den ungeschützten Flächen nach der 3. Saison genau gleich viele Pflanzen vorhanden (Fig.39 c). Grosse Unterschiede bestanden zwischen den beiden mit CURLEX abgedeckten Flächen: Auf Schutt mit hoher Keimungs- und tiefer Sterberate überlebten klar am meisten Pflanzen, während auf der Skipiste mit der niedrigsten Keimungsrate und der grössten Sterberate klar am wenigsten Individuen überlebten. Die experimentellen Populationen blieben während der 4. Vegetationsperiode stabil. Auf der ungeschützten Skipistenfläche konnte sogar eine Zunahme der Individuenzahl beobachtet werden.

Nach der Spätsommersaat 1985 keimte *Biscutella levigata* sofort nach der Schneeschmelze in der folgenden Vegetationsperiode. Die Keimungsraten lagen auf höherem Niveau als jene der Frühsommersaat nach der ersten Überwinterung: Auf der unbedeckten Schuttfläche keimten 28 % der Samen (Frühsommersaat 22 %), auf der unbedeckten Skipistenfläche



**Fig.39.** Verhalten von *Biscutella levigata* im Felde. Aussaat: Juli 1984 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.

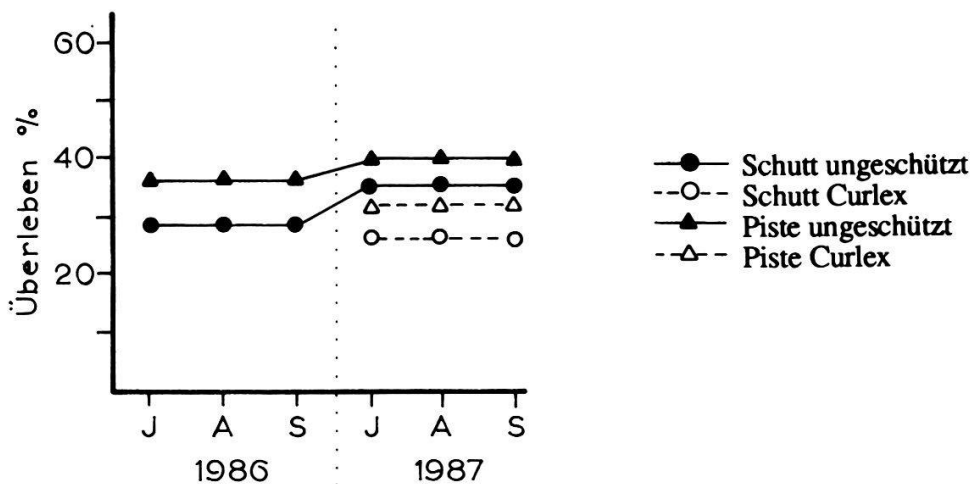
*Germination, mortality and survivorship of Biscutella levigata in field plots sown in July 1984 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Flächen/plots: ● Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 ---○--- Schutt Curlex/scree Curlex  
 ▲ Piste ungeschützt/run unprotected  
 ---△--- Piste Curlex/run Curlex

35 % (Frühsommersaat 32 %). Die Keimungsraten stiegen zu Beginn der 2. Vegetationsperiode auf der offenen Schutthfläche auf 38 %, auf der offenen Skipistenfläche auf 44 % an.

Nach der ersten Überwinterung der Keimlinge und Jungpflanzen waren kaum Verluste zu beobachten; auf der Schutthalde betrug die Sterblichkeit nur 8 %, auf der Skipiste 11 %.

Wegen der tiefen Sterberaten überlebten nach der Spätsommersaat auf allen Flächen sehr viele Jungpflanzen (Fig. 40). Auf der Skipiste waren während der 2. Vegetationsperiode mehr Individuen vorhanden als auf der Schutthalde, auf den offenen Flächen mehr, als auf den mit CURLEX bedeckten: Auf der offenen Skipistenfläche nämlich 39 %, auf der offenen Schutthfläche 35 %, auf der geschützten Pistenfläche 31 % und auf der geschützten Schutthfläche 26 %.



**Fig.40.** Verhalten von *Biscutella levigata* im Felde. Aussaat: September 1985 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Behaviour of Biscutella levigata in field plots sown in September 1985 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Samen von *Biscutella levigata* keimten auf allen Flächen überdurchschnittlich gut, mit gleichzeitig relativ niedriger Sterberate. Deshalb ist diese Art auch auf allen Flächen dominant vertreten. Im Durchschnitt überlebten



nach der Frühsommersaat nach 2 Überwinterungen bis Ende der 3. Vegetationsperiode 30 % der Individuen, nach der Spätsommersaat nach zwei Überwinterungen 32,8 %.

**Jungpflanzenentwicklung:** Die Jungpflanzen von *Biscutella levigata* entwickelten sich auf der Skipiste schneller als auf der Schutthalde und auf den offenen Flächen schneller als auf den durch CURLEX geschützten (Fig.62a). Die Belege wurden auf den offenen Schuttflächen gesammelt (Fig. 41).



**Fig.41.** Entwicklung von *Biscutella levigata* im Felde. Von links nach rechts: Pflanzen gesammelt in der 2., 3. und 4. Vegetationsperiode.  
*Development of Biscutella levigata in field plots. From left to right: plants collected in the 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> und 4<sup>th</sup> season.*

Gut entwickelte Rosetten waren bereits Mitte der 2. Vegetationsperiode vorhanden. In der 3. Vegetationsperiode blühten auf der ungeschützten Skipistenfläche bereits 3 Individuen. Auf den anderen Flächen blühten die ersten Pflanzen in der 4. Vegetationsperiode (Fig.63c). Interessanterweise waren die Pflanzen, die die generative Phase erreichten, noch relativ klein. Tochterrosetten wurden bis zum Ende der 4. Vegetationsperiode keine gebildet.

Die Wurzelentwicklung war spektakulär. Fig.41 gibt davon ein unvollständiges Bild, da bei den älteren Pflanzen nur ein Teil des tiefreichenden Wurzelwerks erfasst werden konnte.

#### *E. Arabis alpina*

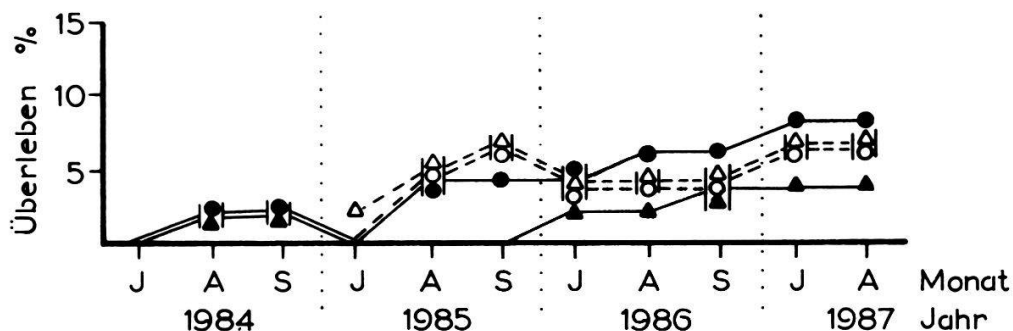
Samen von *Arabis alpina* wurden im Frühsommer 1984 und im Spätsommer 1985 ausgesät. Die Frühsommersaat vom Juli 1984 enthielt sowohl unbehandeltes, wie auch mit Gibberellin behandeltes Samenmaterial. Auf der Fläche mit Einzelsaat konnte während der vierjährigen Untersuchung bei den mit Gibberellin vorbehandelten Samen keine Keimung beobachtet werden. Für die Auswertung der Daten von den Flächen mit Mischsaat wurde deshalb die Annahme gemacht, dass nur unbehandelte Samen keimten. Für die Spätsommersaat im September 1985 wurden nur unbehandelte Samen verwendet.

Nach der Frühsommersaat keimten auf den offenen Flächen 2 % der Samen. Nach jeder Überwinterung keimten auf den vier Versuchsflächen bis zum Abschluss der Untersuchung weitere 2 bis 4 % der Samen. Bis Ende der 4. Vegetationsperiode hatten auf der offenen Schuttfläche 12 % der Samen gekeimt, auf der offenen Skipistenfläche lediglich 5 %.

Die Sterberaten lagen auf allen Flächen bei rund 25 %. Die in der 1. Vegetationsperiode vorhandenen Pflanzen gingen im 1. Winter ein (Fig.42). Anschliessend stieg die Anzahl der Individuen stetig leicht an. Durchschnittlich waren auf den vier Versuchsflächen in der 2. Vegetationsperiode

4 % überlebende Pflanzen vorhanden, in der 3. Vegetationsperiode 4,5 % und in der 4. Vegetationsperiode 6,5 %.

Ähnlich verlief die Entwicklung der vier experimentellen Populationen nach der Spätsommersaat. In der 2. Vegetationsperiode waren durchschnittlich 4 % der möglichen Anzahl Individuen auf den Versuchsflächen vorhanden.



**Fig.42.** Verhalten von *Arabis alpina* im Felde. Aussaat: Juli 1984 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.

*Germination, mortality and survivorship of Arabis alpina in field plots sown in July 1984 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Flächen/plots: ● Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 ---○--- Schutt Curlex/scree Curlex  
 ▲ Piste ungeschützt/run unprotected  
 ---△--- Piste Curlex/run Curlex

**Jungpflanzenentwicklung:** Die überlebenden Pflanzen entwickelten sich eher langsam. Auch drei Jahre alte Individuen hatten erst eine Rosette mit maximal 6 Blättern gebildet (Fig.44). Die unterirdischen Strukturen waren ebenfalls schwach entwickelt und reichten nur wenige Zentimeter tief.

