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

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 110 (1992)

Artikel: Experimentelle Untersuchungen über Keimung und Etablierung von alpinen Leguminosen = Experimental studies on the germinating behaviour and early developmental phases of alpine Leguminosae

Autor: Flüeler, Remo Peter

Kapitel: 4: Ergebnisse

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308974

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: 13.12.2025

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

4. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse lieferten ein sich ergänzendes Bild über die Lebensstrategien von alpinen Leguminosen. Im Folgenden werden zuerst die Laborversuche, dann die Feldversuche besprochen.

4.1. SAMENEIGENSCHAFTEN

4.1.1. Samenanatomie

Der grundsätzliche Aufbau der Leguminosensamen ist bei allen 14 untersuchten Arten identisch: Der Embryo ist gross und gut entwickelt. Die Keimblätter dienen als Speicherorgane. Das Endosperm ist nur als dünne Schicht um den Embryo ausgebildet und die Samenschale ist recht dick. Die Spitze der Radicula liegt in der Nähe des Hilums, durch das die Aufnahme von Wasser geregelt wird. Einzig die Grösse und Form der Samen variiert. Eine etwas spezielle äussere Form haben die Samen von *Hippocrepis comosa* (Fig. 11), aber auch sie sind im Innern genau gleich aufgebaut.

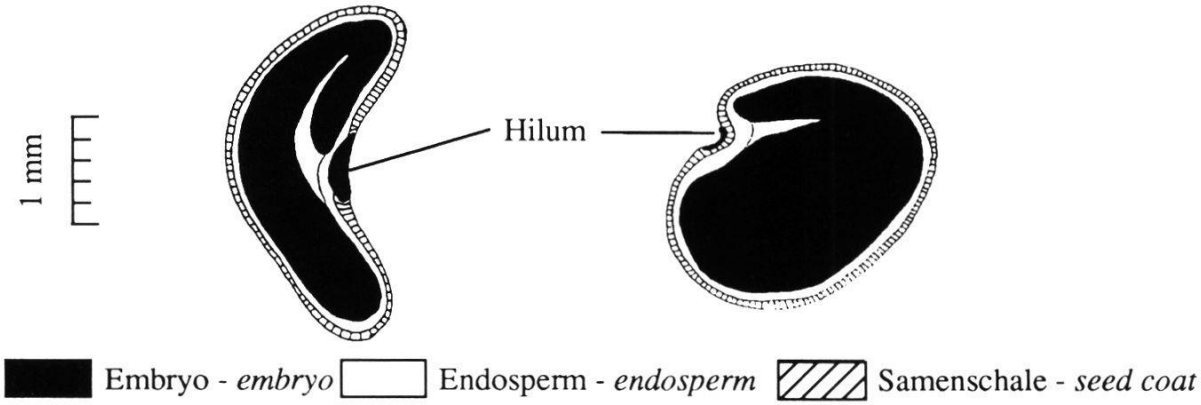


Fig. 11. Querschnitte durch Samen von zwei verschiedenen Leguminosenarten.
Sectional drawings of seeds of two different species of leguminosae.
Links - *left: Hippocrepis comosa,* rechts - *right: Anthyllis alpestris.*

4.1.2. Diversität und Variabilität des Samengewichtes

Das durchschnittliche Samengewicht der verschiedenen Arten wurde aus 20-120 Wägungen von Proben verschiedenster natürlicher Populationen ermittelt (Tab. 8). Das Spektrum der Samengewichte reichte von winzigen, leichten

Tab. 8. Samengewicht der 14 Leguminosenarten. Jede Probe enthielt 100 Samen.
Seed weight of 14 species of Leguminosae. Each sample included 100 seeds.

Art	Abkürzung	Gewicht [g]
Anthyllis alpestris	An	0.370 ± 0.031
Astragalus alpinus	Aa	0.194 ± 0.023
Astragalus frigidus	Af	0.435 ± 0.028
Hedysarum obscurum	Ho	0.668 ± 0.069
Hippocrepis comosa	Hc	0.278 ± 0.011
Lotus alpinus	La	0.172 ± 0.036
Oxytropis campestris	Oc	0.234 ± 0.033
Oxytropis jacquinii	Oj	0.357 ± 0.044
Trifolium alpinum	Ta	0.512 ± 0.028
Trifolium badium	Tb	0.115 ± 0.010
Trifolium nivale	Tn	0.165 ± 0.015
Trifolium pallescens	Tp	0.082 ± 0.001
Trifolium repens	Tr	0.052 ± 0.002
Trifolium thalii	Tt	0.119 ± 0.009

Samen von weniger als 1 mg (*Trifolium repens, T. pallescens*) bis zu verhältnismässig grossen und schweren Samen von 7 mg (*Hedysarum obscurum*). Aufgrund des Samengewichtes liessen sich drei Gruppen abgrenzen (Fig. 12):

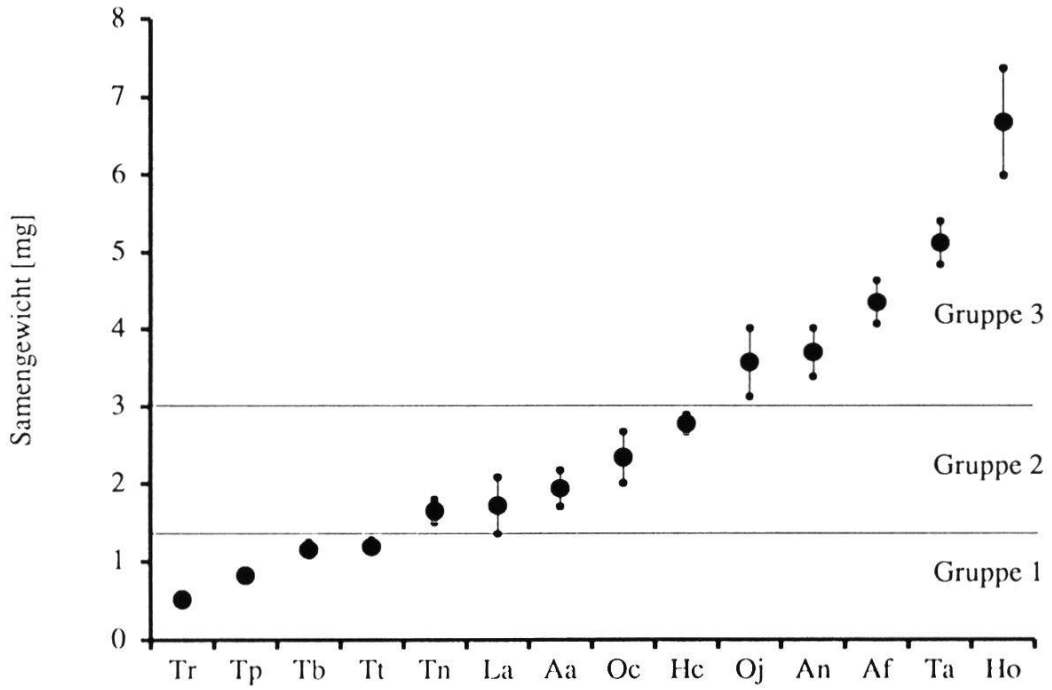


Fig. 12. Durchschnittliches Samengewicht mit Standardabweichungen der verschiedenen Leguminosenarten. Abkürzungen der Artnamen (Akronyme) siehe Tab. 8.
Mean value and standard deviation of the seed weight of the different Leguminosae species. Acronyms see Table 8.

1. Arten mit sehr kleinen und leichten Samen (0.5-1.3 mg): *Trifolium repens, T. pallescens, T. badium* und *T. thalii.*
2. Arten mit mittelgrossen Samen (1.5-2.9 mg): *Trifolium nivale, Lotus alpinus, Astragalus alpinus, Oxytropis campestris* und *Hippocrepis comosa.*
3. Arten mit grossen und schweren Samen (3.1-7.4 mg): *Oxytropis jacquinii, Anthyllis alpestris, Astragalus frigidus, Trifolium alpinum* und *Hedysarum obscurum.*
   Innerhalb dieser Gruppe stechen *T. alpinum* und *Hedysarum obscurum* mit besonders grossen Samen hervor.

Werden die Gruppen und die Leguminosengattungen miteinander verglichen, so fällt auf, dass in der Gruppe mit sehr kleinen Samen ausschliesslich *Trifolium*-Arten zu finden sind. Daneben gibt es aber auch *Trifolium*-Arten (*T. nivale*) mit mittelgrossen und solche mit sehr grossen Samen (*T. alpinum*). Auch bei den beiden *Astragalus*-Arten sind grosse Unterschiede zu verzeichnen. Während *A. alpinus* mittelgrosse Samen von durchschnittlich 1.9 mg aufweist, sind die Samen von *A. frigidus* im Schnitt 4.4 mg schwer. Die Mittelwerte von *Oxytropis campestris* und *O. jacquinii* liegen näher beieinander, sind aber ebenfalls gut getrennt. *O. campestris* besitzt mittelgrosse Samen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 2.3 mg, *O. jacquinii* grosse Samen von durchschnittlich 3.6 mg.

4.1.3. Samengewicht und Herkunft der Samen

Gesamthaft gesehen, liess sich bei allen Arten eine Verkleinerung der Samen mit zunehmender Höhe über Meer tendenzmässig aufzeigen. Die beste Korrelation (-0.839) wies *Anthyllis alpestris* auf (Fig. 13).

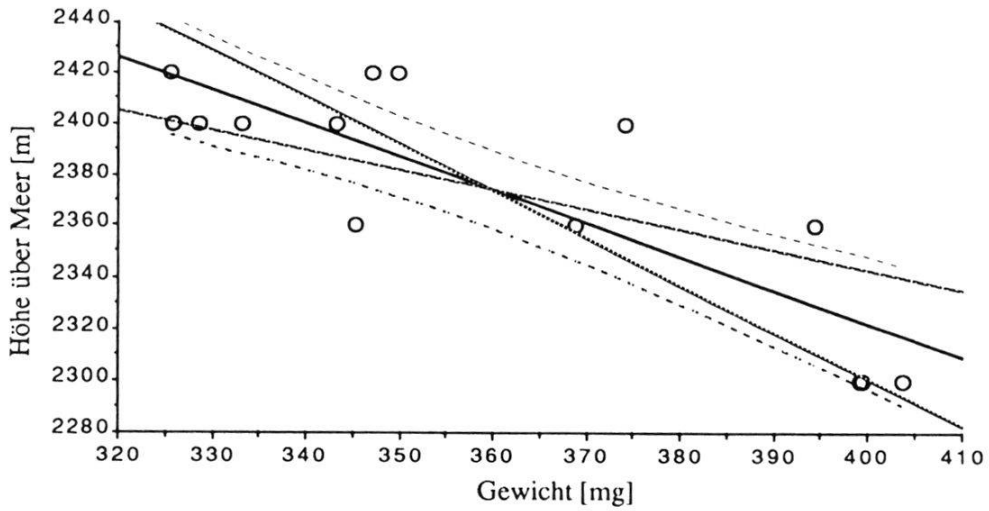


Fig. 13. *Anthyllis alpestris:* Samengewicht in Abhängigkeit von der Höhe ü.M. der verschiedenen Populationen. Regression und Standardabweichungen.
Anthyllis alpestris: Seed weight related to the elevation a.s.l. of various populations. Regression and standard deviation.

4.2. KEIMVERHALTEN UND JUNGPFLANZENENTWICKLUNG UNTER KONTROLLIERTEN BEDINGUNGEN

4.2.1. Verschiedene Vorbehandlungsarten

Durch bestimmte Skarifikationsmethoden lässt sich die Keimungsrate bei Leguminosen erhöhen. Meist wird versucht, die Samenschale auf irgendeine Art zu beschädigen und damit für das Wasser durchlässig zu machen, so dass die angeborene Keimruhe gebrochen wird. Einige Methoden wurden in der vorliegen den Arbeit untersucht:

a) Tauchen in kochendem Wasser (Fig. 14)

Das Tauchen in kochendem Wasser konnte die Keimruhe offenbar wirkungsvoll brechen: Diejenigen Proben, die für einen Augenblick in das Wasser gehalten wurden, zeigten eine fast vollständige Keimung. Die Samen, welche für einige Sekunden im Wasser verblieben, wurden dagegen beschädigt und keimten nicht mehr. Die Dauer einer solchen Vorbehandlung muss also sorgfältig geplant werden.

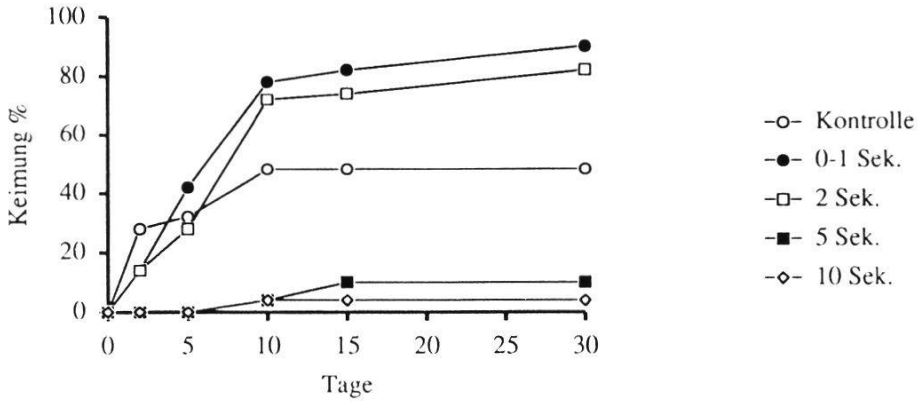


Fig. 14. *Trifolium nivale:* Keimung nach Tauchen in kochendem Wasser.
Trifolium nivale: Germination after dipping in boiling water.

b) Tauchen in konzentrierter Schwefelsäure (Fig. 15)

Durch das Tauchen in Schwefelsäure liess sich bei einigen Arten eine leichte Erhöhung der Keimungsrate erreichen. Meist keimten die Samen auch etwas schneller. Die Schwefelsäure kann also offenbar die harte Samenschale wasserdurchlässig oder zumindest durchlässiger machen. Dadurch keimen mehr Samen und, da das Wasser schneller eindringen kann, auch in kürzerer Zeit.

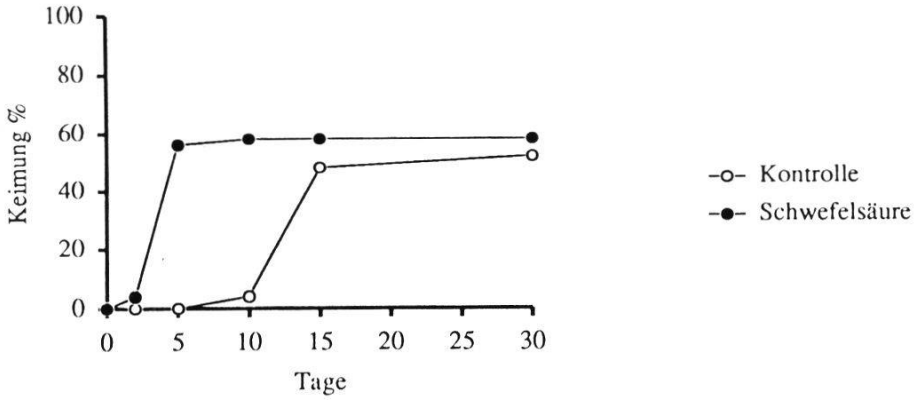


Fig. 15. *Oxytropis jacquinii*: Keimung nach kurzem Tauchen in konzentrierter Schwefelsäure.
Oxytropis jacquinii: Germination after a brief dipping in concentrated sulphuric acid.

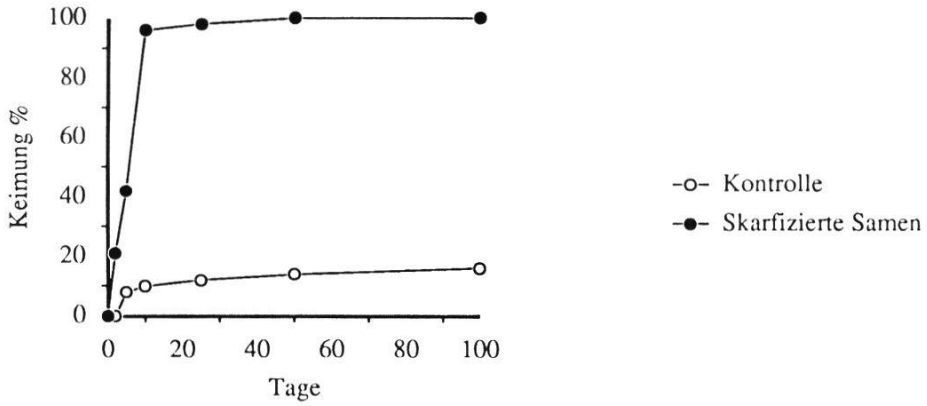


Fig. 16. Keimung nach Skarifikation mit dem Skalpell.
Trifolium alpinum: Germination after scarification with a scalpel.

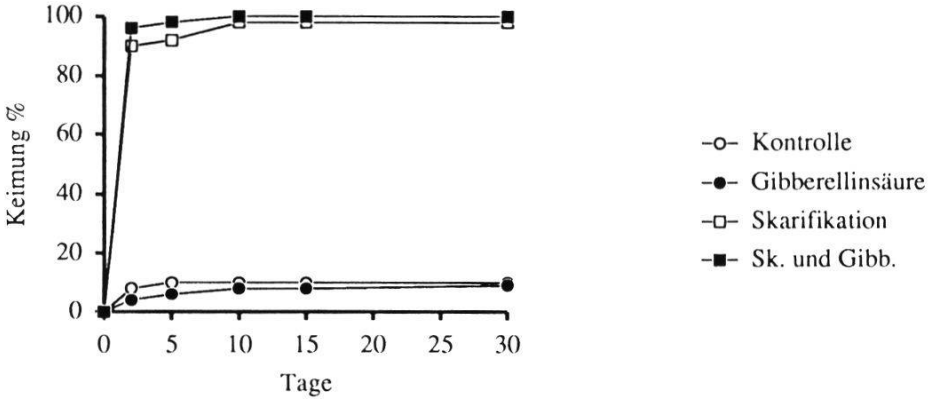


Fig. 17. *Trifolium badium:* Keimung nach Skarifikation, nach Behandlung mit Gibberellinsäure und bei kombinierter Vorbehandlung.
Trifolium badium: Germination after scarification, pretreatment with gibberellic acid and the combination of both pretreatments.

c) Skarifikation mit dem Skalpell (Fig. 16)
Die mechanische Skarifikation mit dem Skalpell führte in allen Versuchen zu einer vollständigen oder nahezu vollständigen Keimung (Fig. 16). Durch das Abschälen eines kleinen Teiles der Samenschale konnte Wasser in den Embryo gelangen und der Same keimte sofort.

d) Behandlung mit Gibberellinsäure und Kombination mit mechanischer Skarifikation (Fig. 17)

Die Vorbehandlung mit Gibberellinsäure allein hatte keine Wirkung. Das wasserlösliche Pflanzenhormon konnte offenbar nicht in den Samen und den Embryo eindringen und eine Keimung unterblieb. Dagegen wurde bei der kombinierten Behandlung eine schnellere Keimung verzeichnet (Fig. 17). Nach wenigen Tagen erreichten aber auch die Kontrollen mit skarifizierten Samen ohne Gibberellinsäure die gleiche Keimungsrate.
Bei allen Vorbehandlungsmethoden konnte also eine Steigerung der Keimungsrate oder zumindest ein schnellerer Keimungsverlauf beobachtet werden. Für das Erfassen von wissenschaftlich genauen Daten war aber das sorgfältige Skarifizieren von Hand unter dem Binokular notwendig.