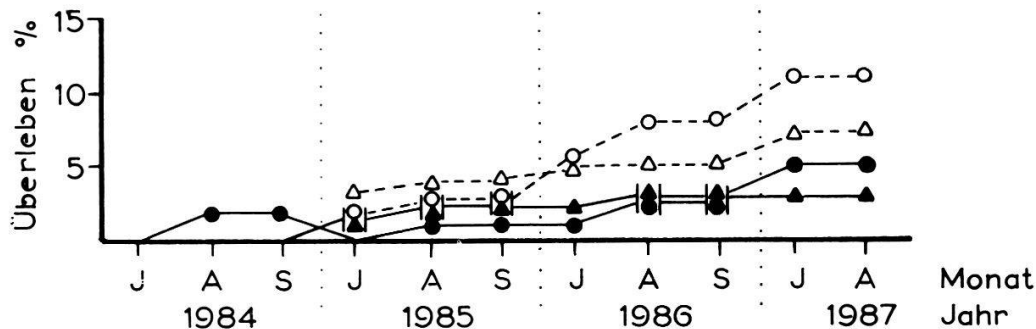
#### F. *Dryas octopetala*

Von *Dryas octopetala* wurden sowohl im Frühsommer 1984, wie auch im Spätsommer 1985 unbehandelte Samen ausgesät.

Nach der Frühsommersaat keimten die Samen sehr schlecht. Nach jeder der folgenden Schneeschmelzen keimten höchstens 6 % Samen. In der 4.

Vegetationsperiode hatten auf der unbedeckten Schuttfläche 7 % der Samen gekeimt, auf der entsprechenden Pistenfläche nur 4 %.

Die durchschnittliche Sterberate lag bis und mit der 4. Vegetationsperiode bei 16,5 % und setzte sich wie folgt zusammen: Schutt ungeschützt: 28,6 %, Schutt CURLEX: 0 %, Piste ungeschützt: 25 %, Piste CURLEX: 12,5 %.



**Fig.43.** Verhalten von *Dryas octopetala* im Felde. Aussaat: Juli 1984 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.

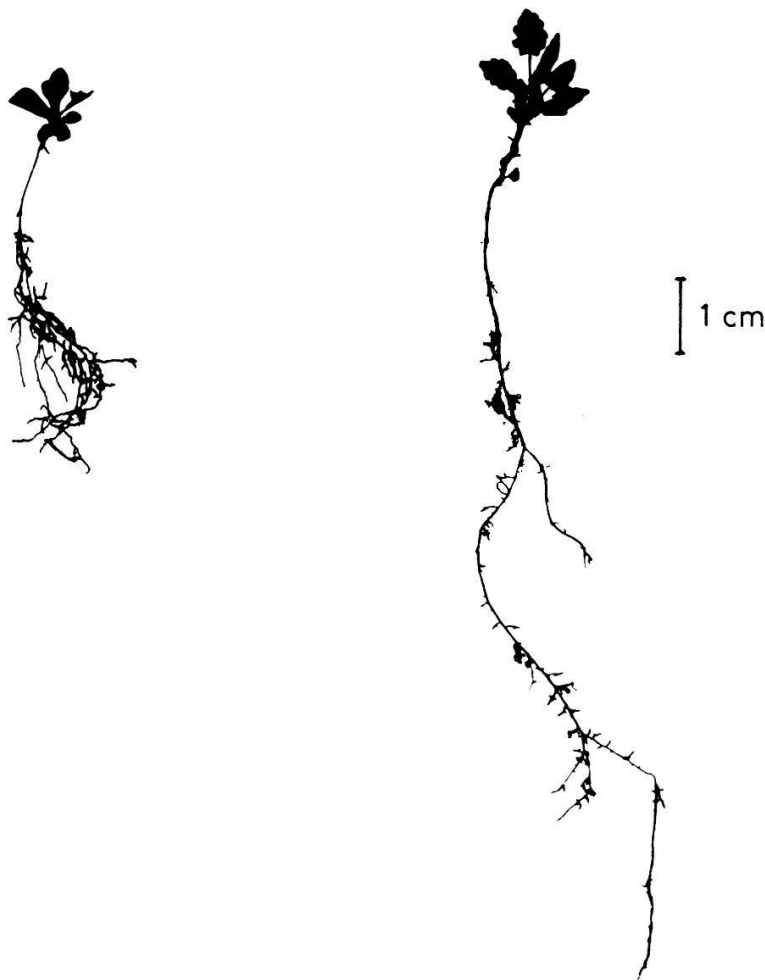
*Germination, mortality and survivorship of Dryas octopetala in field plots sown in July 1984 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Flächen/plots: —●— Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 --○-- Schutt Curlex/scree Curlex  
 —▲— Piste ungeschützt/run unprotected  
 --△-- Piste Curlex/run Curlex

Die Überlebenskurven der vier experimentellen Populationen sind in Fig.43 dargestellt. Zwei Aspekte sind hier erwähnenswert. Erstens setzen sich alle Populationen nur aus wenigen Individuen zusammen. Zweitens wachsen alle Populationen stetig. Während der 2. Vegetationsperiode waren durchschnittlich 2 % Überlebende vorhanden, während der 3. Vegetationsperiode 4,75 % und während der 4. Vegetationsperiode 6,5 %.

Die im Spätsommer 1985 ausgesäten Samen verhielten sich gleich wie jene in Frühjahrsaussaaten. In der 2. Vegetationsperiode nach der Aussaat waren durchschnittlich nur 6,5 % überlebende Pflanzen auf den Flächen vorhanden.

**Jungpflanzenentwicklung:** *Dryas octopetala* entwickelte sich auf allen Flächen langsam. Selbst in der 3. Vegetationsperiode hatten die meisten Pflanzen nur wenige Millimeter lange Blätter. Das grösste Exemplar überhaupt ist in Fig.44 reproduziert. Im Vergleich zu den oberirdischen Strukturen waren die Wurzeln jedoch gut entwickelt; sie reichten so tief in den Boden, dass nicht das ganze Wurzelsystem ausgegraben werden konnte.



**Fig.44.** Entwicklung von *Arabis alpina* (links) und *Dryas octopetala* (rechts) im Felde. Pflanzen gesammelt in der 3. Vegetationsperiode.  
*Development of Arabis alpina (left) and Dryas octopetala (right) in field plots. Plants collected in the 3<sup>rd</sup> season.*

### G. Leguminosen

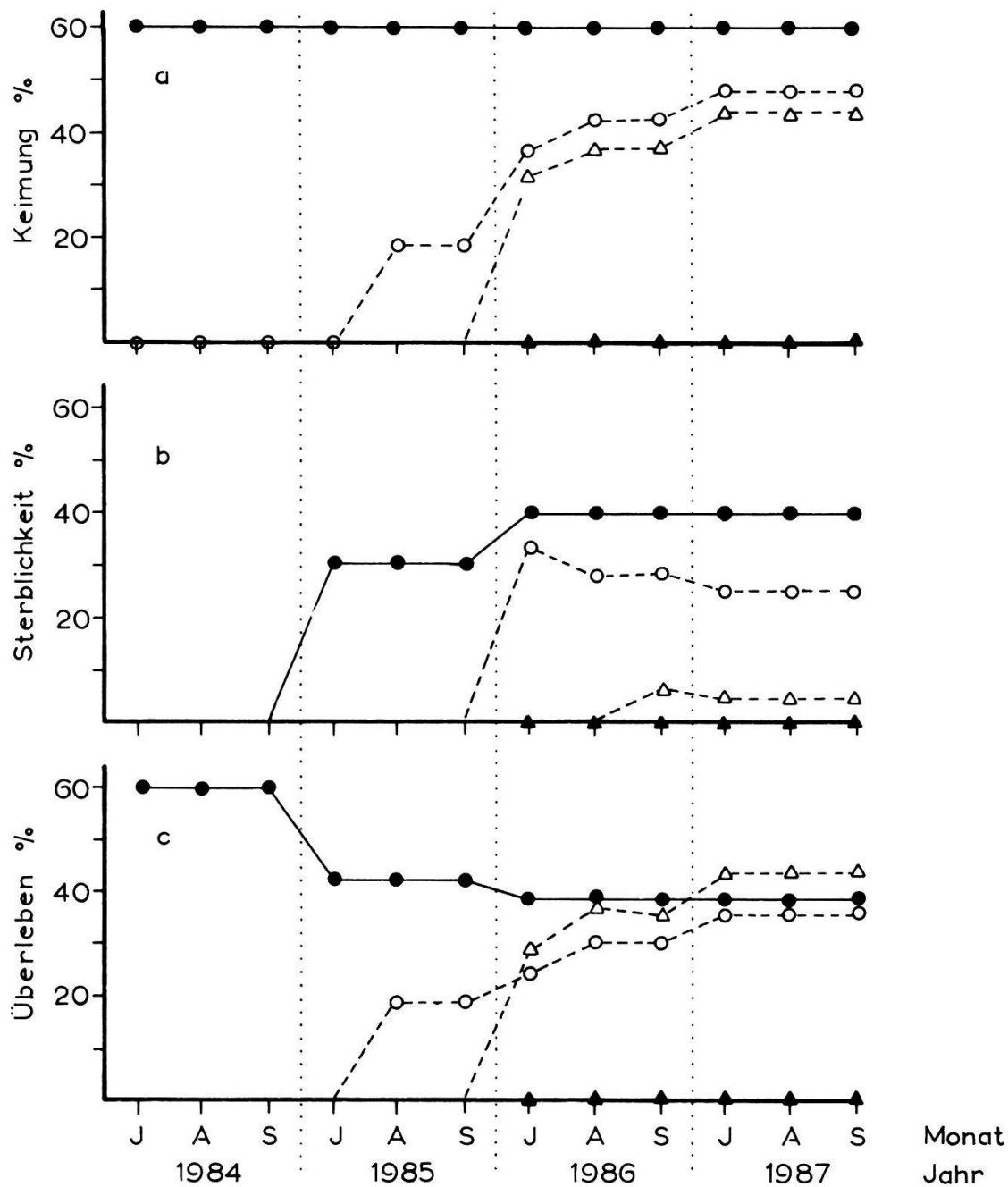
In Frühsommerrausaaten von 1984 und 1986 (vgl. Kapitel 3.3.1, S. 43) wurden von *Anthyllis alpestris* und von *Oxytropis jacquinii* sowohl unbehandelte als auch skarifizierte Samen ausgesät. Samen von *Lotus alpinus* wurden nur skarifiziert und nur 1984 ausgesät. In der Spätsommerrausaat 1985 wurden von *Anthyllis alpestris* und *Oxytropis jacquinii* unbehandelte und skarifizierte Samen verwendet, von *Lotus alpinus* nur unbehandelte.