4.2.2. Keimungs- und Tetrazoliumtest im Vergleich

Im allgemeinen versteht man unter Keimfähigkeit den Prozentsatz von Samen einer Probe, die nach einer bestimmten Zeit keimen. Diejenigen Samen, welche nicht keimen, befinden sich entweder in Keimruhe oder sind tot. Durch einen Keimungstest nach einer mechanischen Skarifikation der Samenschale lässt sich die maximale Keimfähigkeit einer Samenprobe von Leguminosensamen sicher nachweisen. Die Skarifikation macht die Samenschale wasserdurchlässig, die angeborene Keimruhe ist damit vollständig gebrochen. Durchden Tetrazoliumtest lässt sich dagegen die Lebensfähigkeit der Samen direkt nachweisen. Durch bestimmen der Lebensfähigkeit kann aber nicht automatisch auf die maximale Keimfähigkeit geschlossen werden, da Samen, die zwar lebendes Gewebe enthalten, durch gewisse Defekte keimungsunfähig sein können. Umgekehrt könnten auch Samen, die nicht keimen, durchaus noch lebendig sein.
Beide Tests wurden an drei Leguminosenarten aus ingesamt zwölf Populationen und neun Erntejahren durchgeführt: *Lotus alpinus, Oxytropis campestris* und *Trifolium badium*..
In allen zwölf Versuchsserien wurden für die maximale Keimfähigkeit und die Lebensfähigkeit nahezu identische Werte beobachtet (Fig. 18). Aus diesen

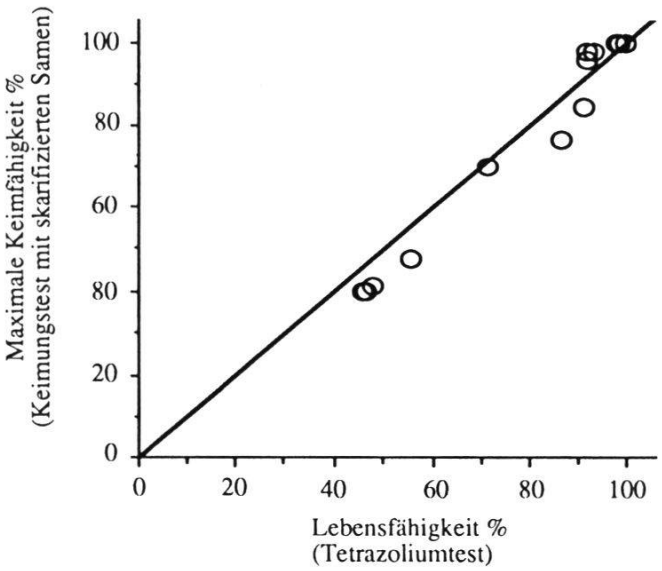


Fig. 18. Lebensfähigkeit und maximale Keimfähigkeit: Die Ergebnisse von zwölf Versuchsserien.
Viability and maximum germination: twelve series tested.

Gründen werden in der vorliegenden Arbeit die Begriffe Keimfähigkeit und Lebensfähigkeit wie folgt verwendet:

Keimfähigkeit: Die Anzahl der Samen, die ohne Vorbehandlung nach einer bestimmten Zeit keimen.
Lebensfähigkeit: = maximale Keimfähigkeit: Die Anzahl der Samen, die nach mechanischer Skarifikation keimen.

Dies wurde auch durch den Vergleich der Mittelwerte und der Standardabweichungen bestätigt, wobei sich der Mittelwert der Lebensfähigkeit um ein weniges höher als derjenige der Keimfähigkeit erwies (Fig. 19).

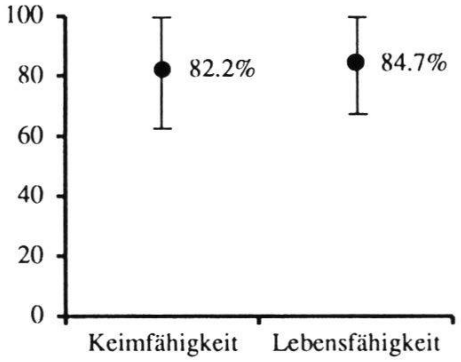


Fig. 19. Mittelwerte und Standardabweichung der maximalen Keimfähigkeit und Lebensfähigkeit der zwölf Versuchsserien.
Mean values and standard deviation of the maximum germination and viability of the twelve series.

4.2.3. Keimungsraten - Gesamtüberblick

Zur Abschätzung der Fehlergrenzen wurden bei den Versuchen in der Klimakammer von sieben Arten Proben von 10x25 Samen untersucht (Tab. 9).
Im Durchschnitt über alle Daten ergibt sich eine Abweichung von 12.5 %. Abweichungen über 20 % (schraffiert) sind nur selten beobachtet worden und am Versuchsende nach 100 Tagen betrug die höchste Abweichung 20 % (Tab. 9). Bei Keimungsraten von Standardserien mit 25 Samen, die um mehr als 20% voneinander abweichen, kann deshalb mit grosser Sicherheit auf ein unterschiedliches Keimverhalten geschlossen werden.

Tab. 9. Keimung bei Testserien mit 10x25 Samen: Angabe von Mittelwert (x) und Differenz der Minimum- und Maximumwerte (Max-Min).
Germination in test series with 10x25 seeds: mean value (x) and difference maximum - minimum (Max-Min) indicated.

Art		Keimung in % nach Tagen								
		2	5	10	20	30	40	50	75	100
Anthyllis alpestris	x	2.0	4.7	5.3	8.0	12.0	15.3	23.3	45.3	62.7
	Max-Min	8	8	12	12	4	4	12	20	16
Astragalus frigidus	x	0.7	4.7	25.3	42.0	50.7	56.0	58.0	58.7	58.7
	Max-Min	4	12	16	20	8	16	20	20	20
Hippocrepis comosa	x	3.3	12.7	22.7	30.7	42.0	48.7	54.7	72.0	77.3
	Max-Min	4	12	12	24	24	16	16	12	8
Oxytropis jacquinii	x	16.0	44.0	58.7	68.7	72.0	76.7	76.7	79.3	81.3
	Max-Min	8	16	16	12	16	12	12	12	16
Trifolium alpinum	x	2.0	4.7	5.3	8.0	12.0	15.3	23.3	45.3	62.7
	Max-Min	8	8	12	12	4	4	12	20	16
Trifolium nivale	x	2.0	8.0	12.7	24.0	32.0	40.7	49.3	60.0	70.0
	Max-Min	4	8	12	12	20	8	8	12	8
Trifolium thalii	x	1.3	4.7	8.7	14.7	20.7	24.0	31.3	47.3	52.0
	Max-Min	4	4	8	8	16	16	24	28	12

Die Versuchsserien von allen gesammelten Proben wurden in der Klimakammer während drei Jahren wiederholt (Tab. 10). Im allgemeinen kann gesagt werden, dass die untersuchten Leguminosen eine sehr hohe Lebensfähigkeit besassen, die während der dreijährigen Beobachtungsperiode kaum abnahm (Tab. 10). Das Keimverhalten der verschiedenen Populationen einer Art war ziemlich einheitlich. Dennoch gab es oft Populationen, die ein anderes Keimverhalten aufgrund einer stärkeren Keimruhe aufwiesen. Das Keimverhalten der verschiedenen Arten war unterschiedlich. Allerdings waren die Grenzen zwischen den Arten fliessend und eine Abgrenzung in Gruppen war aus diesem Grund recht schwierig.

Tab. 10. Resultate der Klimakammerversuche von drei Jahren. Keimungsprozentsatz am 100. Tag und t75-Wert von skarifizierten (sk.) und unbehandelten (un.) Samen verschiedenster Populationen und Erntejahren.
Results of trials carried out under controlled conditions. Germination percentage after 100 days and t75-value of scarified (sk.) and unpretreated (un.) seeds from several population samples taken in different years.

Art	Fundort	Gesteins-unterlage	Ernte	Versuchserien 1989 t75 un.	1989 t75 sk.	1989 Keimung un.	1989 Keimung sk.	1990 t75 un.	1990 t75 sk.	1990 Keimung un.	1990 Keimung sk.	1991 t75 un.	1991 t75 sk.	1991 Keimung un.	1991 Keimung sk.
Anthyllis alpestris	Grünturm	Si	1988	18	2	62	96								
Anthyllis alpestris	Bodmen	Ca	1988	6	2	72	100	5.5	1	74	96	18	1	74	100
Anthyllis alpestris	Sertig	Ca	1987	2	2	18	100	3.5	1	30	100	2	1	52	100
Anthyllis alpestris	Schiawang	Ca	1986	40	1	18	100	1.5	1	50	98				
Anthyllis alpestris	Schiawang	Ca	1988	40	2	86	100	65	1	62	90	50	1	74	98
Anthyllis alpestris	Strela	Ca	1988	53	2	64	100	48	1	68	100	53	1	48	100
Anthyllis alpestris	Clavadel Garten		1990									43	1	10	100
Anthyllis alpestris	Zürich Garten		1989					23	1	10	96	3	1	44	100
Astragalus alpinus	Grünturm	Si	1988	65	2	73	100	80	1	58	98	65	1	52	100
Astragalus alpinus	Grünturm	Si	1988	75	2	64	100	70	1.5	62	98	60	1	44	94
Astragalus alpinus	Grünturm	Si	1988	60	2	54	100	68	1.5	62	100	73	1	60	100
Astragalus alpinus	Bodmen	Ca	1988	30	2	82	96	30	1	90	96	45	1	76	96
Astragalus alpinus	Bodmen	Ca	1988	45	2	88	100	55	1.5	88	100	40	1	86	98
Astragalus alpinus	Zürich Garten		1989					78	1.5	22	98	60	1	12	100
Astragalus frigidus	Fanezmäder	Si	1988	78	2	60	100	73	2	54	100	70	1	56	100
Astragalus frigidus	Fanezmäder	Si	1988	63	2	64	100	73	2	58	100	65	1	72	100
Astragalus frigidus	Bodmen	Ca	1988	15	5	76	86	20	5	58	80	23	3	42	60
Astragalus frigidus	Bodmen	Ca	1988	63	3.5	54	100	75	5	44	98	58	2	28	74
Astragalus frigidus	Gotschna	Ca	1988	38	3.5	10	14	75	6	12	22	1.5	3	8	26
Astragalus frigidus	Gotschna	Ca	1988	55	1.5	80	94	55	5	86	98	30	1	44	78
Astragalus frigidus	Gotschna	Ca	1988	40	1.5	64	98					30	1	64	62
Astragalus frigidus	Gotschna	Ca	1990									5.5	1	60	90
Hedysarum obscurum	Fanezmäder	Si	1988	40	2	100	100	33	1.5	96	100	43	1	94	100
Hedysarum obscurum	Bodmen	Ca	1988	7.5	5	56	92					7.5	1	78	74
Hedysarum obscurum	Gotschna	Ca	1987	25	2	95	95								
Hedysarum obscurum	Gotschna	Ca	1988	5	2	100	98	10	1	90	96	7.5	1	84	94
Hedysarum obscurum	Gotschna	Ca	1988	18	3.5	98	100	33	1	100	96	13	1	100	100
Hippocrepis comosa	Ducantal	Si	1988	50	3.5	90	96	50	2	72	98	53	2	70	100
Hippocrepis comosa	Fanezmäder	Si	1988	33	3.5	100	100	40	1.5	76	94	33	2	76	94
Hippocrepis comosa	Gotschna	Ca	1987	38	5	40	75								
Hippocrepis comosa	Gotschna	Ca	1988	28	5	66	84	35	2	76	86	23	6	78	82
Hippocrepis comosa	Clavadel Garten		1989						83	1	28	94	5	1	26
Hippocrepis comosa	Clavadel Garten		1990									26	1	55	100
Lotus alpinus	Dürrboden	Si	1988	45	2	44	100	48	1	46	98	45	2	70	98
Lotus alpinus	Dürrboden	Si	1988	73	2	62	100	55	1.5	66	100	50	2	50	100
Lotus alpinus	Fanezmäder	Si	1988	33	2	74	96	45	1.5	66	100	53	2	64	100
Lotus alpinus	Grünturm	Si	1988	58	2	60	100	63	1	68	100	78	2	60	100
Lotus alpinus	Jakobshorn	Si	1988	28	2	80	95	30	2	70	90	58	2	58	100
Lotus alpinus	Latschüel	Si	1988	58	2	58	100	60	1	62	100	53	2	58	98
Lotus alpinus	Strelaberg	Si	1985	28	2	32	100	35	1	28	100	43	2	14	98
Lotus alpinus	Ducantal	Ca	1985	18	2	36	100								
Lotus alpinus	Ducantal	Ca	1985	8.5	2	32	96	2	2	56	96	3.5	2	42	90
Lotus alpinus	Ducantal	Ca	1988	65	2	56	100	58	1.5	48	100	68	2	46	96
Lotus alpinus	Sertig	Ca	1988	63	2	36	100	60	1	34	100	43	2	50	98
Lotus alpinus	Zürich Garten		1989					25	1	16	96	1	1	40	98
Oxytropis campestris	Chörbschhorn	Si	1988	30	2	82	98	38	1	88	100	30	1	90	100
Oxytropis campestris	Chörbschhorn	Si	1988	40	2	38	98	38	1	58	98	53	1	42	98
Oxytropis campestris	Grünturm	Si	1986	43	2	56	100								
Oxytropis campestris	Grünturm	Si	1986	10	2	66	100	30	1	60	100	25	1	58	96
Oxytropis campestris	Grünturm	Si	1988	50	2	80	100	43	1	80	98	33	1	76	94
Oxytropis campestris	Grünturm	Si	1988	55	2	60	92	63	1	62	100	55	1	60	100
Oxytropis campestris	Schafläger	Si	1988	10	2	66	96	35	1	62	94	38	1	60	94
Oxytropis campestris	Sertig	Ca	1985	30	1	88	98	20	1.5	72	90	23	1	74	92

Tab. 10. (Fortsetzung - *continued*)

Art	Fundort / Gesteins-unterlage		Ernte	Versuchserien 1989 t75 un.	1989 t75 sk.	1989 Keimung un.	1989 Keimung sk.	1990 t75 un.	1990 t75 sk.	1990 Keimung un.	1990 Keimung sk.	1991 t75 un.	1991 t75 sk.	1991 Keimung un.	1991 Keimung sk.
Oxytropis campestris	Sertig	Ca	1987					63	1	74	92				
Oxytropis campestris	Sertig	Ca	1988	65	2	84	100	73	1	28	98	65	1	72	98
Oxytropis campestris	Sertig	Ca	1988	73	1	28	98	65	1	72	98				
Oxytropis campestris	Sertig	Ca	1988	50	2	46	100	70	1	46	100	73	1	48	100
Oxytropis campestris	Clavadel Garten		1990									30	1	18	94
Oxytropis campestris	Zürich Garten		1989					13	1	44	96	25	1	44	88
Oxytropis jacquinii	Dorftälli	Si	1988	58	2	90	100	60	1	84	98	55	1	78	100
Oxytropis jacquinii	Schafläger	Si	1988	38	2	94	100	43	1	88	92	18	1	86	94
Oxytropis jacquinii	Schafläger	Si	1988	45	2	74	100	53	1	88	100	65	1	62	100
Oxytropis jacquinii	Gotschna	Ca	1988	5	2	80	96	3.5	1	86	94	18	1	96	100
Oxytropis jacquinii	Gotschna	Ca	1988	50	2	74	100	68	1	50	100	78	1	38	100
Oxytropis jacquinii	Gotschna	Ca	1988	70	2	84	100	55	1	70	100	53	1	52	100
Oxytropis jacquinii	Gotschna	Ca	1988	73	1.5	50	94	80	1.5	40	96	65	1	44	96
Oxytropis jacquinii	Grüenihorn	Ca	1985	48	2	2	100	80	1.5	10	82	58	1	16	94
Oxytropis jacquinii	Sertig	Ca	1987					48	2	70	94				
Oxytropis jacquinii	Sertig	Ca	1988	10	2	84	94	10	1.5	84	80	10	1	76	84
Oxytropis jacquinii	Sertig	Ca	1990					60	1	26	100				
Oxytropis jacquinii	Clavadel Garten		1990									10	1	18	90
Oxytropis jacquinii	Zürich Garten		1989					55	1.5	78	100	50	1	58	98
Trifolium alpinum	Chummerhubel	Si	1988	65	2	22	100	78	1	12	100	55	1	12	100
Trifolium alpinum	Dürrboden	Si	1988	75	2	34	100	80	1	32	100	68	1	24	100
Trifolium alpinum	Grünturm	Si	1988	48	2	70	100	50	1	78	100	50	1	80	100
Trifolium alpinum	Jakobshorn	Si	1988	75	2	60	100	80	1	66	100	73	1	68	100
Trifolium alpinum	Staffleralp	Si	1987					41	1	30	96				
Trifolium alpinum	Steintälli	Si	1985	10	2	26	100					40	1	16	90
Trifolium alpinum	Steintälli	Si	1985												
Trifolium alpinum	Latschüel	Si	1988	65	2	76	100	50	1	74	100	80	1	52	100
Trifolium alpinum	Latschüel	Si	1988	43	2	6	100	46	1	6	98	65	1	18	100
Trifolium badium	Dürrboden	Si	1988	45	2	40	100	1	1	48	98	3.5	1	46	100
Trifolium badium	Dürrboden	Si	1988	26	2	8	100	1	1	22	100	50	1	16	100
Trifolium badium	Felsenweg	Si	1985	25	2	54	82								
Trifolium badium	Felsenweg	Si	1985	7.5	3.5	62	92	1.5	2	50	80	13	3.5	38	62
Trifolium badium	Grünturm	Si	1988	33	2	20	100	35	1	14	100	88	1	16	100
Trifolium badium	Grünturm	Si	1988	85	2	16	100	73	1	22	100	40	1	20	100
Trifolium badium	Grünturm	Si	1990									78	1	34	100
Trifolium badium	Bodmen	Ca	1988	18	2	92	100	7.5	1	94	96	7.5	1	94	90
Trifolium badium	Gotschna	Ca	1987	60	2	48	100	70	1	48	100	70	1	44	100
Trifolium badium	Gotschna	Ca	1988	70	2	62	100	78	1	70	100	78	1	46	92
Trifolium badium	Gotschna	Ca	1988	58	2	96	100	45	1	98	98	35	1	76	92
Trifolium badium	Strela	Ca	1987	80	2	28	100	70	1	36	100	73	1	32	100
Trifolium badium	Zürich Garten		1988	3	2	2	96	1.5	1	54	94	3.5	1	24	96
Trifolium badium	Zürich Garten		1989					1.5	1	48	100	1	1	72	100
Trifolium nivale	Chummerhubel	Si	1987	25	1	74	100								
Trifolium nivale	Chummerhubel	Si	1988	2	2	62	100	6	1	62	98	5	1	60	100
Trifolium nivale	Clavadel Garten	Si	1990									68	1	36	98
Trifolium nivale	Dürrboden	Si	1988	50	2	56	100	23	1	68	100	13	1	76	100
Trifolium nivale	Grünturm	Si	1987	63	2	74	100	53	1	68	100	53	1	68	98
Trifolium nivale	Grünturm	Si	1988	13	2	92	100	30	1	84	100	15	1	78	92
Trifolium nivale	Grünturm	Si	1988	15	2	58	100	8.5	1	60	100	20	1	48	100
Trifolium nivale	Bodmen	Ca	1988	20	2	82	100	10	1	80	92	25	1	72	96
Trifolium nivale	Gotschna	Ca	1987	35	2	92	100	43	1	84	100	38	1	86	98
Trifolium nivale	Gotschna	Ca	1988	30	2	84	100	55	1	90	100	35	1	76	100
Trifolium nivale	Strela	Ca	1985	2	2	88	96	3	1	70	88	3.5	1	80	96
Trifolium nivale	Strela	Ca	1988	28	2	90	100	18	1	90	100	15	1	92	100
Trifolium nivale	Zürich Garten		1988	3.5	2	20	100	28	1	22	100	15	1	24	100
Trifolium nivale	Zürich Garten		1989					3.5	1	68	100	7.5	1	82	98
Trifolium pallescens	Dürrboden	Si	1987	78	2	46	100	55	1	44	96	73	1	44	98
Trifolium pallescens	Dürrboden	Si	1988	45	3.5	50	100	68	1	48	100	58	1	34	100
Trifolium pallescens	Dürrboden	Si	1988	68	2	36	100	70	1	4	100	75	1	50	100

Tab. 10. (Fortsetzung - *continued*)

Art	Fundort / Gesteins-unterlage		Ernte	Versuchserien 1989 t75 un.	1989 t75 sk.	1989 Keimung un.	1989 Keimung sk.	1990 t75 un.	1990 t75 sk.	1990 Keimung un.	1990 Keimung sk.	1991 t75 un.	1991 t75 sk.	1991 Keimung un.	1991 Keimung sk.
Trifolium pallescens	Grünturm	Si	1988	35	2	34	100	7.5	1	28	100	45	1	52	100
Trifolium pallescens	Schafläger	Si	1987	55	2	60	100	53	1	58	98	48	1	56	100
Trifolium pallescens	Schafläger	Si	1988	50	2	44	100	53	1	46	100	68	1	36	100
Trifolium pallescens	Clavadel Garten		1989					28	1	22	100	1	1	60	98
Trifolium pallescens	Zürich Garten		1989					28	1.5	50	82	10	1	58	90
Trifolium repens	Chummerhubel	Si	1987					50	1	38	98				
Trifolium repens	Clavadeler Alp	Si	1988	18	2	20	100	5	1	12	100	3	1	18	100
Trifolium repens	Clavadeler Alp	Si	1988	5	1	12	100								
Trifolium repens	Fanezmäder	Si	1988	33	2	24	100	48	1	40	100	50	1	42	98
Trifolium repens	Clavadel Garten		1990									78	1	16	100
Trifolium repens	Clavadel Garten		1989					53	1	42	100	43	1	18	100
Trifolium repens	Zürich Garten		1988	15	2	4	100	3	1	14	98	1	1	2	100
Trifolium repens	Zürich Garten		1989					63	1	34	100	3	1	46	100
Trifolium thalii	Grünturm	Si	1988	48	2	14	100	36	1	18	100	55	1	22	100
Trifolium thalii	Grünturm	Si	1988	70	2	32	100	53	1	48	100	73	1	30	100
Trifolium thalii	Salezerhorn	Si	1987	60	2	56	100	53	1	68	100	80	1	62	100
Trifolium thalii	Schafläger	Si	1988	63	2	32	100	60	1	20	100	65	1	40	100
Trifolium thalii	Strelaberg	Si	1987	60	2	42	100	63	1	46	96	65	1	50	100
Trifolium thalii	Strelagipfel	Si	1988	48	2	50	100	63	1	62	98	33	1	50	100
Trifolium thalii	Bärggi	Ca	1987					73	1	16	100				
Trifolium thalii	Bodmen	Ca	1988	28	2	58	100	53	1	52	100	18	1	60	100
Trifolium thalii	Fanezmäder	Ca	1990									8	1	6	100
Trifolium thalii	Gotschna	Ca	1987					35	1	56	98	35	1	46	96
Trifolium thalii	Gotschna	Ca	1988	50	2	44	100	68	1	24	100	85	1	34	100
Trifolium thalii	Strela	Ca	1985	19	2	10	100	43	1	14	100	35	1	18	100
Trifolium thalii	Strela	Ca	1987					73	1	48	100				
Trifolium thalii	Strela	Ca	1988	50	2	32	100	48	1	34	100	83	1	32	100
Trifolium thalii	Clavadel Garten		1989					10	1	30	100	5.5	1	40	90
Trifolium thalii	Zürich Garten		1988	29	2	10	100					5.5	1	10	100
Trifolium thalii	Zürich Garten		1989					10	1	30	100	48	1	14	98

4.2.3.1. Gesamtauswertung

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass alpine Leguminosen im allgemeinen über eine Keimruhe verfügen, die etwa 50% der Samen über längere Zeit an der Keimung hindert. Die Abweichungen waren allerdings recht gross. Die Skarifikation brach die angeborene Keimruhe vollständig. Auch in der Gesamtauswertung war die rasche und vollständige Keimung deutlich abzulesen (Fig. 20). Der Streuungsbereich bei den Versuchen mit skarifizierten Samen war dann auch sehr gering und die Standardabweichung des Mittelwertes entsprechend klein.

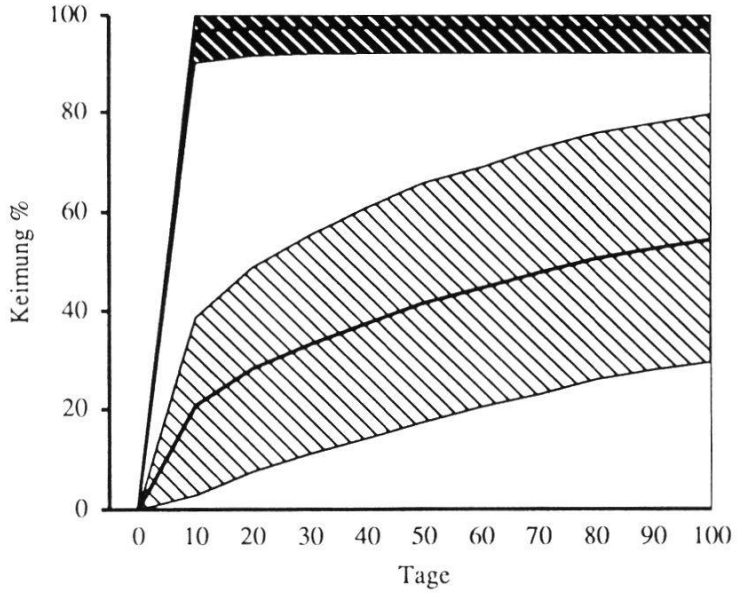


Fig. 20. Keimungsverhalten von skarifizierten und unbehandelten Leguminosensamen. Mittelwerte und Standardabweichungen von 14 Leguminosenarten aus 65 Populationen in insgesamt 3184 Versuchsserien à 25 Samen.
Germinating behaviour of scarified and not pretreated seeds of Leguminosae. Mean value and standard deviation of 14 Leguminosae species from 65 populations in 3184 series with 25 seeds each.
skarifiziert - *scarified* unbehandelt - *not pretreated*

4.2.3.2. Keimverhalten ohne Vorbehandlung

Aus allen Versuchsserien mit den gleichen Arten in den drei Jahren wurden die Durchschnitte des t75-Wertes und der Keimungsrate nach 100 Tagen mit den entsprechenden Standardabweichungen berechnet (Tab. 11). Aufgrund dieser Auswertungen liessen sich Verhaltenstendenzen erkennen. Die gesamte Variationsbreite des Keimverhaltens der untersuchten alpinen Leguminosen reichte von den sehr schlecht keimenden Samen von *Trifolium alpinum*, die offenbar eine sehr starke Keimruhe aufwiesen, bis zu den sehr schnell und vollständig keimenden Samen von *Hedysarum obscurum* (Fig. 21). *H. obscurum* schien keine so harte Samenschale zu besitzen, nur einzelne Samen verblieben jeweils in Keimruhe.
Die untersuchten Leguminosen liessen sich in zwei unterschiedliche Verhaltensgruppen einteilen, wobei die Abgrenzung der beiden Gruppen bis zu einem gewissen Grad willkürlich bleiben muss.
Zu **der Gruppe mit starker Keimruhe** könnte man neben *Trifolium alpinum* auch *T. repens, T. thalii, T. badium* und *T. pallescens* zählen. Diese

Tab. 11. t75-Wert und Keimung nach 100 Tagen mit Standardabweichungen aller Serien der 14 untersuchten Leguminosenarten.
t75-value and germination after 100 days with standard deviation of all series of the 14 Leguminosae-species studied.

Art	Abkürzung	t75-Wert	% Keimung nach 100 Tagen
Anthyllis alpestris	An	26.1 ± 19.4	56.1 ± 22.0
Astragalus alpinus	Aa	58.6 ± 14.4	71.7 ± 14.4
Astragalus frigidus	Af	43.6 ± 22.8	60.9 ± 9.4
Hedysarum obscurum	Ho	21.0 ± 12.8	94.5 ± 4.3
Hippocrepis comosa	Hc	35.0 ± 9.7	71.1 ± 11.1
Lotus alpinus	La	50.5 ± 12.6	51.9 ± 13.1
Oxytropis campestris	Oc	39.4 ± 17.1	64.3 ± 16.0
Oxytropis jacquinii	Oj	43.5 ± 20.7	72.9 ± 14.9
Trifolium alpinum	Ta	49.3 ± 21.4	19.9 ± 7.6
Trifolium badium	Tb	51.5 ± 24.5	37.2 ± 15.5
Trifolium nivale	Tn	22.9 ± 14.1	76.8 ± 10.4
Trifolium pallescens	Tp	45.8 ± 22.1	44.0 ± 8.1
Trifolium repens	Tr	30.0 ± 18.2	30.4 ± 14.0
Trifolium thalii	Tt	45.2 ± 22.4	31.9 ± 16.5

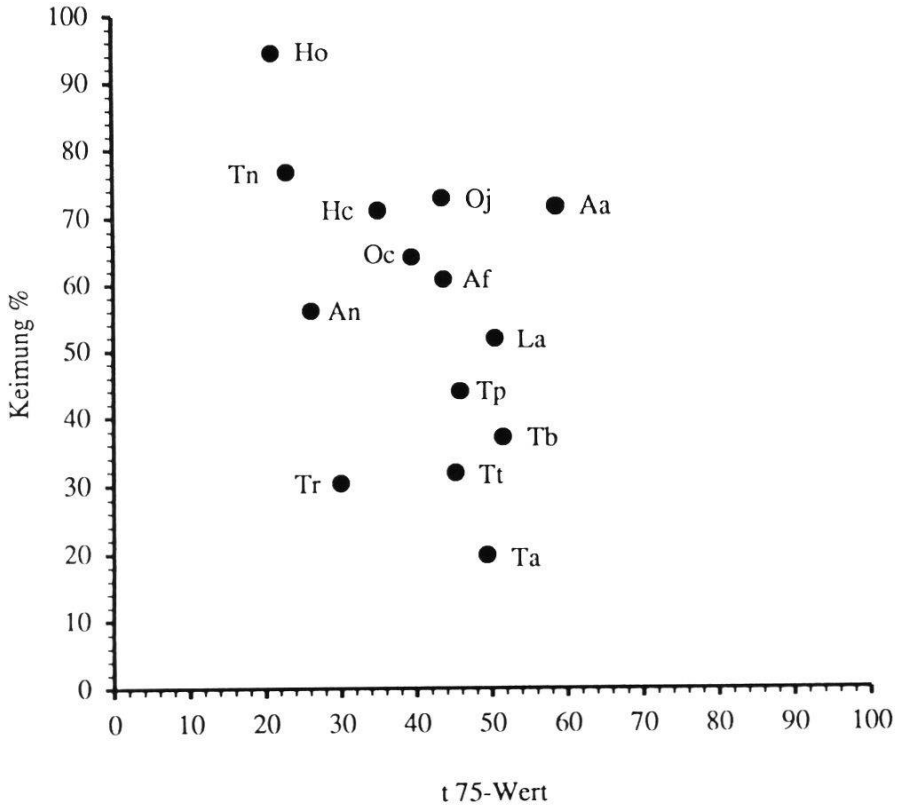


Fig. 21. Keimverhalten von unbehandeltem Samenmaterial unter kontrollierten Bedingungen. Mittelwerte. (Akronyme siehe Tab. 11).
Germinating behaviour of unpretreated seeds under controlled conditions. Mean values. (Acronyms see Table 11).

Arten zeigten nur eine geringe Keimungsrate, die in der Regel unter 50% lag, und der t75-Wert wurde im Durchschnitt etwa in der Mitte der Beobachtungsperiode erreicht.

Zur Gruppe mit geringer Keimruhe wurden *Hedysarum obscurum, Trifolium nivale, Oxytropis jacquinii, Hippocrepis comosa* und *Astragalus alpinus* zugeteilt. Samen dieser Arten keimten recht gut, nur eine geringe Anzahl davon verblieb in Keimruhe. Die Keimungsrate am Schluss der Beobachtungsperiode war grösser als 70% und im allgemeinen keimten die Samen in der ersten Hälfte der Beobachtungszeit.

Oxytropis campestris, Astragalus frigidus, Anthyllis alpestris und *Lotus alpinus* waren intermediär und bildeten den Übergang zwischen den beiden Gruppen.

Das typische Keimverhalten der Gruppe mit starker Keimruhe zeigte zum Beispiel *Trifolium badium* (Fig. 22): Am Ende der Versuchszeit von 100 Tagen hatten 65% der Samen gekeimt. Die Keimungen fanden gleichmässig über die ganze Beobachtungsperiode statt. Der t75-Wert betrug 65. Das heisst, dass bis zum 65. Tag 31.5% der Samen gekeimt hatten.

Ein typisches Beispiel für die Gruppe mit schwacher Keimruhe stellte *Oxytropis jacquinii* aus der Silikatpopulation vom Schafläger dar (Fig. 23). Nach 100 Tagen hatten 93% der Samen gekeimt. Fast alle Keimungen fanden in der ersten Hälfte der Versuchsperiode statt. Der t75-Wert ist damit mit 30 auch recht tief. Bereits am 30. Tag waren 70% aller Samen gekeimt.

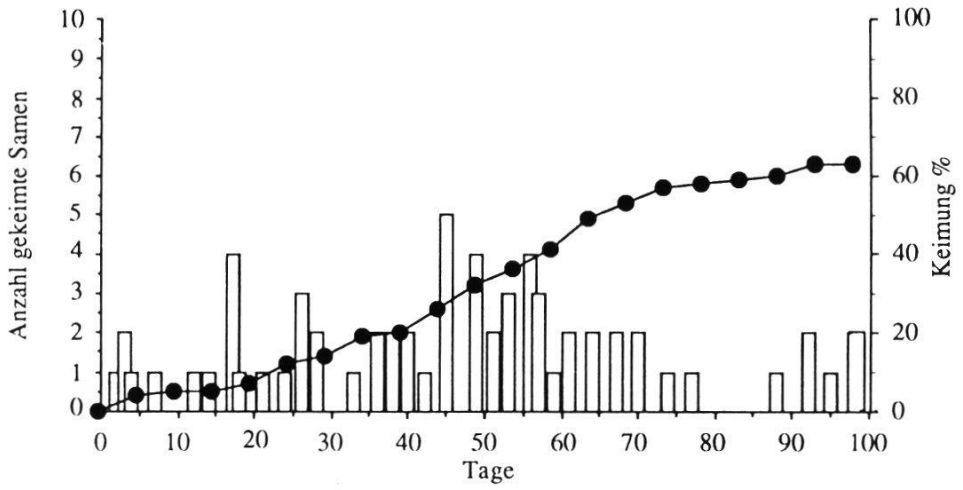


Fig. 22. *Trifolium badium* von Karbonat, Ernte 1987: Keimungsverlauf von 100 Samen. Säulen: Anzahl pro Tag gekeimte Samen, Linie: Summe der gekeimten Samen in Prozent.
Trifolium badium from carbonate, harvested in 1987: Germination of 100 seeds. Bars: number of germinated seeds per day, line: total germinated seeds.

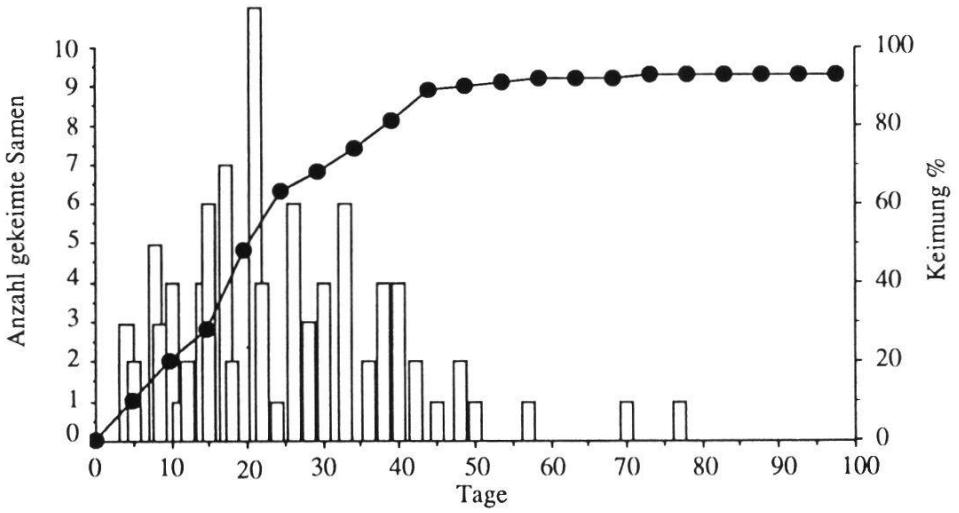


Fig. 23. *Oxytropis jacquinii* von Silikat, Ernte 1987: Keimungsverlauf von 100 Samen. Säulen: Anzahl pro Tag gekeimte Samen, Linie: Summe der gekeimten Samen in Prozent.
Oxytropis jacquinii from silicate, harvested in 1987: Germination of 100 seeds. Bars: number of germinated seeds per day, line: total germinated seeds.