In Versuchen mit Einzelaussaat wurde das Verhalten von *Anthyllis alpestris* bei Verwendung von skarifiziertem und auch von unbehandeltem Samenmaterial, sowie bei Frühsommer- und Spätsommerrausaat beobachtet (Fig.45a).

Skarifizierte Samen keimten nach der Frühsommerrausaat, die unmittelbar nach der Schneeschmelze erfolgte, sofort; innerhalb von 10 Tagen nach der Schneeschmelze wurde bereits eine Keimungsrate von 60 % erreicht. In den folgenden Vegetationsperioden keimte jedoch kein einziger skarifizierter Same mehr. Unbehandeltes Samenmaterial keimte nach der Frühsommerrausaat erst nach einer Überwinterung innerhalb von 2 Wochen zu Beginn der 2. Vegetationsperiode zu 20 %. In der 3. Vegetationsperiode nach der Aussaat stieg die Keimungsrate weiter an bis auf 42 % mit einem Schwerpunkt zu Beginn der Saison. In der 4. Vegetationsperiode keimten noch einmal 4 % der ausgesäten Samen.

Nach der Spätsommerrausaat 1985 blieb offenbar kein einziger skarifizierter Same über den Winter keimfähig. Dagegen erzielten unbehandelte Samen eine sehr hohe Keimungsrate von 36 % während der ersten Vegetationsperiode nach der Aussaat. In der 2. Vegetationsperiode stieg die Keimungsrate auf 44 % an.

Die Sterblichkeit der Jungpflanzen lag bei *Anthyllis alpestris* im ersten Winter nach der Keimung bei Frühsommerrausaat zwischen 22 und 32 % (Fig.45 b). Das im Spätsommer ausgesäte, unbehandelte Samenmaterial hatte eine Sterberate von nur 5 %. Bei den unbehandelten Serien wurden die Winter-



**Fig.45.** Verhalten von *Anthyllis alpestris* im Felde. J = Juli, A = August, S = September.

Germination, mortality and survivorship of *Anthyllis alpestris* in field plots. J = July, A = August, S = September.

- Aussaat: Juli 1984 nach Skarifikation/scarified seeds sown in July 1984
- Aussaat: Juli 1984 ohne Vorbehandlung/non-scarified seeds sown in July 1984
- ▲— Aussaat: September 1985 nach Skarifikation/scarified seeds sown in Sept. 1985
- △-- Aussaat: September 1985 ohne Vorbehandlung/non-scarified seeds sown in September 1985

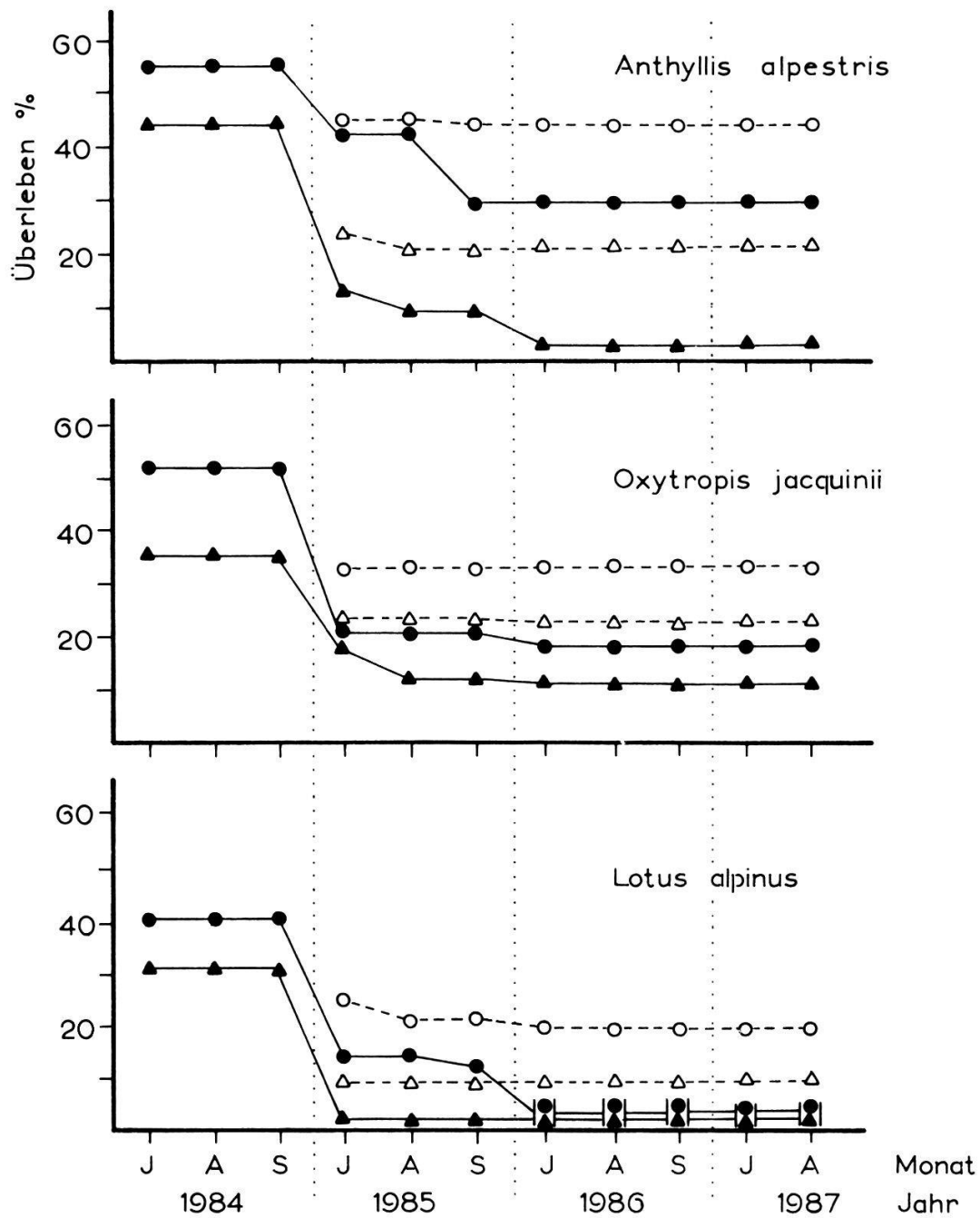
verluste durch neu gekeimte Samen mehr als kompensiert. Bei der Serie mit skarifizierten Samen der Fröhsommeraussaat nahm die Anzahl der Überlebenden während des ersten Winters und der 2. Vegetationsperiode jedoch um 40 % ab.

Gleiche Resultate wurden bei *Oxytropis jacquinii* bei Verwendung von skarifizierten bzw. unbehandelten Samen nach Fröhsommer- bzw. nach Spätsommeraussaaten erreicht; vom skarifizierten Material keimten die Samen nach der Fröhsommeraussaat spontan, nach der Spätsommeraussaat überhaupt nicht. Bei den unbehandelten Serien setzte die Keimung nach einer Überwinterung massiv ein.

Die drei in Fröhsommeraussaaten getesteten *Leguminosen* verhielten sich ähnlich, dargestellt an den Überlebenskurven skarifiziert ausgesäten Samenmaterials (Fig.46). Bei allen drei Arten hatte die CURLEX-Decke einen deutlich positiven Einfluss auf das Überleben von Keimlingen und Jungpflanzen. Eindeutig bessere Bedingungen herrschten für alle drei Arten auf der Schutthalde im Vergleich zur Skipiste. Auf den ungeschützten Flächen keimten bei *Anthyllis alpestris* zwischen 45 und 55 % der Samen, bei *Oxytropis campestris* zwischen 36 und 52 % und bei *Lotus alpinus* zwischen 30 und 40 %. Ein Vergleich mit den durch CURLEX abgedeckten Flächen ist nicht möglich, da die dichte Faserstruktur ein Auszählen der Keimlinge verhinderte.

Bei *Oxytropis jacquinii* starben Keimlinge und Jungpflanzen praktisch nur während des ersten Winters; bei den beiden anderen Arten auf den mit CURLEX bedeckten Flächen ebenfalls. Auf den offenen Flächen gingen aber bei *Anthyllis alpestris* und *Lotus alpinus* auch noch während der zweiten Saison und im zweiten Winter weitere Jungpflanzen ein. Ab der 3. Vegetationsperiode blieben die experimentellen Populationen stabil. Unbehandeltes Samenmaterial von *Anthyllis alpestris* keimte nach der Spätsommeraussaat 1985 auf den Mischsaatflächen zu Beginn der 1.





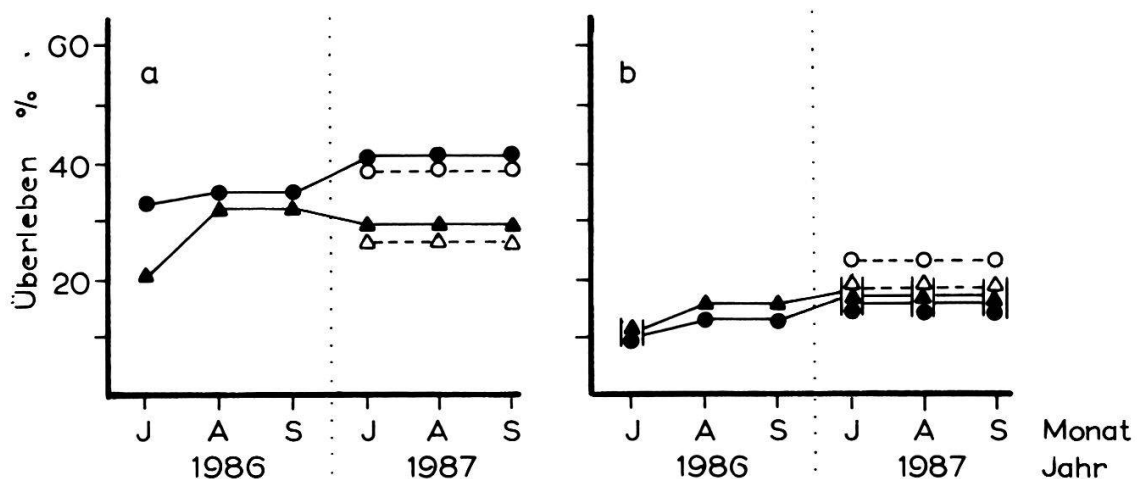
**Fig.46.** Überlebenskurven von drei *Leguminosen* im Felde. Aussaat: Juli 1984 mit skarifiziertem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Survivorship curves of three legumes in field plots sown in July 1984 with scarified seeds.*  
*J = July, A = August, S = September.*

Flächen/plots: —●— Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 ---○--- Schutt Curlex/scree Curlex  
 —▲— Piste ungeschützt/run unprotected  
 ---△--- Piste Curlex/run Curlex

Vegetationsperiode durchschnittlich zu 33 %. Die Keimungsraten erhöhten sich in der 2. Saison auf durchschnittlich 38 %.