4.2.4. Lichtverhältnisse und Keimung

Die Keimungsverläufe und die Keimungsrate der skarifizierten Samen nach

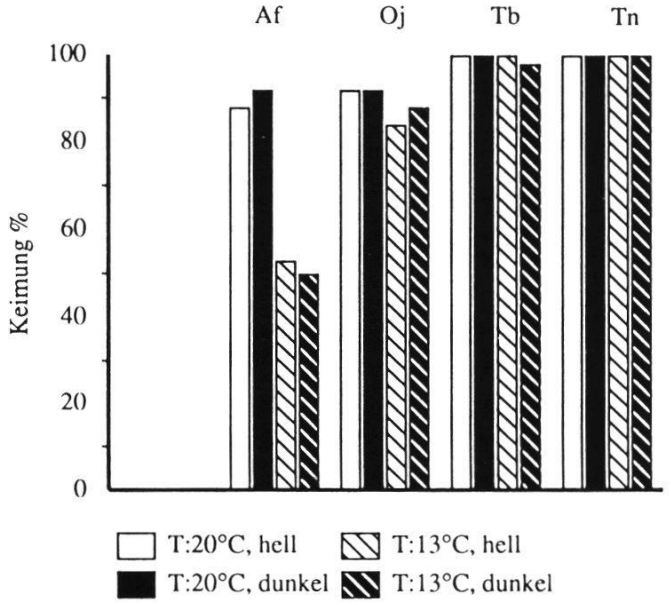


Fig. 24. Keimungsprozente nach 100 Tagen bei vier Leguminosenarten in Langtagverhältnissen und Dunkelheit bei verschiedenen Temperaturen.
Germination percentage after 100 days in daylight and darkness at different temperatures.
Af = *Astragalus frigidus*, Oj = *Oxytropis jacquinii*, Tb = *Trifolium badium*, Tn = *T. nivale*

100 Tagen ist bei den vier untersuchten Arten sowohl bei Langtagverhältnissen wie in völliger Dunkelheit nahezu identisch (Fig. 24).
Die Korrelation beträgt 0.989. Offenbar spielen also die Lichtverhältnisse bei der Keimung der untersuchten Arten keine entscheidende Rolle.

4.2.5. Temperatur und Keimung

Die verschiedenen Temperaturverhältnisse beeinflussten die Keimung der skarifizierten Samen. Die unterschiedlichen Reaktionen sind in Fig. 25 dargestellt.
Bei allen Versuchen konnten sogar bei Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt Keimungen beobachtet werden. Die Keimung bei 0°C erfolgte bei *A. frigidus* und *O. jacquinii* sehr verzögert und erst etwa in der Hälfte der Beobachtungsperiode, bei *T. badium* (Fig. 25) und *T. nivale* war dagegen nur eine geringfügige Verzögerung zu verzeichnen. Die tiefen Temperaturen hatten vor allem auf den Keimungsverlauf einen grossen Einfluss. Bei den tieferen Temperaturen wurden jeweils geringere Keimungsraten am Ende der Beobachtungsperiode verzeichnet.
Die Temperatur spielte für die Keimung von Leguminosen offenbar keine so grosse Rolle.

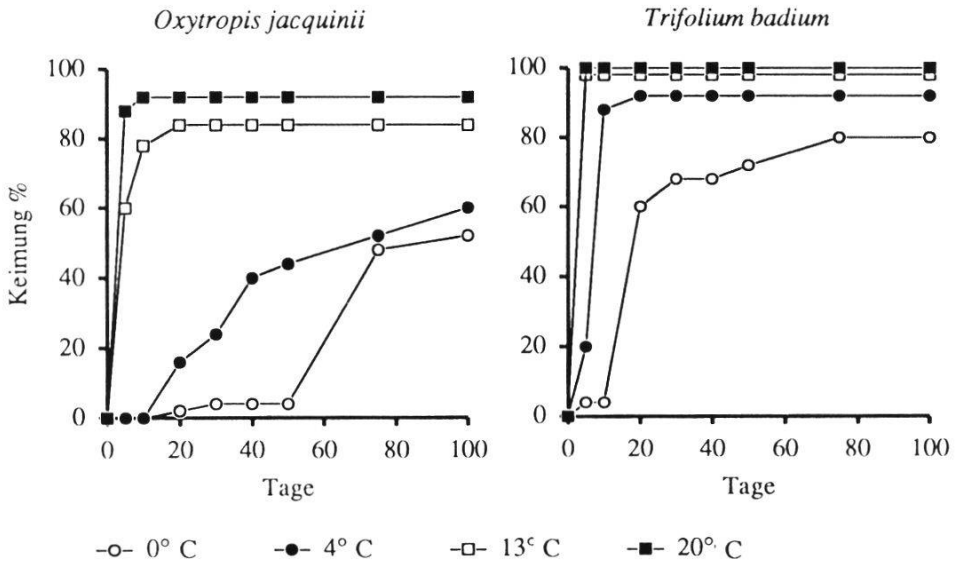


Fig. 25. Keimverhalten von zwei Leguminosenarten bei unterschiedlichen Temperaturen.
Germinating behaviour of two Leguminosae species at different temperatures.

4.2.6. Samengewicht und Keimverhalten

Beim Vergleich des Keimungsverhaltens der einzelnen Arten mit den Gruppen, die aufgrund des Samengewichts (Fig. 12) gemacht wurden, fiel auf, dass die kleinen, leichten Samen eher zur Gruppe mit starker Keimruhe gezählt werden konnten (Fig. 26). Die Arten mit grossen und schweren Samen waren umgekehrt eher in der Gruppe mit sehr schwacher angeborener Keimruhe zu finden.

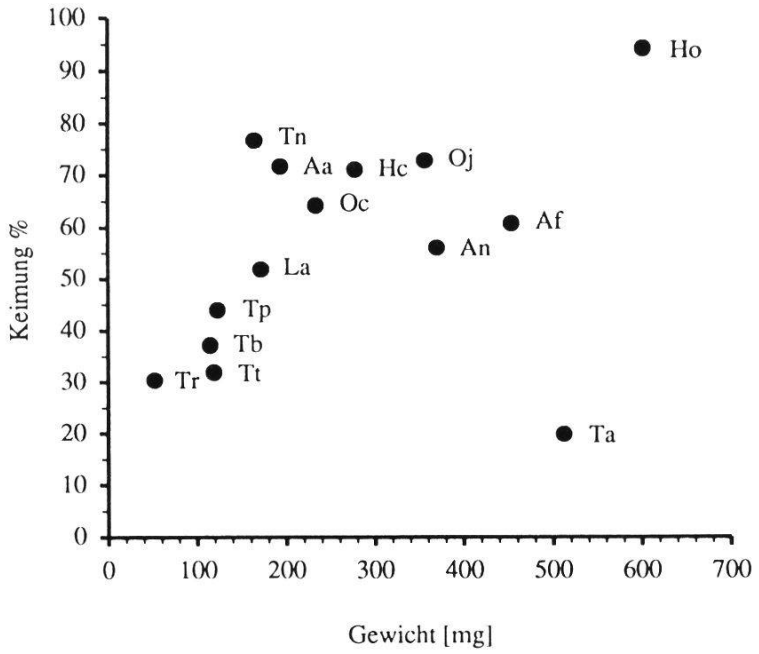


Fig. 26. Keimung und Samengewicht der verschiedenen Leguminosenarten. (Akronyme siehe Tab. 11).
Germination and seed weight of the different Leguminosae species. (Acronyms see Table 11).

Im allgemeinen keimten also kleine Samen viel schlechter als grosse Samen. Allerdings gab es auch Ausnahmen. So keimten die recht grossen Samen von *Trifolium alpinum* am schlechtesten von allen Leguminosenarten. Die kleinen Samen von *Trifolium nivale* zeigten dagegen ein gute Keimung. Bei der Berechnung der linearen Korrelation zwischen den beiden Parametern ergab sich deshalb ein niedriger Wert von gerade 0.373. Werden die beiden Ausreisser *T. nivale* und *T. alpinum* aus der Berechnung entfernt, so ergibt sich eine lineare Korrelation von immerhin 0.821 (Fig. 27).
Für die in dieser Berechnung verwendeten Leguminosenarten besteht damit ein signifikanter, positiver Zusammenhang. Damit kann für die untersuchten,

alpinen Leguminosen allgemein gesagt werden: Je grösser die Samen, desto besser die Keimung bzw. je kleiner die Samen, desto schlechter die Keimung. Die beiden Ausreisser zeigen jedoch, dass es auch einige Ausnahmen gibt.
In verschiedenen Populationen einer Art traten verschiedene Samengewichte auf. Auch hier wurde versucht einen Zusammenhang zwischen dem Keimverhalten und dem jeweiligen Samengewicht herzustellen. Die Ergebnisse waren recht unterschiedlich: Bei einigen Arten konnte überhaupt keine Tendenz festgestellt werden, bei anderen keimten grössere Samen etwas besser, bei weiteren die kleineren. Gesamthaft gesehen dominierte das vermutete Verhalten, dass grösser Samen besser keimen. Bei *Astragalus alpinus, A. frigidus,*

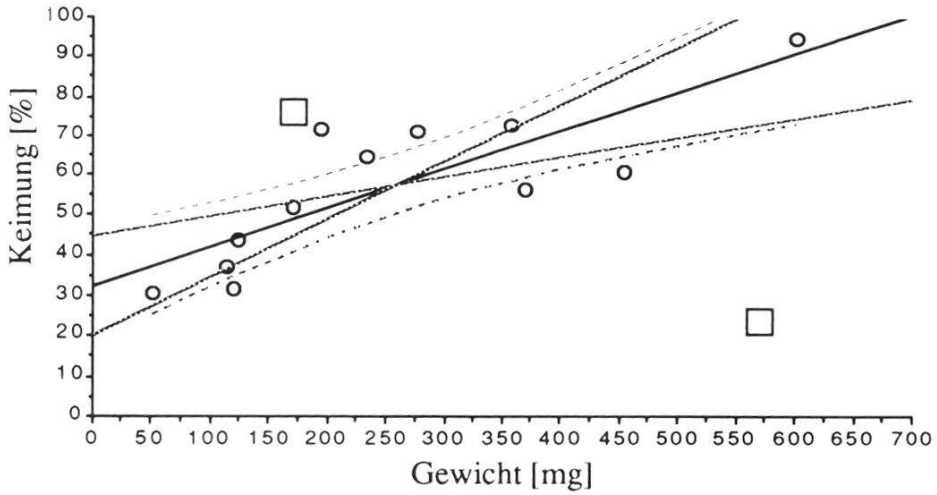


Fig. 27. Regression zwischen Gewicht und Keimung. Standardabweichungen.
Regression between weight and germination. Standard deviation.
(○) Werte, die zur Berechnung verwendet wurden - *values used for calculations,*
(□) Ausreisser - v*alues, excepted.*

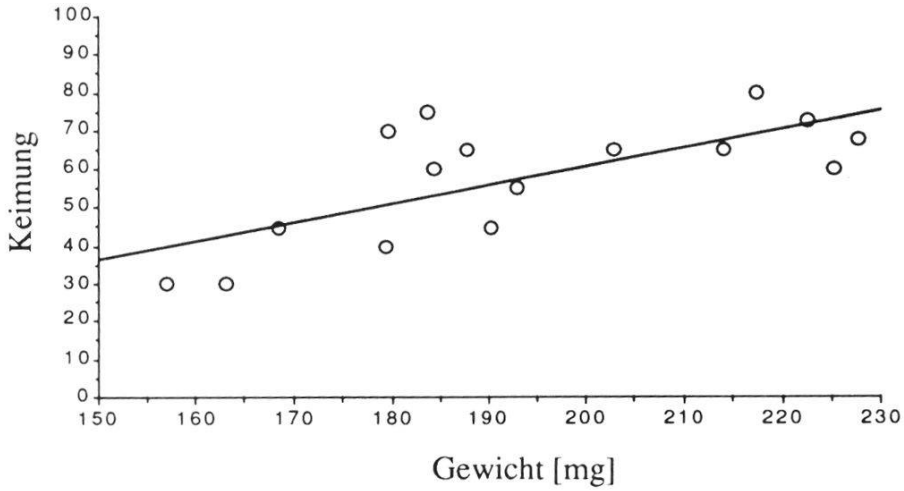


Fig. 28. *Astragalus alpinus:* Keimung in Abhängigkeit vom Samengewicht. Korrelation: 0.697.
Astragalus alpinus: Germination relative to seed weight. Correlation: 0.697.

Hedysarum obscurum, Hippocrepis comosa, Oxytropis jacquinii, Trifolium alpinum und *Trifolium pallescens*, also 7 der 14 Arten war dies nachzuweisen. So liess sich zum Beispiel bei *Astragalus alpinus* eine deutliche, positive Korrelation über das gesamte Datenmaterial von 0.697 berechnen (Fig. 28). *Anthyllis alpestris, Lotus alpinus, Oxytropis campestris, Trifolium badium, T. nivale, T. repens* und *T. thalii* zeigten dagegen keine eindeutige Tendenz, so dass keine signifikante Aussagen gemacht werden konnten. Die Korrelationen waren sehr niedrig und die Regressionen auf dem 5% Fehlerniveau variierten von einem positiven bis zu einem negativen Zusammenhang. Das Beispiel von *Anthyllis alpestris,* wo die Werte im gesamten Bereich streuten, zeigte dies sehr deutlich (Fig. 29).

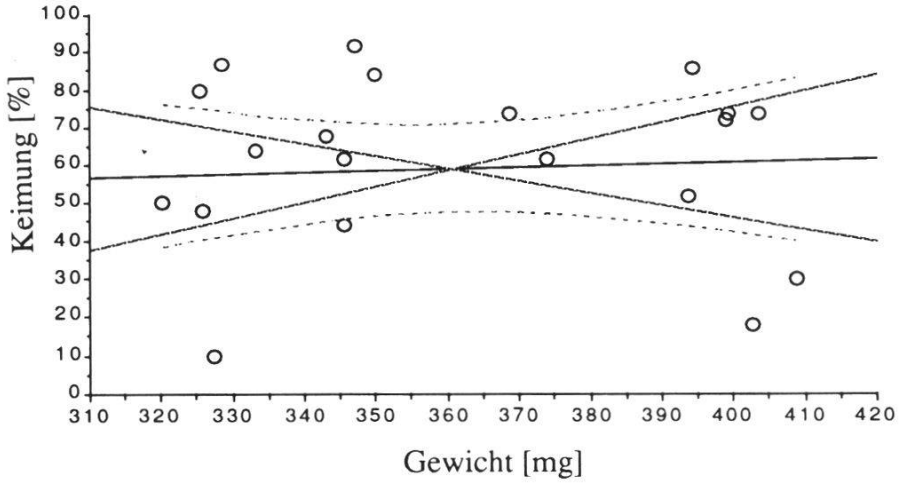


Fig. 29. *Anthyllis alpestris:* Keimung in Abhängigkeit vom Samengewicht. Regression mit Standardabweichungen.
Anthyllis alpestris: Germination compared with seed weight. Regression with standard deviation.

4.2.7. Vergleich von Samen aus natürlichen Populationen und den Versuchsgärten

Von einigen natürlichen alpinen Populationen wurden einzelne Pflanzen entnommen und in den Versuchsgärten von Clavadel (1800 m ü.M.) und Zürich (600 m ü.M.) eingepflanzt. Samen dieser Pflanzen wurden ebenfalls in den Versuchen verwendet. Beim Vergleich der Samen aus den beiden Versuchsgärten und den natürlichen Populationen ergaben sich interessante Unterschiede (Tab. 12), die wie folgt zusammengefasst werden können:

- Die Samen in den Versuchsgärten waren in allen Fällen deutlich kleiner als diejenige

aus den natürlichen Populationen. Die Unterschiede schwankten zwischen 8% und 30%.

- Die Lebensfähigkeit der Samen aus den Versuchsgärten erreichte bei manchen Arten die gleiche Höhe wie diejenigen Samen aus den natürlichen Populationen. Aber auch hier war in einigen Fällen eine deutliche Verminderung zu beobachten.
- Die Keimfähigkeit war geringer, wobei vor allem die sehr niedrigen Werte bei den Samen von *Anthyllis alpestris, Oxytropis campestris* und *O. jacquinii* aus dem Versuchsgarten von Clavadel auffielen. Hier scheint sich eine viel deutlichere Keimruhe ausgebildet zu haben.

Tab. 12. Samengewicht, Keim- und Lebensfähigkeit von Leguminosenarten aus den Versuchsgärten und natürlichen Populationen.
Seed weight, germinability and viability of different Leguminosae species from experimental garden plots, and natural populations.

Art	Gewicht von 100 Samen [g]	Keimfähigkeit % (unskarifizierte Samen)	Lebensfähigkeit % (skarifizierte Samen)
Anthyllis alpestris			
Natürliche Populationen	0.3646 ± 0.0324	62.90 ± 22.11	98.42 ± 2.71
Clavadel	0.3272 ± 0.0279	11.78 ± 5.86	99.87 ± 1.28
Zürich	0.3364 ± 0.0130	27.53 ± 14.12	98.15 ± 2.82
Oxytropis campestris			
Natürliche Populationen	0.2264 ± 0.0338	66.44 ± 16.24	97.63 ± 0.02
Clavadel	0.2003 ± 0.0265	18.23 ± 5.62	94.18 ± 3.24
Zürich	0.1942 ± 0.0037	43.89 ± 4.56	92.47 ± 5.66
Oxytropis jacquinii			
Natürliche Populationen	0.3482 ± 0.0456	65.45 ± 23.25	96.39 ± 5.49
Clavadel	0.2999 ± 0.0253	18.29 ± 8.67	91.21 ± 7.46
Zürich	0.2835 ± 0.0092	68.11 ± 14.14	99.13 ± 1.41
Trifolium pallescens			
Natürliche Populationen	0.0815 ± 0.0099	45.75 ± 15.54	99.60 ± 10.05
Clavadel	0.0555 ± 0.0008	41.06 ± 26.90	99.11 ± 1.41
Zürich	0.0633 ± 0.0031	54.18 ± 5.66	86.07 ± 5.66

4.2.8. Keimverhalten von Samen aus Silikat- und Karbonatpopulationen

Von den sechs Arten, die aus verschiedenen Silikat- und Karbonatstandorten untersucht wurden, zeigten die verschiedenen Populationen von *A. frigidus* und *T. thalii* kein unterschiedliches Verhalten. Aus der willkürlichen Verteilung, wie das am Beispiel von *T. thalii* (Fig. 30) zu sehen ist, lässt sich keine Tendenz ablesen.