Am Ende der 2. Vegetationsperiode waren auf den vier Flächen im Durchschnitt 33 % Überlebende vorhanden (Fig.47a), davon durchschnittlich 40 % auf der Schutthalde und 27 % auf der Skipiste.

Die Überlebenskurven von *Lotus alpinus* lagen nach der Spätsommersaat bei unbehandeltem Samenmaterial tiefer (Fig.47 b). Durchschnittlich waren auf den vier Flächen 17,5 % Überlebende vorhanden am Ende der 2. Vegetationsperiode.



**Fig.47.** Verhalten von *Anthyllis alpestris* (a) und *Lotus alpinus* (b) im Felde. Aussaat: September 1985 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September. Behaviour of *Anthyllis alpestris* (a) and *Lotus alpinus* (b) in field plots sown in September 1985 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.

Flächen/plots: —●— Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 --○-- Schutt Curlex/scree Curlex  
 —▲— Piste ungeschützt/run unprotected  
 --△-- Piste Curlex/run Curlex

**Jungpflanzenentwicklung:** Jungpflanzen von *Anthyllis alpestris* entwickelten sich auf allen Flächen sehr gut (Fig.48). Schon zweijährige Individuen hatten einen stark verholzten Wurzelhals. Sowohl die ober- wie

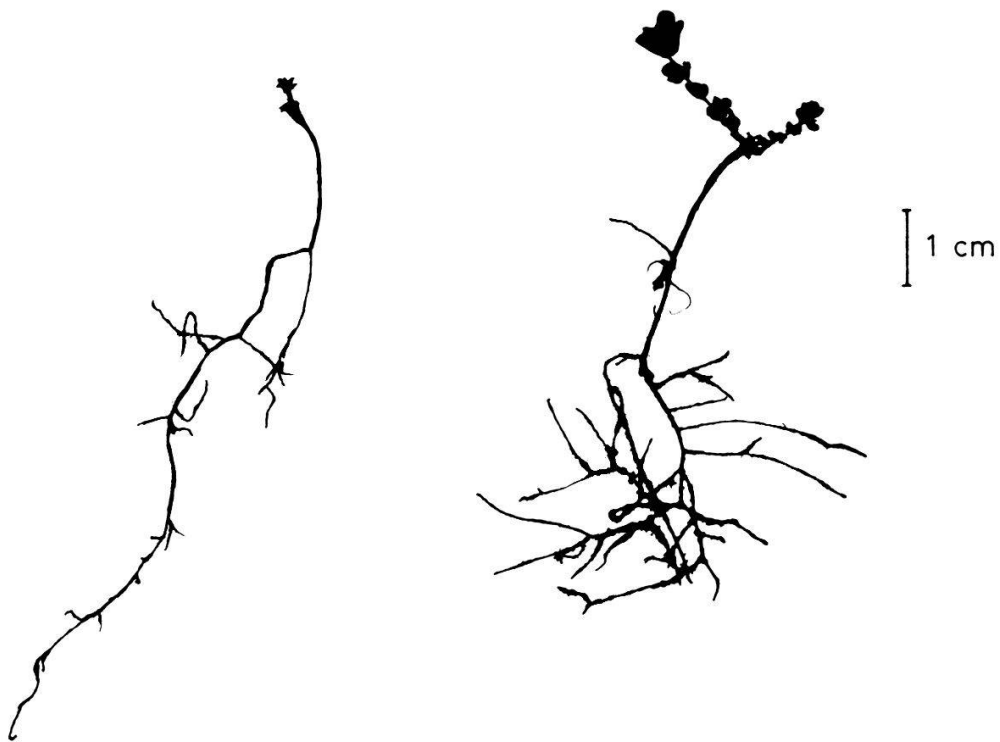
die unterirdischen Organe waren bei vierjährigen Individuen kräftig. Auf der Skipiste blühten mehrere Individuen von *Anthyllis alpestris* in der 4. Vegetationsperiode (Fig.63b). Am Ende der Beobachtungsperiode konnten reifende Samen beobachtet werden.

*Oxytropis jacquinii* entwickelte sich auf der Schutthalde sehr langsam (Fig.49). Im Vergleich zu den Blättern war das Wurzelwerk relativ gut entwickelt. Die Individuen auf der Skipiste besaßen nach vier Jahren dagegen gut entwickelte oberirdische Organe (Fig.62c). Keine Pflanzen erreichten jedoch die generative Phase.

*Lotus alpinus* entwickelte sich auf allen vier Flächen eher langsam (Fig.49). Vier Jahre alte Pflanzen besaßen in der 4. Vegetationsperiode in der Regel 1-



**Fig.48.** Entwicklung von *Anthyllis alpestris* im Felde. Von links nach rechts: Pflanzen gesammelt in der 2., 3. und 4. Vegetationsperiode.  
*Development of Anthyllis alpestris in field plots. From left to right: plants collected in the 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> season.*



**Fig.49.** Entwicklung von *Oxytropis jacquinii* (links) und *Lotus alpinus* (rechts) im Felde. Pflanzen gesammelt in der 4. Vegetationsperiode.  
*Development of Oxytropis jacquinii (left) and Lotus alpinus (right) in field plots. Plants collected in the 4<sup>th</sup> season.*

bis 2 beblätterte Triebe. Die Wurzeln waren relativ gut entwickelt und stark verzweigt. Allerdings waren sie sehr brüchig, so dass das Wurzelwerk nicht vollständig ausgegraben werden konnte. Auch von *Lotus alpinus* blühte kein Individuum.

#### H. *Achillea atrata*

Samen von *Achillea atrata* wurden im Frühsommer 1984 und im Spätsommer 1985 ausgesät. Auf allen Flächen wurde nur unbehandeltes Samenmaterial verwendet. *Achillea atrata* keimte kaum in den ersten

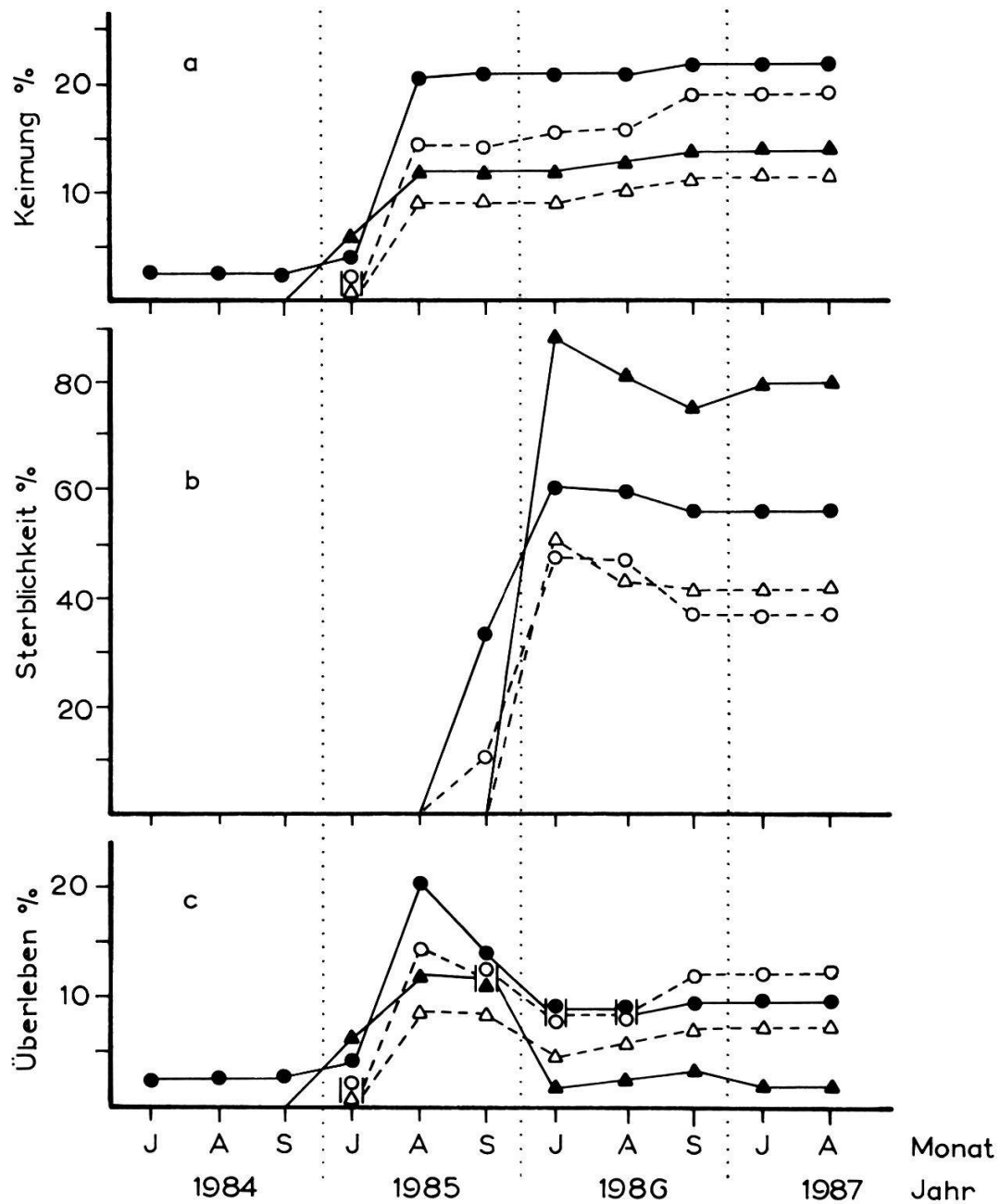
Wochen nach der Frühsommerausssaat (Fig.50a), wahrscheinlich wegen einer aufgezwungenen Keimruhe. Im Juli und August der 2. Vegetationsperiode keimten dann zwischen knapp 10 % der Samen auf der mit CURLEX bedeckten Skipistenfläche und gut 20 % auf der unbedeckten Schuttfläche. Die Reihenfolge nach Flächen mit abnehmender Keimungsrate lautet: Schutt ungeschützt, Schutt geschützt, Piste ungeschützt, Piste geschützt. An dieser Reihenfolge änderte sich auch während der 3. Saison nichts mehr. Auffällig ist, dass während der 3. Vegetationsperiode nur noch vereinzelt Samen keimten, was auf das Samenalter zurückgeführt werden könnte (vgl. Laborversuche).

Beim Vergleich der Sterblichkeit (Fig.50b) zeigte sich der Vorteil der CURLEX-Decke. Auf den mit CURLEX bedeckten Flächen lag die Sterblichkeit Ende der 3. Saison nach der Aussaat zwischen 40 und 45 %, auf den unbedeckten Flächen dagegen zwischen 60 und 80 %. Besonders hoch war die Sterberate auf der ungeschützten Pistenfläche.

Die Überlebenskurven sind sehr charakteristisch (Fig.50c): Im 2. Sommer waren wegen dem Einfluss der Keimung mehr Pflanzen auf den offenen Flächen vorhanden, im Laufe des folgenden Winters änderte sich das Bild zugunsten der mit CURLEX abgedeckten Flächen, da erst jetzt die Sterberaten massiv anstiegen. Ende der 3. Vegetationsperiode ergibt sich deshalb folgende Reihenfolge mit abnehmender Anzahl Überlebender: Schutt geschützt, Schutt ungeschützt, Piste geschützt, Piste ungeschützt.

Nach der Spätsommerausssaat 1985 keimten die Samen von *Achillea atrata* ebenfalls relativ schlecht. Bis Ende der 2. Vegetationsperiode keimten auf der offenen Schuttfläche nur 2 % der Samen, auf der offenen Skipistenfläche 7 %.

Auf der offenen Schuttfläche waren am Ende der 2. Vegetationsperiode keine Pflanzen mehr vorhanden. Auf den anderen drei Flächen lagen die Überlebensraten zwischen 5 und 6 %.



**Fig.50.** Verhalten von *Achillea atrata* im Felde. Aussaat: Juli 1984 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.

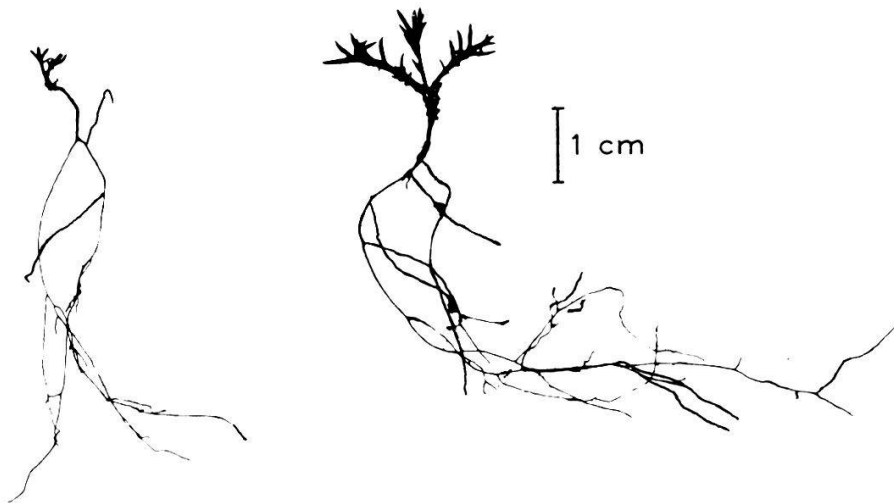
*Germination, mortality and survivorship of Achillea atrata in field plots sown in July 1984 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Flächen/plots: —●— Schutt ungeschützt/scree unprotected  
 --○-- Schutt Curlex/scree Curlex  
 —▲— Piste ungeschützt/run unprotected  
 --△-- Piste Curlex/run Curlex

Samen von *Achillea atrata* keimten nach Früh- und Spätsommersaat schlecht. Dazu war die Sterblichkeit hoch, so dass sich die Teilpopulationen auf einem eher niedrigen Niveau stabilisierten. Bessere Bedingungen herrschten für *Achillea atrata* auf den durch CURLEX geschützten Flächen im Vergleich zu den offenen Flächen. Im Durchschnitt überlebten nach der Frühsommersaat bis Ende der 3. Vegetationsperiode 8 %, nach der Spätsommersaat bis Ende der 2. Vegetationsperiode gar nur 4 % der Individuen.

**Jungpflanzenentwicklung:** Die überlebenden Pflanzen von *Achillea atrata* entwickelten sich langsam. In der 2. Vegetationsperiode waren höchstens zwei Blätter vorhanden (Fig.51). 3 Jahre alte Pflanzen schienen dagegen schon besser etabliert zu sein, allerdings hatte kein Individuum mehr als drei Blätter.

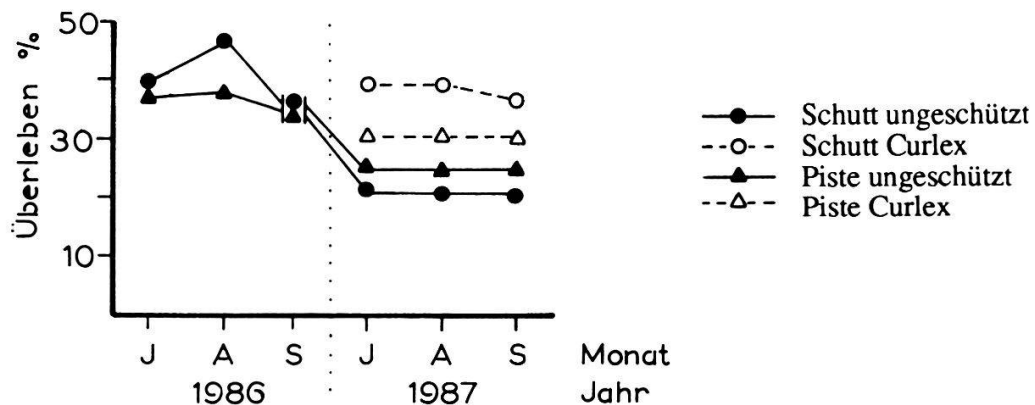
Auch die Wurzelbildung blieb zurück. Einerseits reichten die Wurzeln nicht tief ins Substrat, andererseits blieben sie eher dünn.



**Fig.51.** Entwicklung von *Achillea atrata* im Felde. Von links nach rechts: Pflanzen gesammelt in der 2. und 3. Vegetationsperiode.  
*Development of Achillea atrata in field plots. From left to right: plants collected in the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> season.*

### I. *Leontodon hyoseroides*

Samen von *Leontodon hyoseroides* wurden nur im Spätsommer 1985 ausgesät. Es wurde unbehandeltes Samenmaterial verwendet. Die Samen keimten nach einer Überwinterung zu Beginn der 1. Vegetationsperiode sehr gut. Auf der ungeschützten Schuttfläche keimten 47 % der Samen, auf der ungeschützten Pistenfläche 36 %. Zu Beginn der 2. Vegetationsperiode keimten nur noch auf der offenen Schuttfläche weitere 4 % der Samen.

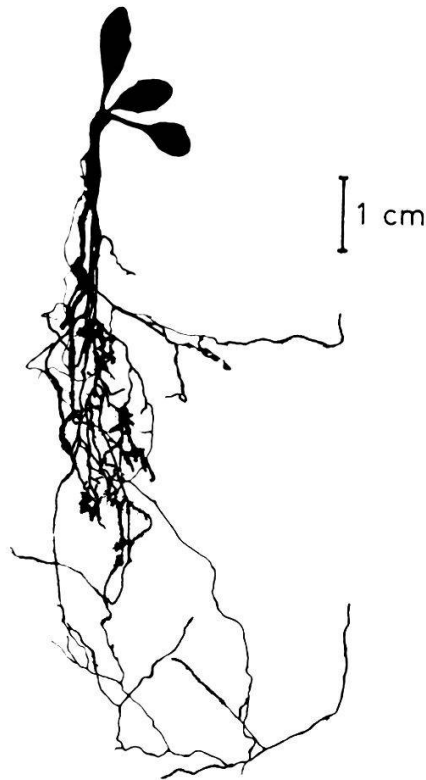


**Fig.52.** Verhalten von *Leontodon hyoseroides* im Felde. Aussaat: September 1985 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Behaviour of Leontodon hyoseroides in field plots sown in September 1985 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

Die Sterblichkeit war mit 55 % auf der Schutthalde und mit 44 % auf der Skipiste gross. Trotzdem überlebten vergleichsweise sehr viele Individuen (Fig.52). Auf den beiden mit CURLEX bedeckten Flächen überlebten dabei mehr Individuen, als auf den beiden ungeschützten Flächen: Auf der Schutthalde 38 %, auf der Skipiste 28 %. Auf der offenen Skipistenfläche waren 24 % und auf der offenen Schuttfläche 23 % Überlebende zu verzeichnen.