Bei *T. badium* und *T. nivale* keimten die Samen der Kalkpopulationen deutlich besser als diejenigen der Silikatpopulationen. (Fig. 31): Das Gewicht der Samen der Silikatpopulationen umfasste einen breiten Bereich von 76 mg bis 136 mg. Die Keimungsraten lagen dabei im Durchschnitt tief, deutlich unter

50%. Die Samen der Karbonatpopulationen waren insgesamt eher schwerer (103 mg und 126 mg) und die Keimungsraten waren sehr viel höher. In einigen Fällen keimten die Samen zu 100%; es war also keine Keimruhe vorhanden, was für alpine Leguminosen extrem untypisch ist.
Bei *Lotus alpinus* und *O. campestris* wiesen die Silikatpopulationen beide deutlich kleinere Samen auf, die um ein weniges besser keimten als die jeweiligen Karbonatpopulationen. Deutlich war dies bei *Lotus alpinus* zu be-

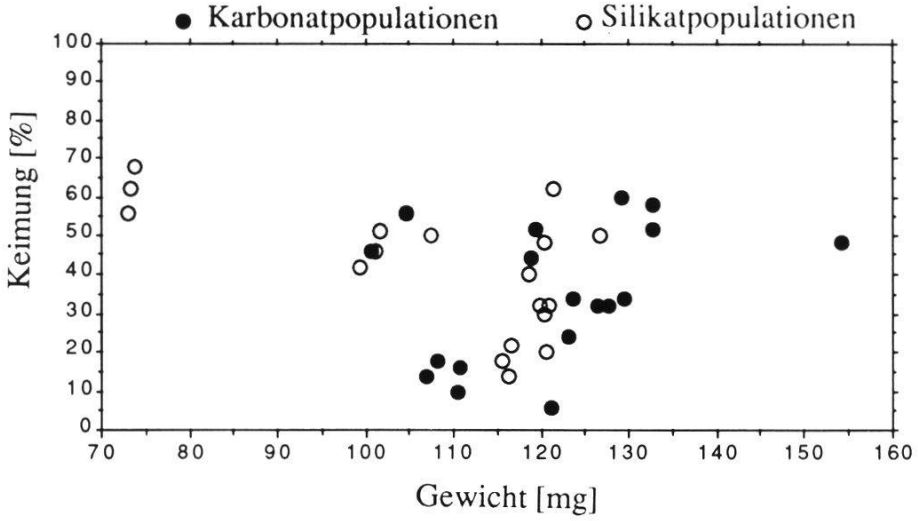


Fig. 30. *Trifolium thalii*: Samengewicht und Keimung der Samen von Silikat- und Karbonatpopulationen.
Trifolium thalii: Seed weight and germination of samples from silicate and carbonate populations.

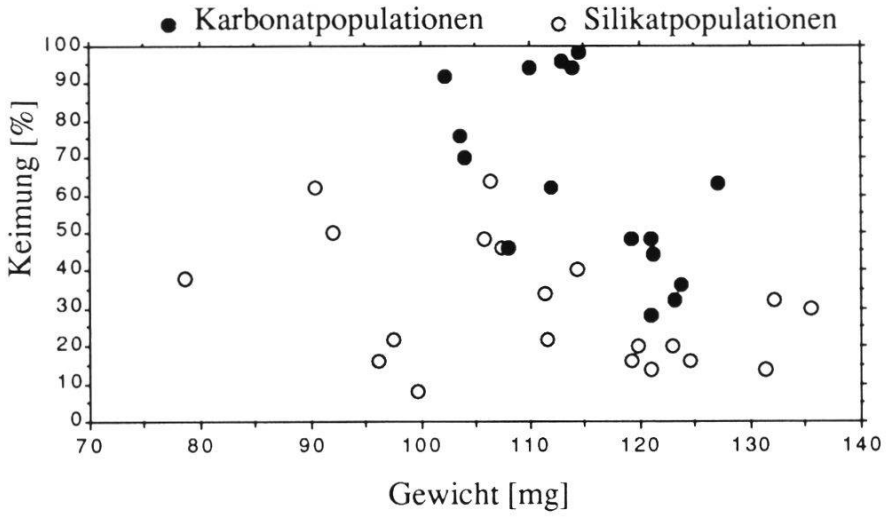


Fig. 31. *Trifolium badium*: Gewicht und Keimung der Samen von Silikat- und Karbonatpopulationen.
Trifolium badium: Seed weight and germination of samples from silicate and carbonate populations.

obachten (Fig. 32): Das Gewicht der Samen von den Silikatpopulationen schwankte zwischen 120 mg und 164 mg, die Samen der Karbonatpopulationen deckte einen Bereich von 165mg bis 238 mg ab.

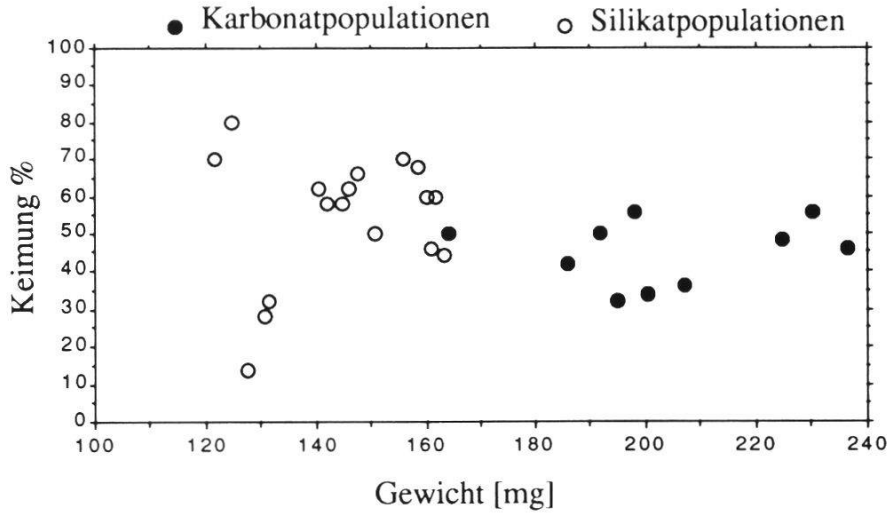


Fig. 32. *Lotus alpinus*: Gewicht und Keimung der Samen von Silikat- und Karbonatpopulationen.
Lotus alpinus: Seed weight and germination of samples from silicate and carbonate populations.

4.2.9. Samenverhalten im Verlaufe der Zeit

4.2.9.1. Keimung mit zunehmendem Samenalter

Bei der Berechnung der Mittelwerte der Keimungsraten aus allen Versuchsserien wurde darauf geachtet, dass bei einigen Arten die Lebensfähigkeit im Laufe von drei Jahren ebenfalls abnehmen kann. Die Daten wurden so korrigiert, dass sie wirklich die Keimfähigkeit repräsentieren sollten. Alle Samen, die nicht keimten, wurden als ruhend betrachtet.
Die Veränderungen im Laufe der Zeit, der im Kühlschrank gelagerten Samen, erwiesen sich als recht gering. Trotzdem liessen sich gewisse Tendenzen feststellen (Fig. 33). Im allgemeinen schien die Keimfähigkeit bei denjenigen Samen, die eine starke Keimruhe aufwiesen, eher zuzunehmen. Bei den Arten mit schwacher Keimruhe und entsprechend hoher Keimfähigkeit nahm diese eher ab.

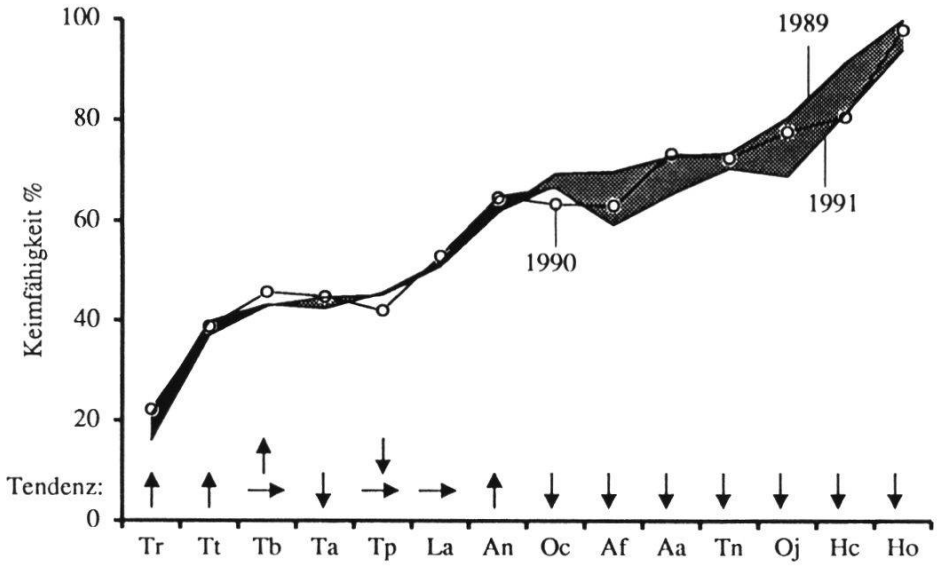


Fig. 33. Keimfähigkeit im Verlaufe der Zeit. Mittelwerte der Daten aus den jährlichen Wiederholungen verschiedenster Populationen aller untersuchten Leguminosenarten.
Germinating behaviour with increasing age of seeds. Mean values of the annual trials.
Tendenz der Keimfähigkeit - *Trend of the germination*
↓ abnehmend - *decreasing*, ↑ steigend - *increasing*, → gleichbleibend - *constant*
Aa = *Astragalus alpinus*, Af = *Astragalus frigidus*, An = *Anthyllis alpestris*, Hc = *Hippocrepis comosa*, Ho = *Hedysarum obscurum*, La = *Lotus alpinus*, Oc = *Oxytropis campestris*, Oj = *Oxytropis jacquinii*, Ta = *Trifolium alpinum*, Tb = *Trifolium badium*, Tn = *Trifolium nivale*, Tt = *Trifolium thalii*, Tp = *Trifolium pallescens*, Tr = *Trifolium repens*

4.2.9.2. Lebensfähigkeit mit zunehmendem Samenalter

Die Untersuchungen der Lebensfähigkeit, der im Kühlschrank gelagerten Samen, zeigten, dass Leguminosen über eine hohe und langdauernde Lebensfähigkeit verfügen (Tab. 13). Die Abnahme der Lebensfähigkeit nach einem bzw. zwei Jahren war äusserst gering. Nur bei *Anthyllis alpestris, Hedysarum obscurum, Oxytropis jacquinii* und *Trifolium badium* liess sich eine leichte Einbusse der Lebensfähigkeit von mehr als 2% nachweisen. Einzig bei *Astragalus frigidus* war eine signifikante Abnahme von 13.6% nach drei Jahren nachweisbar.

4.2.9.3. Lebensfähigkeit von skarifizierten Samen

Bei allen Versuchen, wo Samen skarifiziert werden mussten, wurden die Samen in der Regel unmittelbar vor dem Versuchsbeginn behandelt. Für einige Versuche wurde allerdings Material verwendet, das bereits zwei Monate vor dem Versuchsbeginn skarifiziert wurde. An vier Leguminosenarten wurde

Tab. 13. Lebensfähigkeit der 14 Leguminosenarten während drei Jahren. Mittelwerte der verschiedenen Populationen aus der Ernte von 1988.
Viability of the 14 Leguminosae species over three years. Mean values of various population samples in 1988.

Art	Lebensfähigkeit in %			
	1989	1990	1991	Differenz
Astragalus alpinus	99.2	98.4	97.6	1.6
Astragalus frigidus	96.0	95.2	82.4	13.6
Anthyllis alpestris	100	97.5	99.5	2.5
Hedysarum obscurum	99.3	97.3	98.0	2.0
Hippocrepis comosa	93.3	92.7	92.0	1.3
Lotus alpinus	99.1	99.3	97.6	1.7
Oxytropis campestris	98.0	97.6	96.9	1.1
Oxytropis jacquinii	98.0	95.0	96.8	3.0
Trifolium alpinum	100	99.7	100	0.3
Trifolium badium	99.1	97.2	94.6	4.5
Trifolium nivale	99.6	98.0	98.2	1.6
Trifolium pallescens	100	99.0	99.7	1.0
Trifolium repens	100	99.3	99.3	0.7
Trifolium thalii	100	99.4	100	0.6

nun getestet, ob das Lagern von skarifizierten Samen bei 4°C allenfalls einen Einfluss haben könnte.
Diese Versuche bestätigen weiter, dass die Lebensfähigkeit der *Trifolium*-Arten sehr stark ist (Fig. 34). Auch nach zwei Jahren war bei *Trifolium badium*

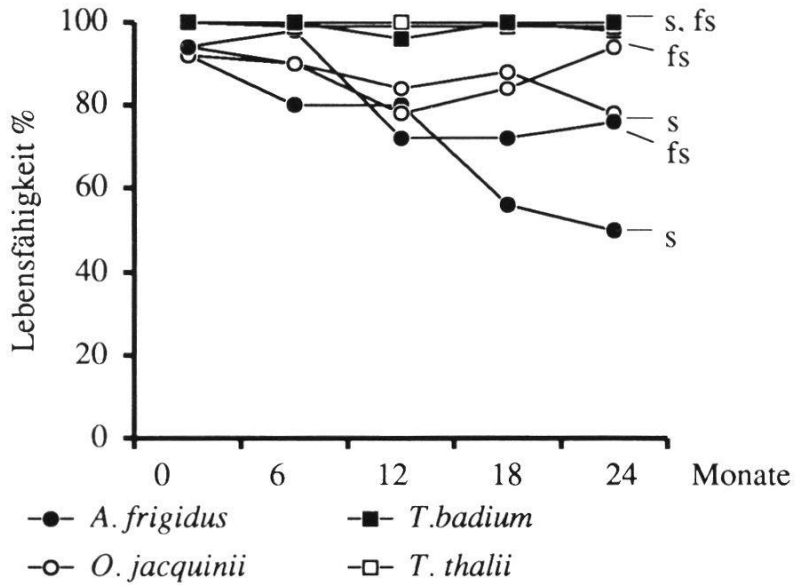


Fig. 34. Lebensfähigkeit von frisch skarifizierten (fs) und skarifiziert gelagerteren (s) Samen.
Viability of freshly scarified seeds (fs) and scarified (s) seeds stored over a time period.

und *T. thalii* sowohl bei frisch skarifizierten wie bei skarifiziert gelagerten Samen kein Nachlassen der Keimfähigkeit feststellbar. Die Samen von *Oxytropis jacquinii* und *Astragalus frigidus* verloren ihre Lebensfähigkeit im Laufe der Zeit, dabei war die Abnahme bei den skarifiziert gelagerten Samen stärker. Dieser Effekt war aber erst nach zwei Jahren signifikant. Über einige Monate war kein Unterschied zwischen frisch skarifizierten und skarifiziert gelagerten Samen nachweisbar.

4.2.9.4. Lebensfähigkeit bei verschiedener Lagerung

Die Lebensfähigkeit der Leguminosensamen hat sich je nach Art und nach Lagerung als verschieden erwiesen (Fig. 35). Von den vier untersuchten Arten verfügten offenbar die kleinen Samen von *Trifolium badium* und *T. thalii* über eine langdauernde Lebensfähigkeit: Sie keimten auch nach drei Jahren im Boden vergraben oder im Kühlschrank gelagert zu 100%. Nur bei der Lagerung bei Zimmertemperatur liess sich ein geringer Verlust an Lebensfähigkeit nachweisen. Dagegen zeigten die grossen Samen von *A. frigidus* und *O. jacquinii* bei allen Lagerungsarten bereits nach einem Jahr einen deutlichen Verlust an Lebensfähigkeit. Die Lagerung im Boden schnitt dabei deutlich am besten ab, gefolgt von der Lagerung im Kühlschrank. Bei Zimmertemperatur waren nach drei Jahren keine Samen mehr keimfähig.

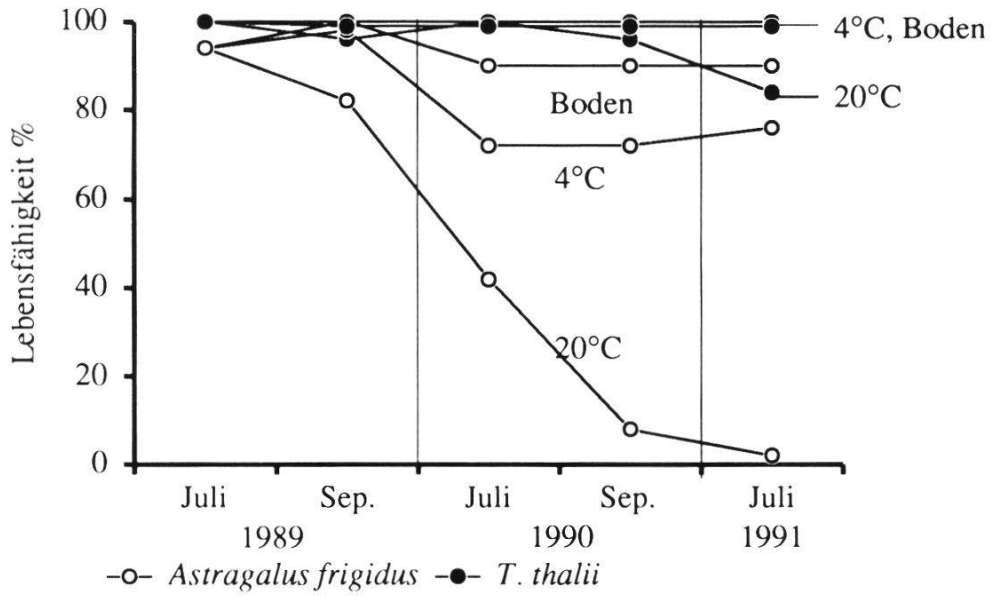


Fig. 35. Lebensfähigkeit verschieden gelagerter Samen von *Astragalus frigidus* und *Trifolium thalii* im Boden, im Kühlschrank und bei Zimmertemperatur.
Seed viability of Astragalus frigidus and Trifolium thalli in different storages in the soil, in a refrigerator and at normal room temperature.

4.2.9.5. Verhalten der Samen im Boden

Die halbjährlich ausgegrabenen Proben, die auf Keimfähigkeit, Lebensfähigkeit und das Auffinden von intakten bzw. gekeimten oder verfaulten Samen geprüft wurden, wiesen auf ein unterschiedliches Verhalten hin. Wiederum zeigten sich Unterschied zwischen kleinen und grossen Samen (Fig. 36 und 37): Die kleinen Samen der beiden *Trifolium*-Arten blieben über die ganze Beobachtungsperiode von 2½ Jahren zu hundert Prozent lebensfähig. Die Keimfähigkeit der Samen schwankte um ein weniges im Laufe der Vegeta-

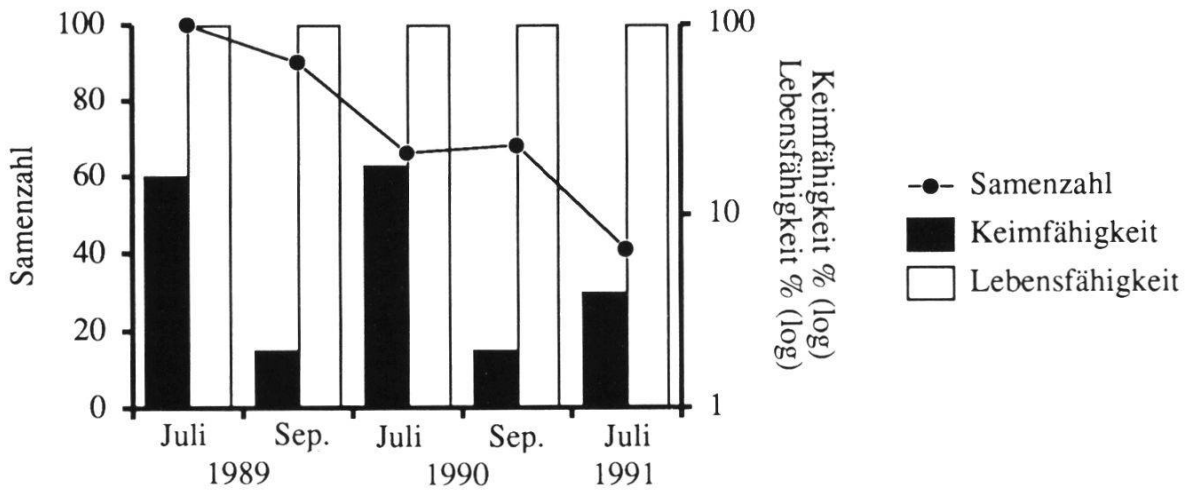


Fig. 36. *Oxytropis jacquinii*: Verhalten der im Boden der Skipiste vergrabenen Samen.
Oxytropis jacquinii: Behaviour of seeds buried in the soil of a ski run.