**Jungpflanzenentwicklung:** Während der 2. Vegetationsperiode bildeten sich bei allen Pflanzen 2 bis 3 Blätter (Fig.53). Die Wurzeln waren sehr gut entwickelt, verankerten die Pflanze tief im Boden und waren stark verzweigt.





**Fig.53.** Entwicklung von *Leontodon hyoseroides* im Felde. Pflanzen gesammelt in der 2. Vegetationsperiode.

*Development of Leontodon hyoseroides in field plots. Plants collected in the 2<sup>nd</sup> season*

#### *K. Taraxacum alpinum*

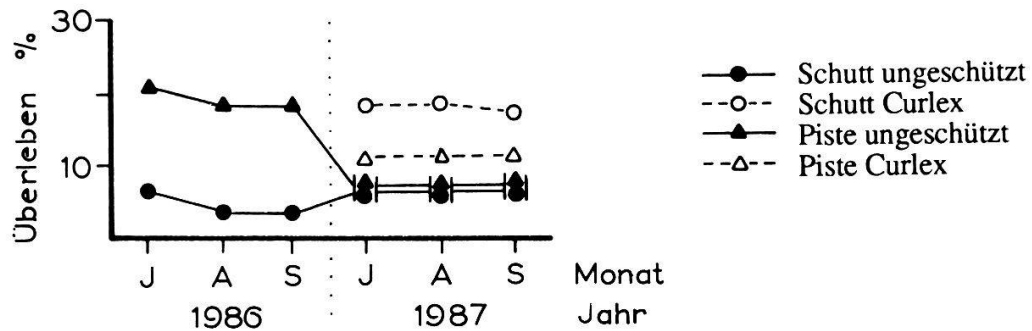
Unbehandelte Samen von *Taraxacum alpinum* wurden nur im Spätsommer 1985 ausgesät. Sie keimten erst zu Beginn der folgenden Vegetationsperiode auf der ungeschützten Pistenfläche zu 21%, auf der entsprechenden Schuttfläche aber nur zu 6 %. Während auf der Skipiste zu Beginn der 2. Vegetationsperiode keine Samen mehr keimten, wurde auf der Schutthalde die Keimungsrate um weitere 3 % erhöht.

Die Sterblichkeit betrug bis zum Ende der 2. Vegetationsperiode auf der Schutthalde 33 % und auf der Skipiste 71 %.

Die CURLEX-Decken förderten das Überleben der Pflanzen (Fig.54). Auf der mit CURLEX bedeckten Schuttfläche überlebten 18 % der Pflanzen, auf der entsprechenden Pistenfläche 11 %. Auf den beiden ungeschützten Flä-

chen waren nur je 6 % Überlebende vorhanden.

**Jungpflanzenentwicklung:** Die Pflanzen hatten gegen Ende der 2. Vegetationsperiode 1 bis 3 Blätter. Die Entwicklung der unterirdischen Organe wurde nicht beobachtet.

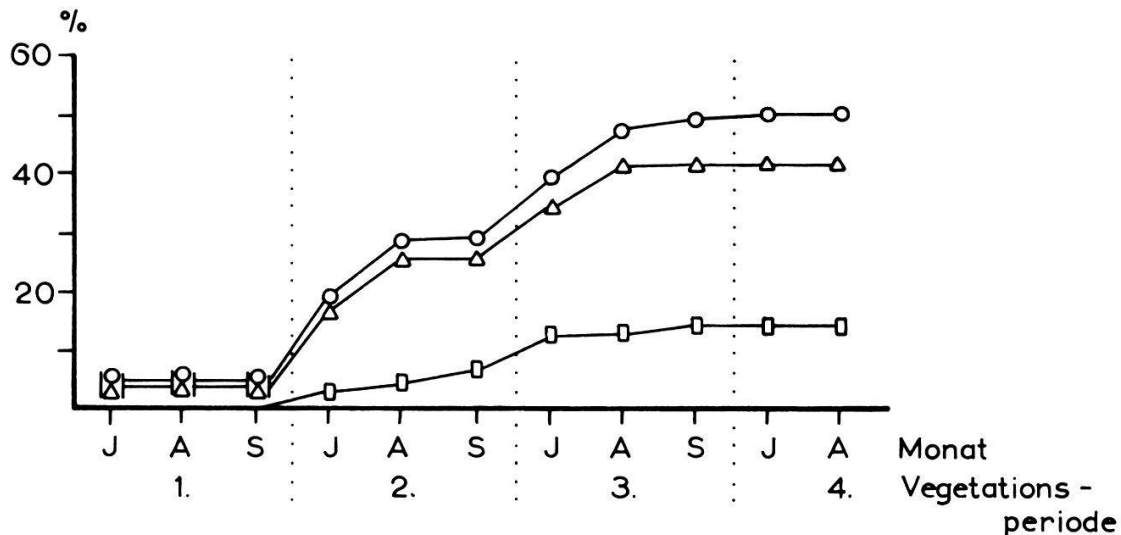


**Fig.54.** Verhalten von *Taraxacum alpinum* im Felde. Aussaat: September 1985 mit unbehandeltem Samenmaterial. J = Juli, A = August, S = September.  
*Behaviour of Taraxacum alpinum in field plots sown in September 1985 with non-pretreated seeds. J = July, A = August, S = September.*

#### 4.2.1.3 Verhaltensmuster im Felde

Aufgrund der Feldaussaaten können verschiedene Verhaltenstypen unterschieden werden. Diese werden im folgenden kurz charakterisiert.

**1. Typ BS:** Mit Abstand am erfolgreichsten auf den Versuchsflächen war der Typ "*Biscutella/Silene*" (BS, Fig.62b und 63c). Die Keimung blieb nach der Frühsommeraussaat während der ersten Vegetationsperiode praktisch aus, erfolgte jedoch unmittelbar nach der ersten Schneeschmelze zu Beginn der 2. Vegetationsperiode mit Keimungsraten zwischen 20 und 48 %. Nach jeder weiteren Schneeschmelze erhöhte sich die Keimungsrate erneut (Fig.55). Genau gleich war das Verhalten nach der Spätsommersaat. Die Keimung stieg ebenfalls nach jeder Überwinterung stark an. Von allen vier Typen keimten beim Typ BS am meisten Samen. Gleichzeitig war die



**Fig.55.** Typ BS (*Biscutella/Silene*): Keimung( ○ ), Sterblichkeit( □ ) und Überleben ( △ ) nach Frühsommersaat.  
*Type BS (Biscutella/Silene): Germination( ○ ), mortality( □ ) and survivorship( △ ) after sowing in early summer.*

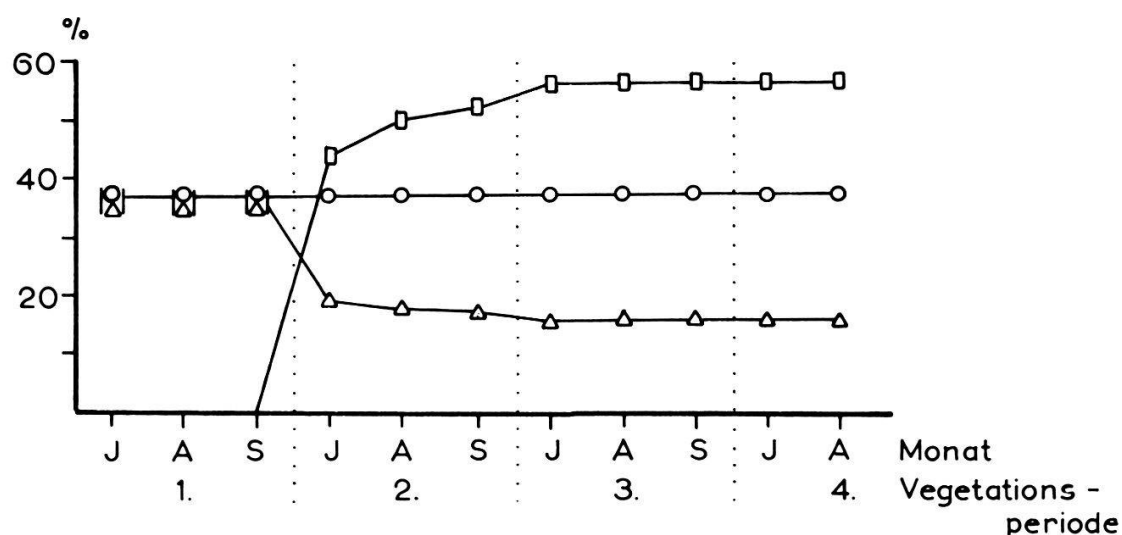
durchschnittliche Sterberate mit nur gut 10 %, gerade ein Viertel so gross, wie beim nächstbesten Typ. Deshalb überlebten prozentual auch mehr als doppelt soviele Individuen, wie bei allen anderen Gruppen.

Mit leichten Modifikationen können zu diesem Typ auch *Anthyllis alpestris* (Fig.45) und *Oxytropis jacquinii* gezählt werden, wenn deren Samen unbehandelt ausgesät werden, unabhängig vom Aussaattermin. Auch bei diesen zwei Leguminosen erfolgte die Keimung erst nach einer Überwinterung und stieg nach jeder folgenden Schneeschmelze weiter an. Auch die Überlebenskurven wiesen eine steigende Tendenz auf. Die Sterberaten lagen allerdings auf einem höheren Niveau als bei *Biscutella levigata* und *Silene willdenowii*.

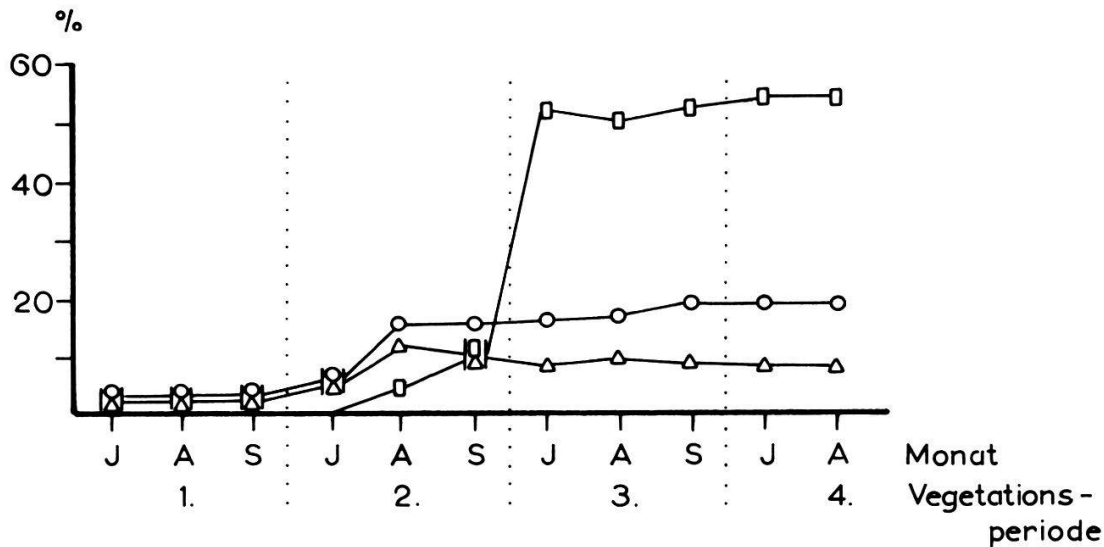
**2. Typ Ls:** Bei einer Aussaat von skarifizierten Leguminosen (Ls) waren nur Frühsommersaaten erfolgreich (Fig.45 und 46). Dieser Typ ist durch spontane Keimung sofort nach der Aussaat charakterisiert, wobei knapp 40% der Samen im Durchschnitt keimten (Fig.56). In den folgenden Vegetationsperioden keimte kein Same mehr. Im ersten Winter starben beinahe 50% der Keimlinge und Jungpflanzen ab. Die Sterberate erhöhte sich in den

folgenden Jahren nur noch leicht auf durchschnittlich 57 %. Da im Jahr der Aussaat bereits Anfang September wieder ein Wintereinbruch erfolgte, könnte die hohe Sterblichkeit damit zusammenhängen, dass die Keimlinge sich während der nur 6- bis 7-wöchigen Vegetationsperiode nicht genügend gut etablieren konnten.

**3. Typ AG** wird durch *Achillea atrata* und *Gypsophila repens* vertreten. Die Keimung erfolgte erst nach einer Überwinterung massiv (Fig.57). Im Laufe der 3. Vegetationsperiode keimten nur noch sporadisch weitere Samen. Da ein hoher prozentualer Anteil der Jungpflanzen starb und zwar vor allem im ersten Winter nach der Keimung, überlebten relativ wenige Individuen.



**Fig.56.** Typ  $L_s$  (Leguminosen skarifiziert): Keimung(  $\circ$  ), Sterblichkeit(  $\square$  ) und Überleben(  $\triangle$  ) nach Frühsommersaat.  
 Type  $L_s$  (legumes scarified): Germination(  $\circ$  ), mortality(  $\square$  ) and survivorship(  $\triangle$  ) after sowing in early summer.



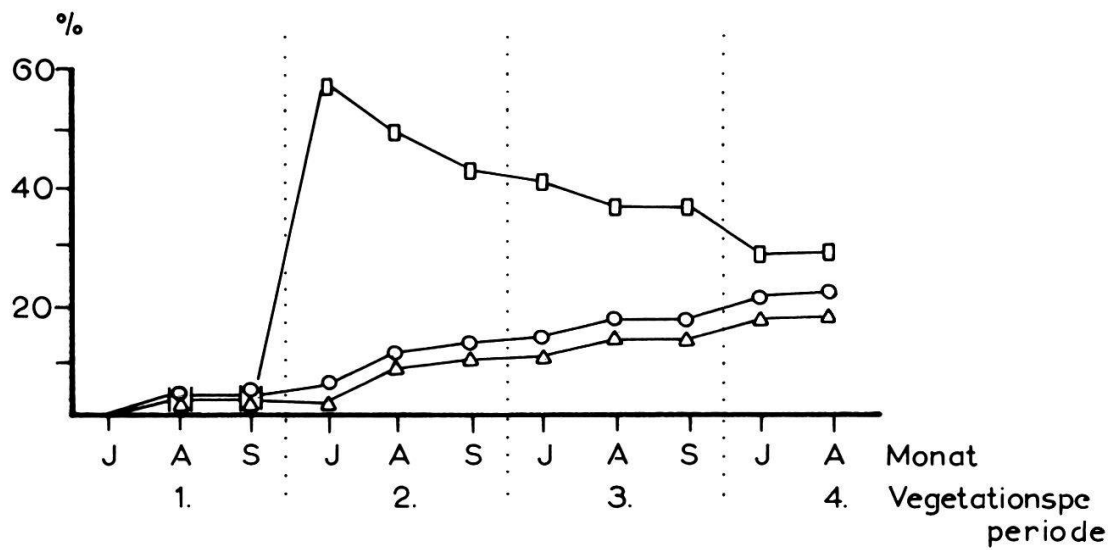
**Fig.57.** Typ AG (*Achillea/Gypsophila*): Keimung( ○ ), Sterblichkeit( □ ) und Überleben( △ ) nach Frühsommersaat.  
 Type AG (*Achillea/Gypsophila*): Germination( ○ ), mortality( □ ) and survivorship( △ ) after sowing in early summer.

4. Den Typ DA bilden *Dryas octopetala* und *Arabis alpina* (Fig.58). Entgegen den Erwartungen aufgrund der Laborversuche (Fig.8 und 9), keimten beide Arten im Felde nur schwach. Die im 1. Jahr gekeimten Samen, im Schnitt nur einer pro Fläche und Art, starben im ersten Winter wieder ab. Ab der 2. Vegetationsperiode stieg allerdings die Anzahl der gekeimten Samen kontinuierlich an, während die Sterberate dabei auf 25% sank. Die Zahl der Überlebenden nahm somit wieder zu.

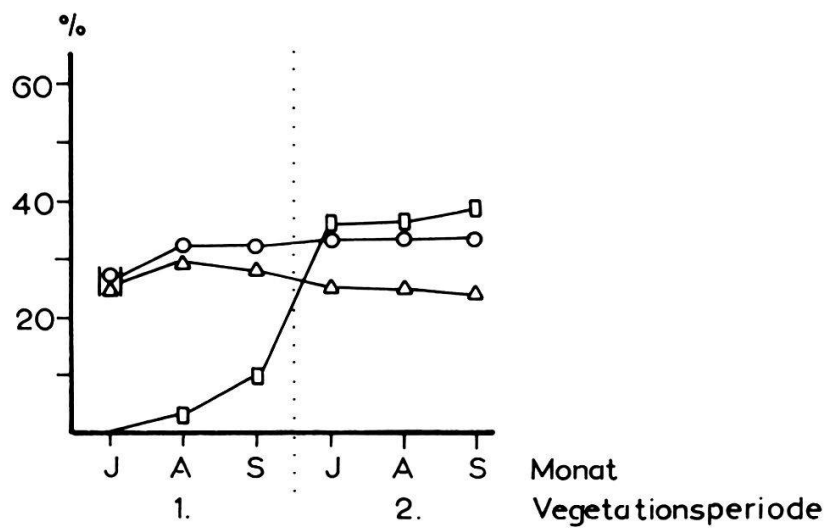
5. Typ LTT: Mehrere Arten, deren Samen im Spätsommer ausgesät wurden, gehören zu diesem Typ: *Leontodon hyoseroides*, *Taraxacum alpinum* und *Trisetum distichophyllum* (Fig.59). Alle drei Arten keimten gut zu Beginn der ersten Vegetationsperiode. Die durchschnittliche Keimungsrate lag bei 33 %. In der 2. Vegetationsperiode keimten nur noch vereinzelt Samen.

Die Sterblichkeit lag bis Ende der 2. Vegetationsperiode bei durchschnittlich 38 %. Die Überlebensraten lagen deshalb relativ hoch bei 24 %.

Das Verhalten dieser Arten sollte unbedingt bei Frühsommersaat getestet werden.



**Fig.58.** Typ DA (*Dryas/Arabis*): Keimung( ○ ), Sterblichkeit( □ ) und Überleben( △ ) nach Frühsommersaat.  
 Type DA (*Dryas/Arabis*): Germination( ○ ), mortality( □ ) and survivorship( △ ) after sowing in early summer.