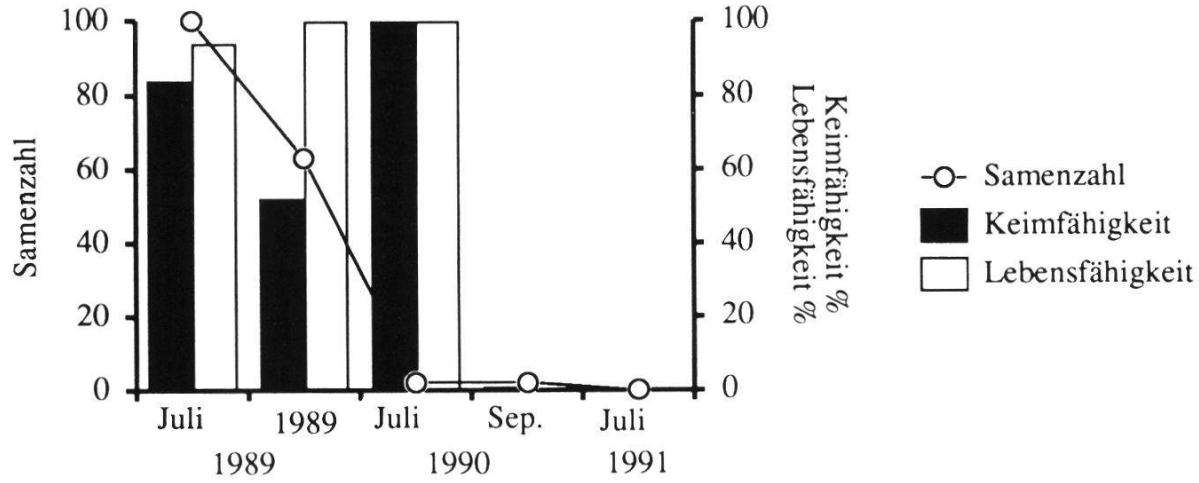


Fig. 37. *Trifolium badium*: Verhalten der im Boden der Skipiste vergrabenen Samen.
Trifolium badium: Behaviour of seeds buried in the soil of a ski run.

Fig. 38. *Oxytropis jacquinii.* Oben: Samen für ein Jahr im Boden vergraben; unten: Samen im Kühlschrank gelagert.
Oxytropis jacquinii. Above: Seeds buried in the soil for one year; below: Seeds stored in the refrigerator.

tionsperiode: Im Juli war die Keimfähigkeit etwas höher als im September desselben Jahres. Pro Jahr keimten etwa 30% der vorhandenen Samen.
Die grossen Samen von *Oxytropis jacquinii* und *Astragalus frigidus* zeigten nur eine geringe angeborene Keimruhe. Bei *O. jacquinii* konnte schon zu Beginn eine Keimfähigkeit von 84% beobachtet werden, die aber später im Jahr auf 52% abfiel. Im darauffolgenden Jahr wurde eine 100% Keimfähigkeit festgestellt.
Entsprechend verlief auch das Auffinden von ungekeimten Samen: Schon im September des ersten Jahres hatten etwa 40% der Samen gekeimt. Im darauffolgenden Jahr keimten alle Samen.
Bei den aufgefundenen Samen von *O. jacquinii* liess sich insbesondere die Auflösung bzw. der Abbau der harten, wasserundurchlässigen Samenschale durch Bodenorganismen gut beobachten (Fig. 38).

4.2.10. Jungpflanzenentwicklung

4.2.10.1. Entwicklung neuer Triebe (Ramets)

Die Entwicklung der Jungpflanzen aus Keimlingen wurde unter standardisier-

ten Bedingungen (vgl. Kap. 3.5.2.1.) untersucht. Betrachtet man die Entwicklung der Pflanzen, die aus Samen von Karbonat- bzw. Silikatpopulationen hervorgegangen waren, so fallen zum Teil recht grosse Unterschiede auf. Diese Unterschiede waren optisch noch viel augenfälliger. Eine Gesetzmässigkeit bezüglich der beiden verschiedenen Substraten liess sich aber nicht ableiten. Bei *Anthyllis alpestris, Trifolium badium* und *T. nivale* wuchsen jeweils die Pflanzen, die von Samen der Karbonatpopulationen hervorgegangen waren, üppiger. Bei *Astragalus frigidus, Lotus alpinus* und *Trifolium thalii* war bei den Pflanzen der Silikatpopulationen ein zum Teil deutlich grösserer Rametzuwachs zu beobachten (Tab. 14).
Aufgrund der Entwicklung neuer Triebe liessen sich drei Gruppen abgrenzen:
Gruppe a: Zu dieser Gruppe gehören *Anthyllis alpestris, Astragalus alpinus, Lotus alpinus, Trifolium pallescens* und *T. repens*. Die Pflanzen wuchsen sowohl oberirdisch wie auch unterirdisch sehr üppig. Es wurde eine grosse Anzahl neuer Triebe gebildet. Die Vertreter diese Gruppe verfügten also über ein sehr gutes und ausgewogenes expansives Wachstum.

Tab. 14. Jungpflanzenentwicklung der 14 Leguminosenarten von Karbonat- und Silikatstandorten. Zunahme der Anzahl Triebe (Ramets) in 100 Tagen.
Development of the 14 Leguminosae species from carbonate and silicate. Increase in the number of ramets within 100 days.

Art	Herkunft	Anzahl Triebe von 100 Pflanzen nach		
		50	75	100 Tagen
Anthyllis alpestris	Ca	100	426	532
Astragalus alpinus	Ca	100	194	755
Astragalus alpinus	Si	113	177	690
Astragalus frigidus	Ca	100	104	107
Astragalus frigidus	Si	100	113	115
Hedysarum obscurum	Ca	100	172	212
Hippocrepis comosa	Ca	100	224	378
Lotus alpinus	Ca	269	544	842
Lotus alpinus	Si	302	598	935
Oxytropis campestris	Ca	100	100	101
Oxytropis campestris	Si	100	101	102
Oxytropis jacquinii	Ca	100	100	100
Oxytropis jacquinii	Si	100	100	105
Trifolium alpinum	Si	100	100	100
Trifolium badium	Ca	100	152	343
Trifolium badium	Si	100	109	211
Trifolium nivale	Ca	100	104	185
Trifolium nivale	Si	100	102	161
Trifolium pallescens	Si	100	195	452
Trifolium repens	Si	179	357	472
Trifolium thalii	Ca	100	159	251
Trifolium thalii	Si	103	187	315

Gruppe b: Bei *Hedysarum obscurum, Hippocrepis comosa, Trifolium badium, T. nivale* und *T. thalii* war ebenfalls ein recht gutes ober- und unterirdisches Wachstum zu beobachten. Insgesamt wurden aber weniger neue Triebe gebildet. Das expansive Wachstum war damit eher mässig.
Gruppe c: Hier gehören *Astragalus frigidus, Oxytropis campestris, O. jacquinii* und *Trifolium alpinus* dazu. Diese Pflanzen wuchsen eher langsam und investierten hauptsächlich in die tiefe und bald verholzende Pfahlwurzel. Das oberirdische Wachstum war eher spärlich. Es wurde kein oder bestenfalls ein zusätzlicher Trieb gebildet. Das expansive Wachstum war oberirdisch sehr gering, unterirdisch dagegen wesentlich höher.
Die Gruppen a, b und c, die aufgrund des Rametzuwachses gebildet werden konnten, repräsentieren auch sehr deutlich die "Guerilla" und "Phalanx"-Wachstumsstrategien. In der Gruppe (a) befinden sich alles Pflanzen mit Guerilla-Strategie, mit Ausnahme von *Anthyllis alpestris*, welche eine Phalanx-Strategie mit Sprossverbandsrosetten aufweist. Zur Gruppe (b) gehören ausschliesslich Pflanzen mit Phalanx-Strategie und Sprossverbandsrosetten. In der Gruppe (c) sind alle Phalanx-Pflanzen mit Sprossrosetten und Pfahlwurzeln vereinigt.
Die Entwicklung eines typischen Vertreters jeder Gruppe ist im folgenden dargestellt.
Lotus alpinus (Gruppe a): Die Pflanzen zeichneten sich durch ein rasches Wachstum aus. Der mittelgrosse Keimling mit den charakteristischen runden Keimblättern bildete schon nach 20 Tagen die ersten Primärblätter. Nach 40 Tagen wurden die ersten Seitentriebe gebildet und am Ende der Beobachtungszeit waren rund 10 kriechende Triebe vorhanden. Die Wurzelmasse, die sich ebenso rasch entwickelte, bestand aus einer starken, schnell in die Tiefe wachsenden Hauptwurzel und vielen, wenig verzweigten Seitenwurzeln (Fig. 39). Nach 176 Tagen wurden die ersten Blüten beobachtet. Es folgte eine grosse Anzahl weiterer Blüten.
Trifolium badium (Gruppe b): Das Wachstum erfolgte rasch und kontinuierlich. Die oberidischen und die unterirdischen Pflanzenteile entwickelten sich etwa gleich kräftig. Auf die schmalen Keimblätter folgte nach rund 15 Tagen das erste Primärblatt. Nach 20 Tagen wurde bereits das erste dreiteilige Blatt gebildet, dem kontinuierlich weitere Blätter folgten. Erst nach rund 80 Tagen bildeten sich die ersten Seitentriebe, so dass nach 100 Tagen pro Pflanze 2-3 Triebe vorhanden waren. Der ausgeprägte Wurzelballen zeichnete sich durch ein starkes, verzweigtes Rhizom mit zahlreichen Seitenwurzeln aus. Die ersten Blüten konnten nach 130 Tagen beobachtet werden (Fig. 40).

Astragalus frigidus (Gruppe c): Die oberirdische Entwicklung der Pflanze erfolgte äusserst langsam. Der Keimling entwickelte einen Trieb, an dem sich einige wenige Blätter bildeten. Zwischen dem 75. und 100. Tag bildeten einige Pflanzen einen zweiten Trieb aus, die oberirdische Biomasse blieb aber trotzdem eher gering. Die Wurzel bildete sich zu einem langen Rhizom aus, das bereits nach 50 Tagen verholzte. Während der Beobachtungsperiode wurde keine Blütenbildung beobachtet (Fig. 41).

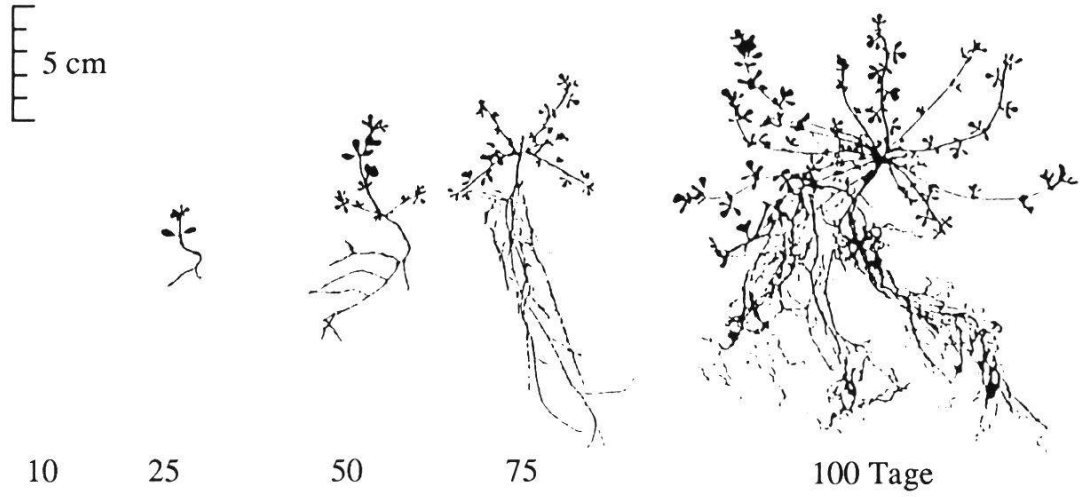


Fig. 39. *Lotus alpinus*: Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen.
Lotus alpinus: Development of young plants under controlled conditions.

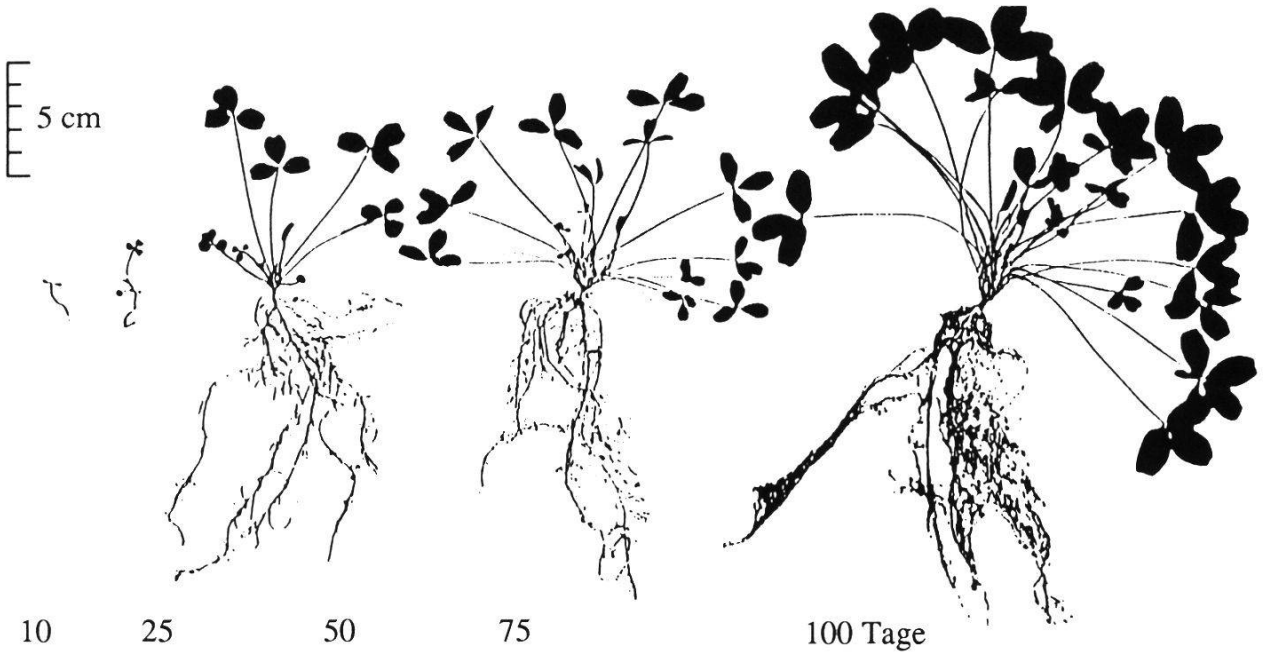


Fig. 40. *Trifolium badium*: Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen.
Trifolium badium: Development of young plants under controlled conditions.

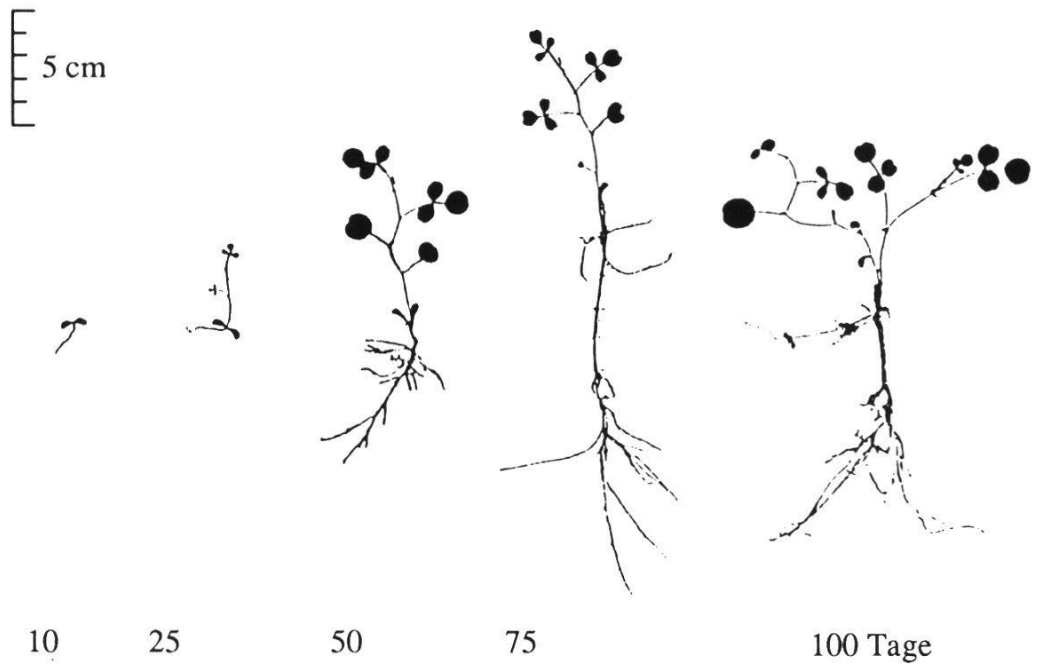


Fig. 41. *Astragalus frigidus*: Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen.
Astragalus frigidus: Development of young plants under controlled conditions.

4.2.10.2. Versuche mit verschiedenen Substraten

Die Entwicklung der Jungpflanzen bei Zugabe von verschiedenen Substraten verlief in der Klimakammer ähnlich (Fig. 42).
Unter den verwendeten, verschiedenen Substraten bildeten die beiden Kontrollen, gesiebte und humusarme Feinerde vom Jakobshorn und reine Gartenerde (Triohum®) die Extremwerte. In der nährstoffarmen Feinerde war die Entwicklung von neuen Trieben äusserst langsam. Trotzdem überlebten die allermeisten Keimlinge und wuchsen, wenn auch langsam, zu Jungpflanzen heran. Die nährstoffreiche Gartenerde stellte unter konkurrenzfreien Laborbedingungen ein gutes Substrat dar. Alle Keimlinge überlebten und das allgemeine Wachstum und die Bildung neuer Triebe war bei den Jungpflanzen sehr ausgeprägt. Die Wirkung der oberflächlichen Zugabe von umgerechnet einem Kilogramm Substrat pro Quadratmeter lieferte die folgenden Resultate: Das Überleben war bei beiden Substraten (Triohum® und Terraverde®) gleich gut oder etwas besser als bei der Kontrolle mit Skipistenerde. Die Pflanzen zeigten allgemein ein besseres Wachstum und eine vermehrte Neubildung von Tochtertrieben (Ramets). Die Anzahl Ramets war nach 100 Tagen etwa doppelt so hoch wie bei den Pflanzen in reiner Skipistenerde und ungefähr halb so gross wie bei denjenigen in reiner, gedüngten Gartenerde (Fig. 42).
Obwohl die Graphik (Fig. 42) den Schluss nahelegt, dass eine Düngung bzw.

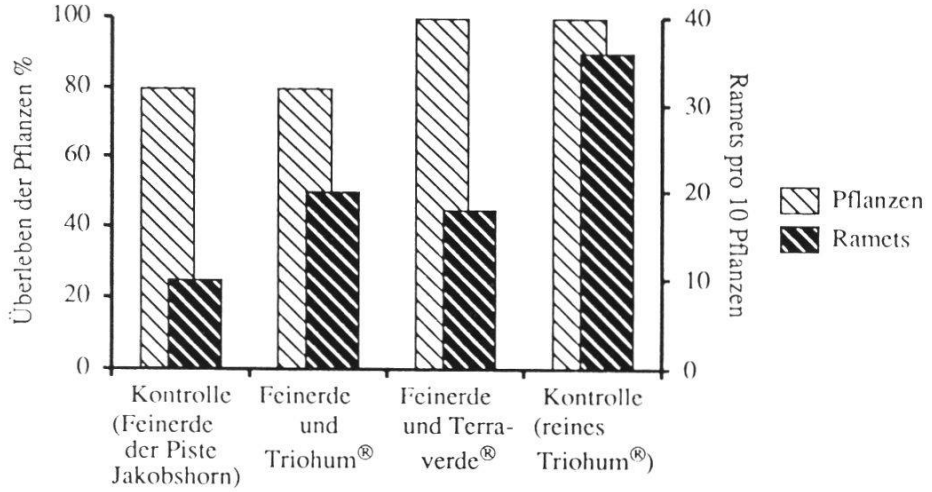


Fig. 42. *Trifolium thalii:* Überleben und Rametzuwachs bei Zugabe von unterschiedlichen Substraten nach 100 Tagen.
Trifolium thalii: Survival and growth of new ramets in 100 days with different soils added.

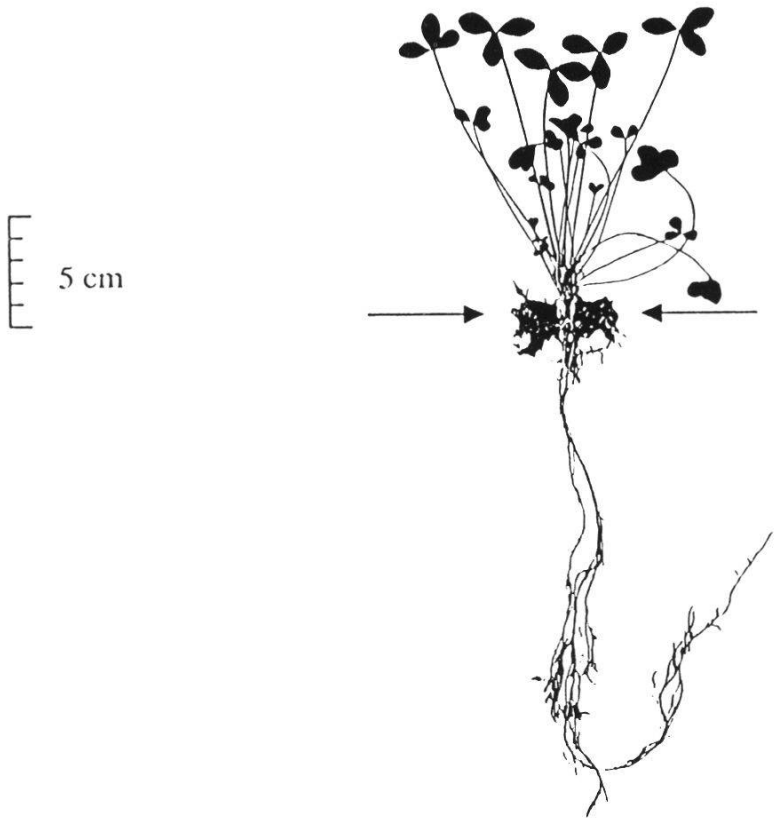


Fig. 43. *Trifolium badium:* Jungpflanze nach 100 Tagen in Versuchen mit oberflächlicher Zugabe von Gartenerde (Triohum®). Starke Wurzelbildung im obersten Teil.
Trifolium badium: Young plant after 100 days in trials with addition of garden soil (Triohum®) on the surface. Many roots in the upper part.

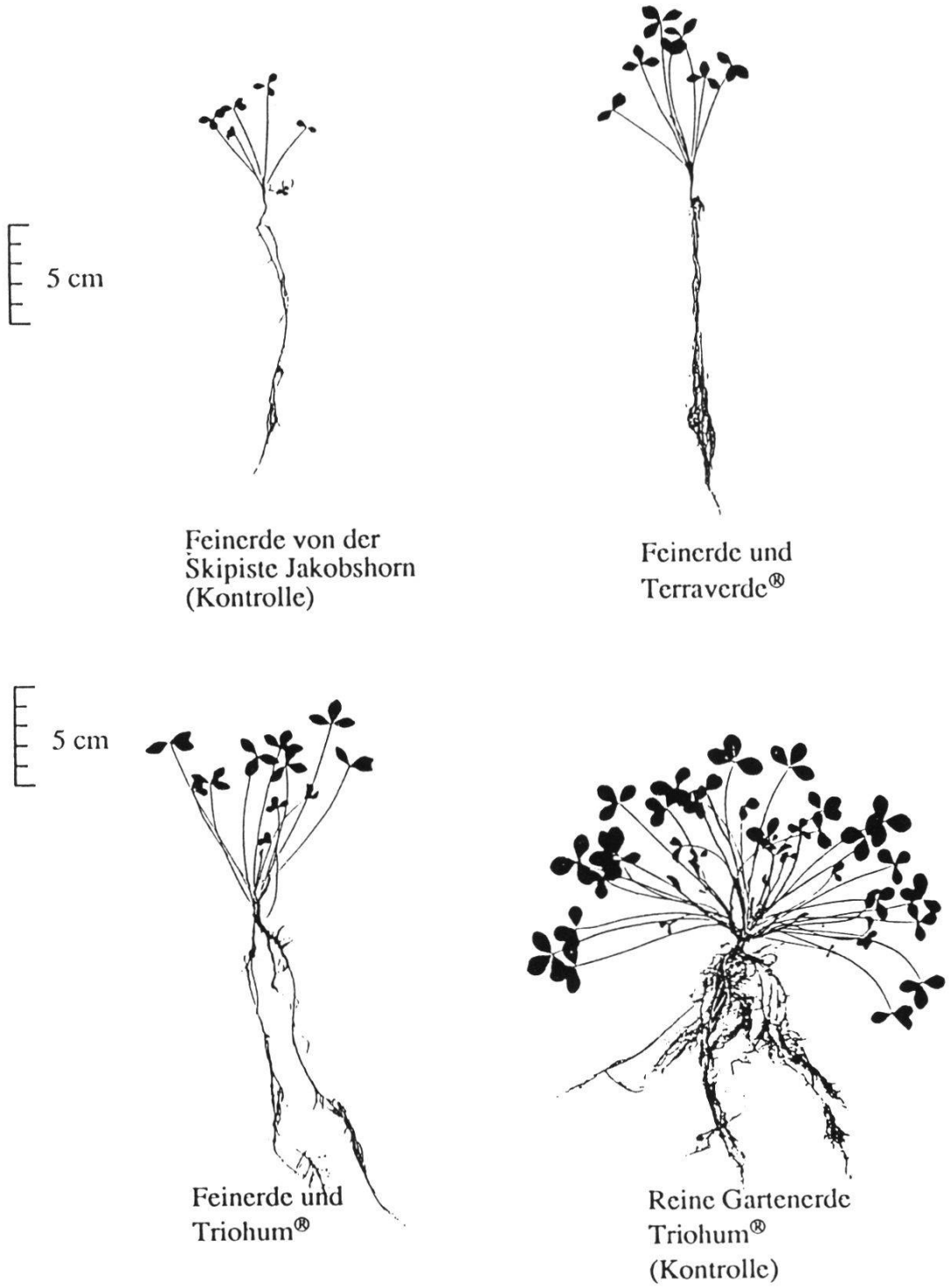


Fig. 44. *Trifolium thalii:* Jungpflanzen nach 100 Tagen in Versuchen mit oberflächlicher Zugabe von Substrat (Triohum®, Terraverde®) auf gesiebte Skipistenerde des Jakobshorns und in Gartenerde (Triohum®).
Trifolium thalii: Young plants after 100 days in trials with addition of substrate (Triohum®, Terraverde®) on soil collected at the ski run Jakobshorn and in garden soil (Triohum®).

eine Zugabe von humusreichem Bodensubstrat wenig bringt, darf die Steigerung der Bildung neuer Triebe und des generellen Wachstum nicht unterschätzt werden. Anhand des Beispieles von *Trifolium thalii* wird dies deutlich (Fig. 44). Die Pflanzen, denen ein wenig Bodensubstrat zugegeben worden ist, wiesen eine deutlich grössere Biomasse auf. Sowohl der oberirdische Teil wie auch die Wurzelmasse waren deutlich grösser.
Im Bereich der Wurzeln wird allerdings auch ein generelles Problem bei Düngungen offensichtlich. Die Wurzeln breiteten sich vor allem in den nährstoffreichen Bereichen aus; bei oberflächlicher Ausstreuung von düngerhaltigen Bodensubstraten also vor allem an oder direkt unter der Oberfläche. Am Beispiel von *Trifolium badium* war dies deutlich sichtbar (Fig. 43).

4.3. UNTERSUCHUNGEN IM FELDE

4.3.1. Mikroklima und Bodenuntersuchungen

4.3.1.1. Der Boden auf der Strela

Das Bodenprofil auf der unplanierten Skipiste wies deutlich unterscheidbare Horizonte auf. Der oberste Ah-Horizont war humus- und feinerdereich. Dieser Horizont war stark durchwurzelt. Der B-Horizont war kieshaltiger. Es wurden nur noch vereinzelt Wurzeln gefunden. Bereits in 30-40 cm traf man auf anstehenden Fels (Fig. 45).
Im Profil auf der planierten Skipiste waren dagegen keine Horizontgrenzen auszumachen. Von der Oberfläche bis zum anstehenden Fels war ein mehr oder weniger homogenes Gemisch aus Geröll, Kies und Feinerde vorhanden. Wurzeln, soweit überhaupt Vegetation vorhanden war, waren ebenfalls gleichmässig verteilt (Fig. 45).
Die Resultate aus den genaueren Bodenanalysen bestätigen das Bild des Bodenprofils. Auf der unplanierten Skipiste war der höchste Schluff- und Tonanteil im Ah-Horizont direkt unter der Bodenoberfäche zu finden. Der Anteil an organischem Kohlenstoff war dort recht hoch und damit zusammenhängend wurden die grössten Konzentrationen an Phosphat und Stickstoff ebenfalls in diesem Horizont gefunden (Tab. 15).
Auf der planierten Fläche war insgesamt wiederum eine homogene Verteilung zu verzeichnen. Die niedrigsten Werte an organischem Kohlenstoff, Phosphat und Stickstoff waren unmittelbar unter der Oberfläche zu finden

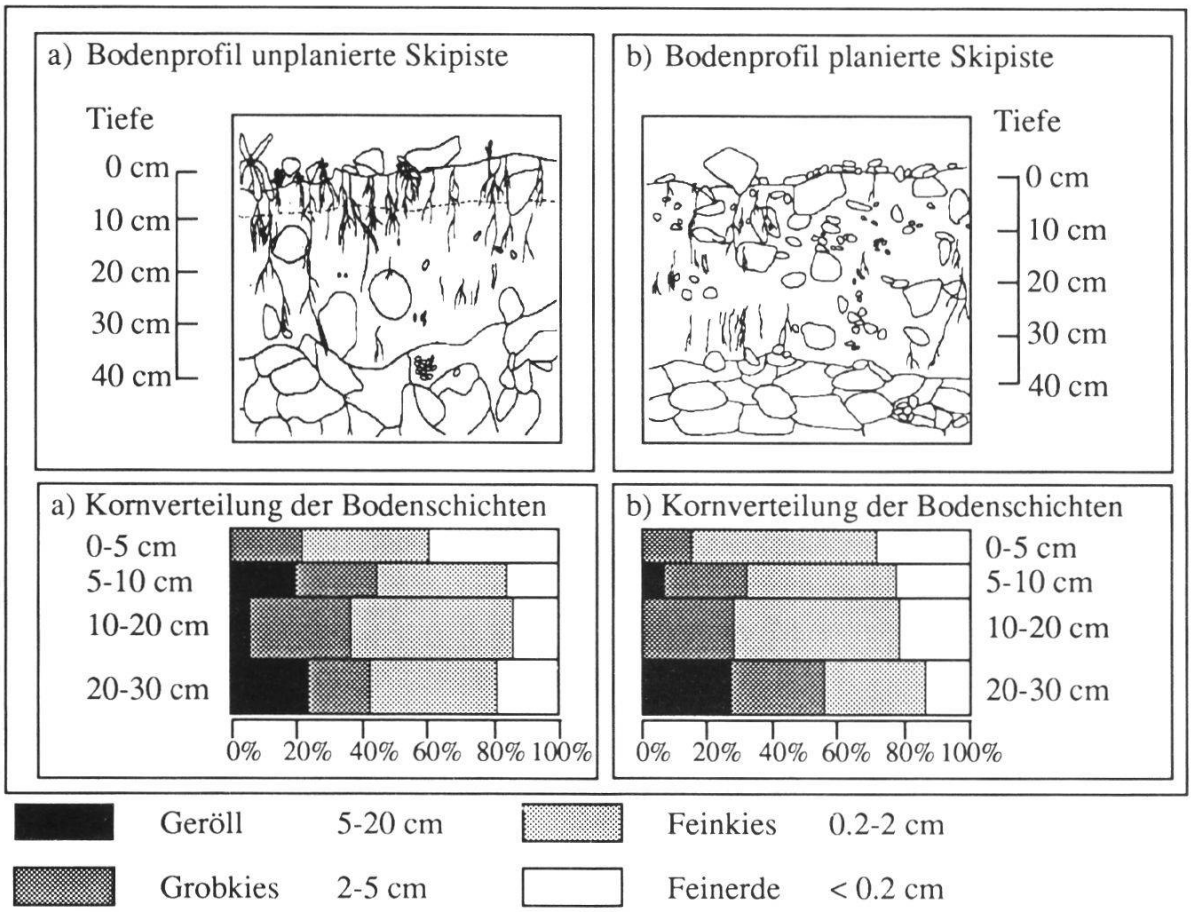


Fig. 45. Der Bodenaufbau einer unplanierten (a) und einer planierten (b) Skipistenfläche auf Dolomit der Strela.
Soil profiles of a non-graded plot (a) and of a graded plot (b) on dolomite at Strela.

Tab. 15. Bodenanalysen auf der unplanierten Skipistenfläche auf der Strela.
Soil analysis on the non-graded ski run at Strela.

Tiefe	Skelett % >2 mm	Feinerde % Sand 2-0.002 mm	% Schluff 10-20 µm	% Schluff 2-10 µm	% Ton < 2 µm				% H	% org.		% N
1 cm	61	0	5	17	17	7.2	6.9	4.71	1.7	7.1	4.24	0.58
5 cm	85	0	2	4	9	7.1	6.8	4.13	1.3	3.4	0.57	0.32
20 cm	86	0.5	2	4.5	7	7.2	6.8	3.02	2.3	9.9	0.40	0.68
40 cm	81	11	4.5	2.5	1	8.2	7.7	0.91	0.2	0	88.8	0.04

Tab. 16. Bodenanalysen auf der planierten Skipistenfläche auf der Strela.
Soil analysis on the graded ski run at Strela.

Tiefe	Skelett % >2 mm	Feinerde % Sand 2-0.002 mm	% Schluff 10-20 µm	% Schluff 2-10 µm	% Ton < 2 µm			PO_4 [mg/100	% H	% org.		% N
1 cm	73	13.5	4.3	3.6	5.6	7.9	7.4	1.68	0.5	0.6	79.2	0.17
5 cm	76	5.6	4.4	7	7	7.6	7.2	3.08	1.2	3.0	14.3	0.34
20 cm	78.5	4.3	4.1	5.6	7.4	7.7	7.3	2.56	1.1	2.5	39.2	0.33
40 cm	86	7.3	1.9	1.8	3	7.8	7.4	1.48	0.5	1.8	73.9	0.27

(Tab. 16). Werden die Werte dieser drei Komponenten auf der unplanierten und der planierten Skipiste miteinander verglichen, so ist auf der planierten Fläche für die Pflanzen etwa zehnmal weniger organisches Material, dreimal weniger Phosphat und zwei- bis dreimal weniger Stickstoff vorhanden.

4.3.1.2. Der Boden auf dem Jakobshorn

Auch auf dem Jakobshorn waren im Profil der unplanierten Skipistenflächen deutliche Horizontgrenzen zu sehen, während auf der planierten Fläche ein homogenes Gemisch vorhanden war.
Der C-Horizont bestand aus einem Gemisch von etwa gleich viel Sand und Geröll. Interessant war auch der farblich stark hervortretende Horizont auf der unplanierten Fläche direkt über dem C-Horizont. Dieser dürfte durch einen Hangrutsch zustande gekommen sein. In diesem Horizont wurden auch besonders viele Wurzeln gefunden (Fig. 46).