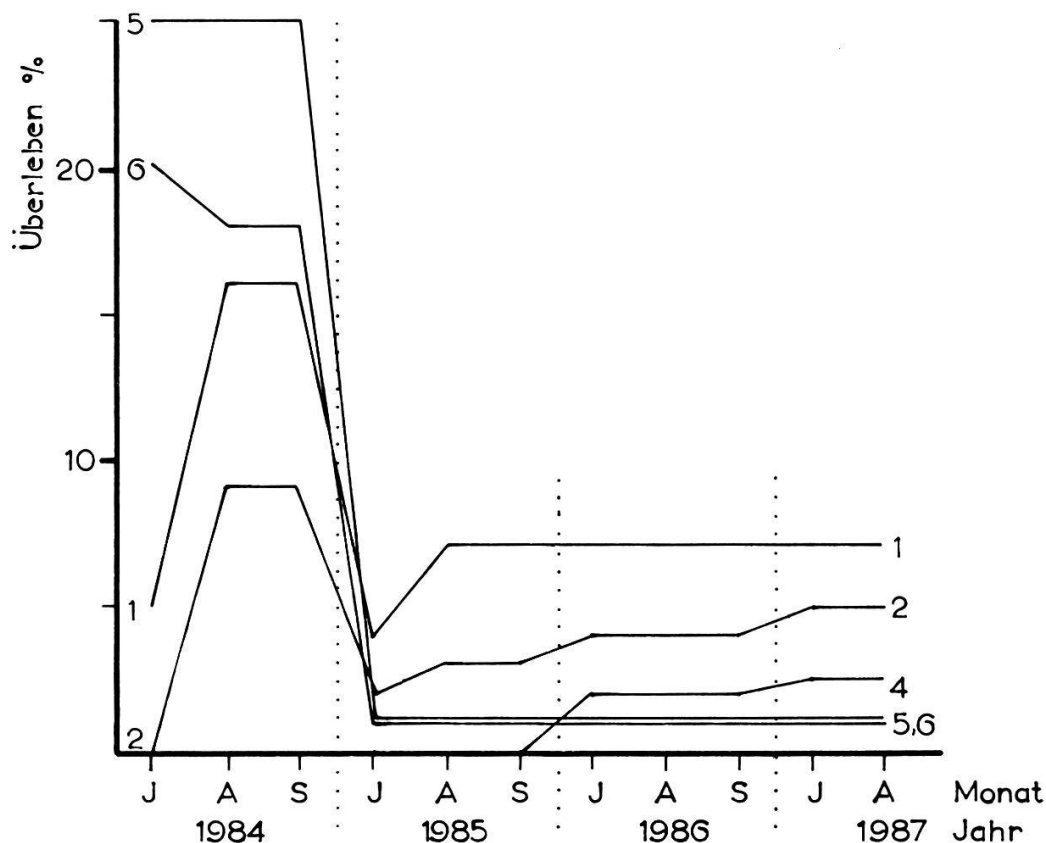


**Fig.59.** Typ LTT (*Leontodon/Taraxacum/Trisetum*): Keimung ( ○ ), Sterblichkeit ( □ ) und Überleben ( △ ) nach Spätsommersaat.  
 Type LTT (*Leontodon/Taraxacum/Trisetum*): Germination ( ○ ), mortality ( □ ) and survivorship ( △ ) after sowing in late summer.

#### 4.2.2 Aussaaten auf Silikat

Auf Silikat wurde wie auf Karbonat eine Frühsommersaat im Juli 1984 und eine Spätsommersaat im September 1985 durchgeführt. Sowohl im Früh- wie auch im Spätsommer wurden je 4 verschiedene Flächen mit Mischsaat angelegt (siehe Kap.3.3, S. 40 und 3.3.2, S. 44) und zusätzlich je eine Fläche mit Einzelsaat.

Nach der Frühsommersaat 1984 keimten Samen von mehreren Arten auf den offenen Flächen schon in der 1. Vegetationsperiode. Skarifizierte Samen der drei untersuchten *Leguminosae*-Arten, *Lotus alpinus*, *Oxytropis campe-*



**Fig.60.** Überleben im Felde auf Silikat. Aussaat im Frühsommer 1984. Fläche: Skipiste ungeschützt.

*Survivorship in field plots on silicate. Sowing: July 1984. Plot: unprotected ski run.*

- 1 = *Agrostis rupestris*
- 2 = *Potentilla aurea*
- 4 = *Senecio carniolicus*
- 5 = *Trifolium alpinum*
- 6 = *Lotus alpinus*

*stris* und *Trifolium alpinum* keimten innerhalb von 10 Tagen nach der Aussaat. Von *Lotus alpinus* keimten 8 - 12 % der Samen, von *Oxytropis campestris* 24 - 30 % und von *Trifolium alpinum* 24 - 33 %.

Samen der beiden ausgesäten Gräser keimten ebenfalls: Samen von *Agrostis rupestris* zu 12 - 18 %, und solche von *Helictotrichon versicolor* zu 10 - 24%.

Samen von *Hieracium alpinum* keimten je nach Fläche zu 20 - 34 % und solche von *Potentilla aurea* zu 10 - 14 %. Von *Senecio carniolicus* keimte lediglich ein Same pro Fläche.

Mit Ausnahme von einem Individuum von *Trifolium alpinum* auf der mit CURLEX geschützten Fläche, gingen auf der Schutthalde alle Keimlinge und Jungpflanzen im ersten Winter ein. Da die Flächen offenbar unbeschädigt blieben, ist diese Entwicklung schwierig zu erklären.

Etwas weniger dramatisch wirkte sich der erste Winter auf der Skipiste aus. Auf der offenen Fläche (Fig.60) überlebten von *Agrostis rupestris* 4 % der Individuen, von *Helictotrichon versicolor*, *Trifolium alpinum* und *Potentilla aurea* je 1-2 % der Individuen. Neu keimten zu Beginn der 2. Vegetationsperiode 3 % der Samen von *Agrostis rupestris*, und 1 % von *Potentilla aurea*. In der 3. Vegetationsperiode blühten 3 Individuen von *Agrostis rupestris*. Die kleinen Populationen der wenigen vorhandenen Arten blieben bis und mit der 4. Vegetationsperiode bei *Trifolium alpinum*, *Lotus alpinus* und *Agrostis rupestris* stabil. Die Populationen von *Potentilla aurea* und *Senecio carniolicus* wuchsen langsam an.

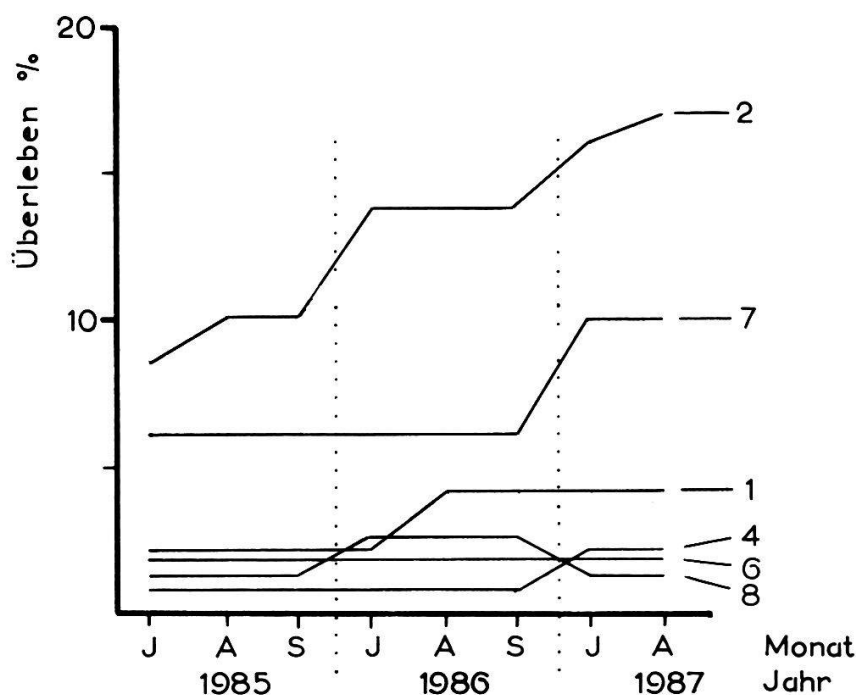
Auf der mit CURLEX bedeckten Fläche (Fig.61) auf der Skipiste überlebten 9% der Individuen von *Potentilla aurea*, 6 % von *Epilobium alpinum*, 2 % von *Agrostis rupestris* und *Lotus alpinus* und 1 % von *Hieracium alpinum* und *Senecio carniolicus*.

In den folgenden Jahren wuchsen alle Populationen auf dieser Fläche weiter. Vor allem *Potentilla aurea* und *Epilobium alpinum* vergrößerten ihre Präsenz auf der Fläche. Mehrere Exemplare dieser zwei Arten blühten



während der 3. und 4. Vegetationsperiode. Die Zunahme der Individuenzahlen ist deshalb zum Teil auf Selbstaussaat zurückzuführen. Vor allem bei *Epilobium alpinum* wurden in der 4. Vegetationsperiode dichte Keimlingsgruppen beobachtet.

**Jungpflanzenentwicklung:** Die wenigen Pflanzen, die den ersten Winter überlebten, wuchsen in der Regel sehr schnell. *Agrostis rupestris*-Horste wiesen bei 3 bis 4 Jahre alten Individuen bis zu 10 Triebe auf. *Epilobium alpinum* und *Potentilla aurea* etablierten sich sehr gut und bildeten mehrere Blüten und Früchte. Die wenigen Individuen von *Lotus alpinus* waren im Vergleich zu denen auf Karbonat viel besser entwickelt. Nur *Trifolium alpinum* blieb in der Entwicklung zurück. Auch in der 4. Saison nach der Aussaat waren nur 2 Blätter pro Pflanze vorhanden.



**Fig.61.** Überleben im Felde auf Silikat. Aussaat im Frühsommer 1984. Fläche: Skipiste CURLEX.

*Survivorship in field plots on silicate. Sowing: July 1984. Plot: ski run CURLEX.*

- 1 = *Agrostis rupestris*
- 2 = *Potentilla aurea*
- 4 = *Senecio carniolicus*
- 6 = *Lotus alpinus*
- 7 = *Epilobium alpinum*
- 8 = *Hieracium alpinum*

Nach der Spätsommerausssaat von September 1985 waren nur auf der mit CURLEX bedeckten Fläche auf der Skipiste Pflanzen festzustellen. Am Ende der 2. Vegetationsperiode waren 39 überlebende Pflanzen vorhanden, das sind knapp 3 %.

Von *Leontodon helveticus* und *Hieracium alpinum* überlebten 6 % der Pflanzen. Von *Agrostis rupestris*, *Taraxacum alpinum* und *Senecio carniolicus* wurden 4 % Überlebende beobachtet. Von *Chrysanthemum alpinum* und *Doronicum clusii* überlebten je 3 %, von *Lotus alpinus* 2 % und von *Geum reptans* 1 % der Pflanzen. Sieben weitere Keimlinge konnten nicht identifiziert werden.

**Jungpflanzenentwicklung:** Gut entwickelt waren die Individuen von *Agrostis rupestris*, *Lotus alpinus* und teilweise von *Senecio carniolicus*. *Lotus alpinus* hatte bereits zwei beblätterte Triebe gebildet. Zwei der vier überlebenden Individuen von *Senecio carniolicus* hatten drei Blätter, die anderen nur ein Blatt und noch die Keimblätter. Von *Agrostis rupestris* hatten alle vorhandenen Individuen 3 bis 4 Blätter gebildet. Alle anderen vorhandenen Pflanzen trugen noch grüne Keimblätter.