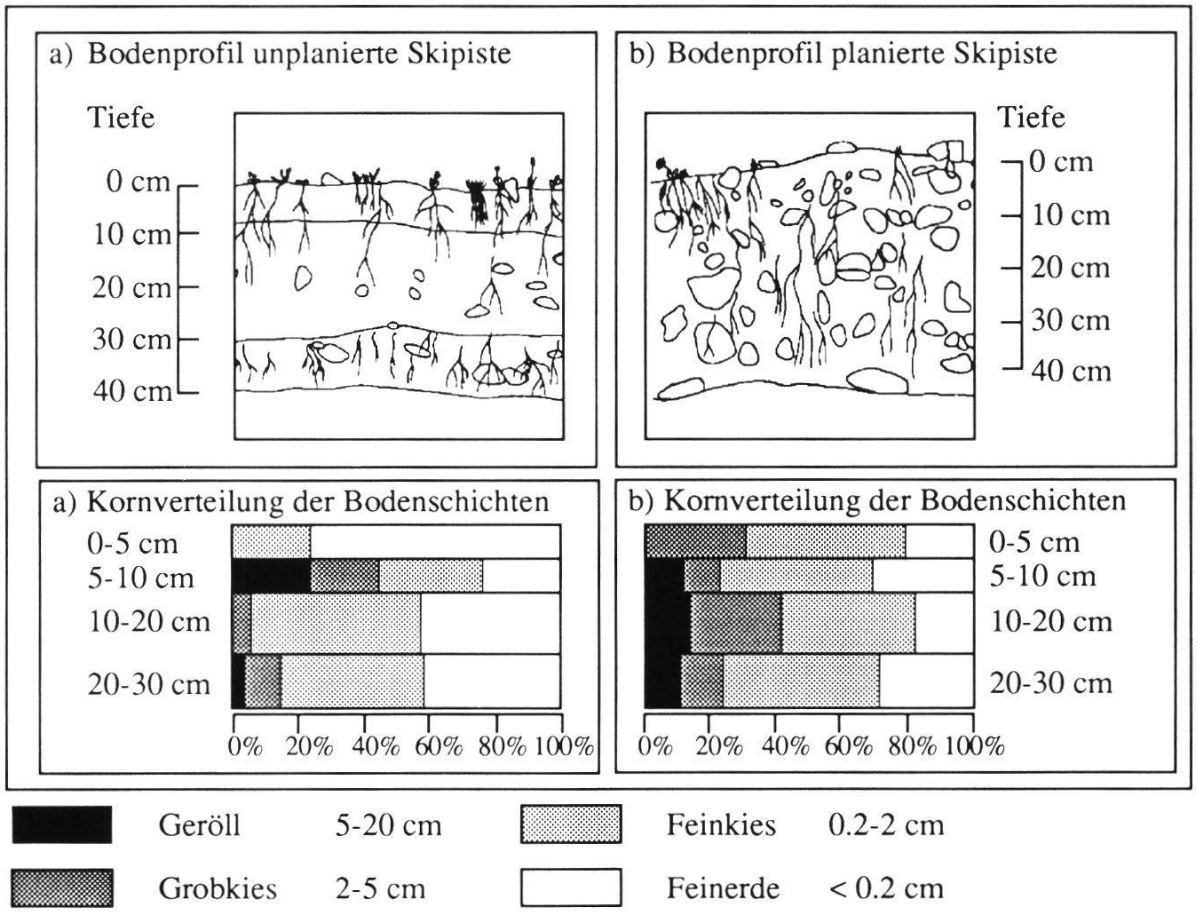


Fig. 46. Der Bodenaufbau einer unplanierten (a) und einer planierten (b) Skipistenfläche auf Silikat des Jakobshornes.
Soil profiles of a non-graded plot (a) and of a graded plot (b) on silicate at Jakobshorn.

Tab. 17. Bodenanalysen auf der unplanierten Skipistenfläche auf dem Jakobshorn.
Soil analysis on the non-graded ski run at Jakobshorn.

Tiefe	Skelett % >2 mm	Feinerde % Sand 2-0.002 mm	% Schluff 10-20 µm	% Schluff 2-10 µm	% Ton < 2 µm	pH (H_2O)	pH($CaCl_2$)	PO_4 [mg/100g]	% H	% org.	% $CaCO_3$	% N
1 cm	22	56	3	5.5	13.5	4.3	3.8	4.39	3.1	19.0	-	0.98
5 cm	74	21.5	2	1.5	1	4.5	4.2	3.84	1.3	6.8	-	0.35
20 cm	58	35	3	2	2	4.2	4.0	3.99	1.6	7.6	-	0.38
40 cm	59	36	1.5	2	1.5	4.6	4.3	3.42	0.7	1.6	-	0.07
50 cm	46	48.5	2.5	1.5	1.5	4.7	4.5	3.77	0.4	0.4	-	0.01

Tab. 18. Bodenanalysen auf der planierten Skipistenfläche auf dem Jakobshorn.
Soil analysis on the graded ski run at Jakobshorn.

Tiefe	Skelett % >2 mm	Feinerde % Sand 2-0.002 mm	% Schluff 10-20 µm	% Schluff 2-10 µm	% Ton < 2 µm	pH (H_2O)	pH($CaCl_2$)	PO_4 [mg/100g]	% H	% org. C	% $CaCO_3$	% N
1 cm	80	16.5	1	1.5	1	4.5	4.2	2.91	0.8	3.1	-	0.16
5 cm	70	26	1	1.5	1.5	4.4	4.3	3.26	1.0	4.4	-	0.21
20 cm	82	15	1	1	1	4.4	4.2	3.75	1.5	8.1	-	0.40
40 cm	70	24	2	2.5	1.5	5.1	4.8	2.67	0.3	0.1	-	0.00

Beim Vergleich der Werte der unplanierten Fläche mit denjenigen der planierten Fläche sind wiederum im obersten Horizont, im Hauptwurzelbereich der Pflanzen, die grössten Unterschiede zu sehen.
Im Oberboden der planierten Flächen befand sich etwa viermal mehr Geröll und Kies, zehnmal weniger Ton und Schluff, sechsmal weniger organischer Kohlenstoff, sechsmal weniger Stickstoff und auch etwas weniger Phosphat (Tab. 17 und 18). Für die Pflanzen sind damit die Bedingungen auf planierten Flächen und unplanierten Flächen von den edaphischen Verhältnissen her sehr verschieden.

4.3.1.3. Temperaturverlauf

Die mikroklimatischen Messungen wurden am 18. und 19. Juli 1989 durchgeführt. Beide Tage waren durchschnittlich warm mit geringer Bewölkung.
Der Temperaturverlauf auf der unplanierten, bewachsenen Fläche war direkt an der Oberfläche am extremsten. Die Temperaturamplitude zwischen Tag und Nacht betrug im Durchschnitt 27°C. Der höchste gemessene Wert betrug 54°C und der tiefste -2°C. Dies wurde wohl durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der Vegetation bedingt. Die Bodentemperatur blieb über den ganzen

Tag sehr ausgeglichen. Die Temperaturamplitude betrug lediglich 5°C. Der höchste gemessene Wert war 12.3°C, der tiefste 7°C. Zwischen den Sonden in 10 cm und 20 cm Tiefe waren kaum Unterschiede festzustellen (Fig. 47).

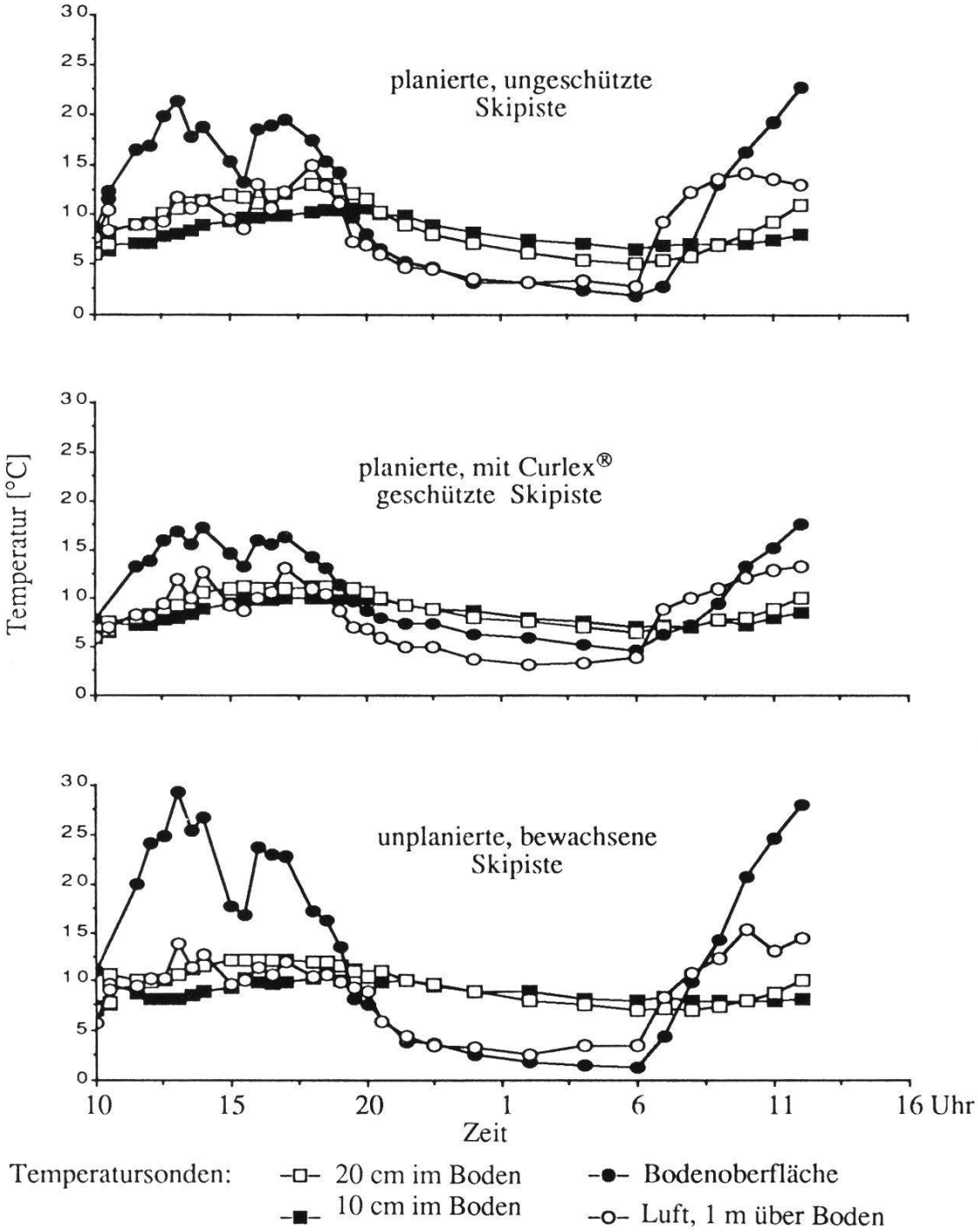


Fig. 47. Temperaturverlauf auf der Strela; planierte Skipiste, mit Curlex® geschützte Versuchsflächen und Vegetation daneben.
Daily temperature fluctuations at Strela; graded ski run, Curlex® protected plots and vegetation nearby.

Auf der ungeschützten, planierten Skipiste war die Oberflächentemperaturamplitude durch die bessere Wärmeleitfähigkeit des vegetationslosen Pistenbodens geringer. Die durchschnittliche Amplitude betrug nur 20°C mit einem Maximum von 28°C, und einem Minimum von 3°C. Im Boden war ein höherer Temperaturunterschied von durchschnittlich 8°C zwischen Tag und Nacht zu verzeichnen. Durch die Bedeckung der Aussaatflächen auf der planierten Flächen mit Curlex war eine geringere Abkühlung der Bodenoberfläche verglichen mit der Luft zu verzeichnen. Im Durchschnitt schwankte die Temperatur um 16°C. Der niedrigste gemessene Wert betrug 3°C, der höchste 22.6°C. Auffällig ist die deutlich geringere Auskühlung während der Nacht. Auch die Temperaturamplitude im Boden war verglichen mit der ungeschützten Skipistenplanierung etwas geringer. Sie betrug im Durchschnitt 7°C (Fig. 47). Durch die Curlexdecke sind Keimlinge und Jungpflanzen also etwas vor Frösten und extremen Temperaturunterschieden geschützt.

4.3.1.4. Strahlungsverlauf

Bezüglich der eintreffenden Sonnenstrahlung konnten zwischen der planierten und bewachsenen, unplanierten Skipiste keine Unterschiede festgestellt werden. Da die Curlexdecke die Pflanzen beschattet, steht auf diesen Flächen nur etwa ein Drittel bis maximal die Hälfte der Sonnenstrahlung für die Photosynthese zur Verfügung (Fig. 48).

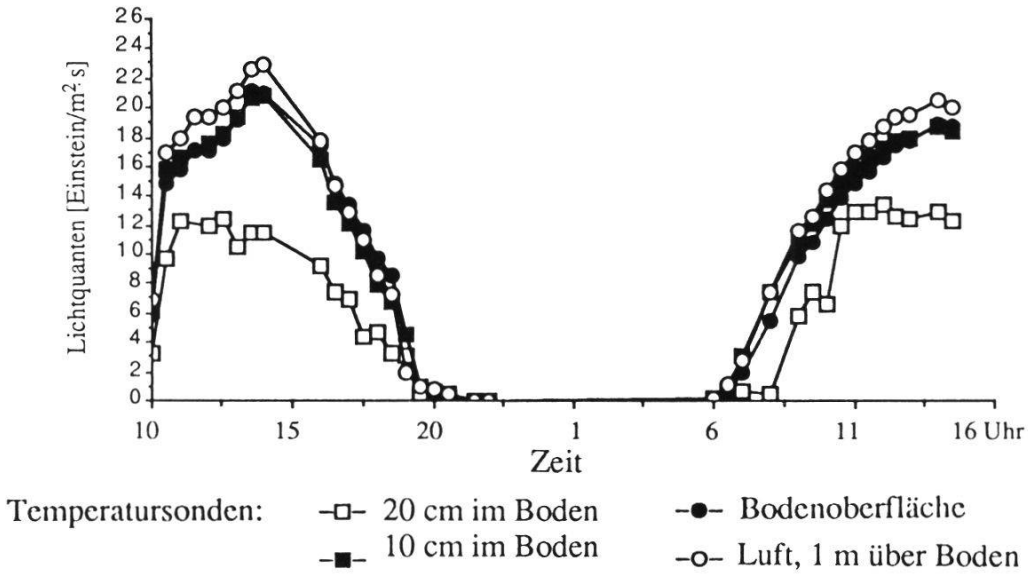


Fig. 48. Momentanwerte der Quantenfühler auf verschiedenen Flächen im Tagesverlauf.
Momentary values of the quantum sensors in different plots within one day.

4.3.1.5. Bodenfeuchtigkeit

Der Wassergehalt des Oberbodens, mit der Time Domaine Reflectometrie (TDR)-Methode erfasst, erwies sich auf der planierten Skipiste als äusserst gering. Diese Ergebnisse stimmen mit den Angaben bezüglich des Bodenprofils überein. Verglichen mit den Werten des mit Vegetation bewachsenen Bodens ergab sich ein dreifach schlechteres Wasserrückhaltevermögen. Durch die Curlex®-Decke, die etwas Wasser aufnehmen kann, liess sich die Situation auf der planierten, unbewachsenen Skipiste nur geringfügig verbessern (Fig. 49).

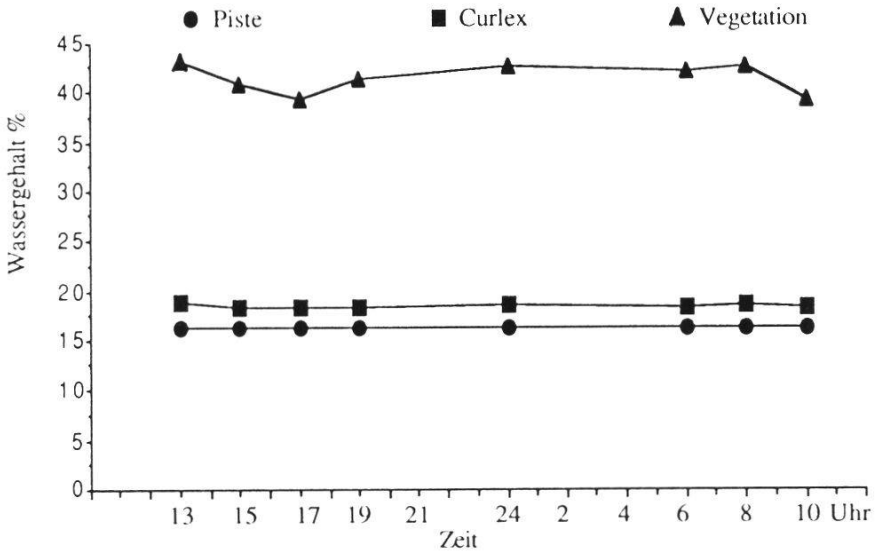
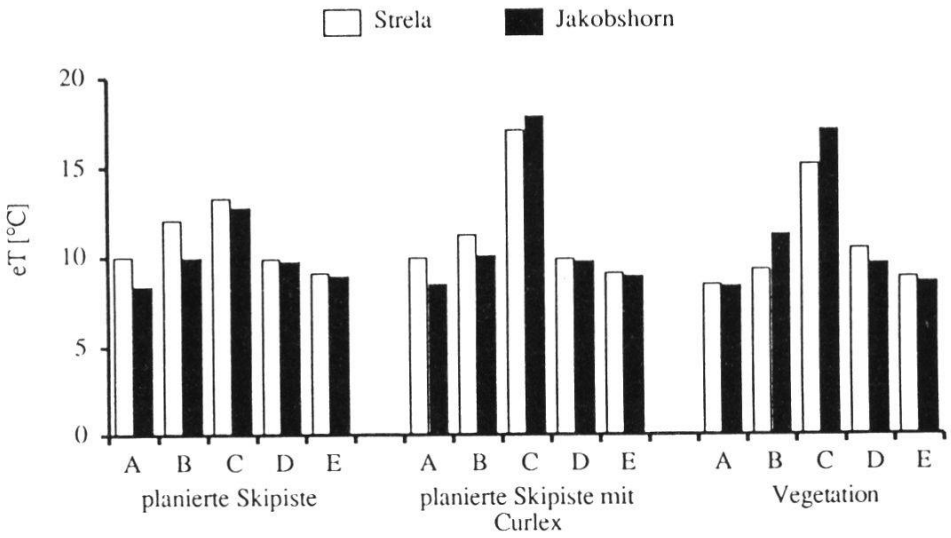


Fig. 49. Verlauf des Bodenwassergehaltes während eines Tages.
Fluctuations in soil water content within one day.

4.3.1.6. Exponentielle Mitteltemperaturen, Wärmesummen

Die exponentiellen Mitteltemperaturen und damit die Wärmesummen über die drei Sommermonate waren direkt an der Oberfläche am grössten. Auffallend waren dabei die recht hohen Werte auf den bewachsenen und den mit Curlex® geschützten Flächen. Die Vegetation und das Curlex® wirken offenbar isolierend, so dass sich die Zuckerampullen besser erwärmen konnten beziehungsweise ihre Wärme schlechter abgeben konnten.
Die Wärmemenge im Boden zeigte auf der Strela und dem Jakobshorn gegensätzliche Tendenzen: Auf dem Jakobshorn war die Wärmemenge im Oberboden der Vegetation grösser als auf den beiden Skipistenflächen. Auf der Strela dagegen war es in der Vegetation deutlich kühler als auf der Fläche mit



A = 10 cm im Boden, B = 1 cm im Boden, C = auf dem Boden, D = 30 cm über Boden, E = 1 m über Boden.

Fig. 50. Exponentielle Temperaturmittel während der Vegetationsperiode (Juli-September) auf verschiedenen Versuchsflächen und in verschiedenen Höhen.

Exponential mean temperatures within the growth period (July-September) on different experimental plots at different heights.

Curlex®. Die höchste Wärmemenge im Boden wurde auf den ungeschützten Skipistenflächen gefunden (Fig. 50).

Der Vergleich der Durchschnitte der Mitteltemperaturen auf der Strela und dem Jakobshorn zeigt, dass die Wärmemenge auf der Strela um ein geringfügiges grösser ist als auf dem Jakobshorn (Fig. 52). Dies erstaunt nicht, ist doch die Versuchsfläche auf der Strela nach Südosten exponiert, die Flächen auf dem Jakobshorn dagegen nach Nordwesten. Die Sonneneinstrahlung war

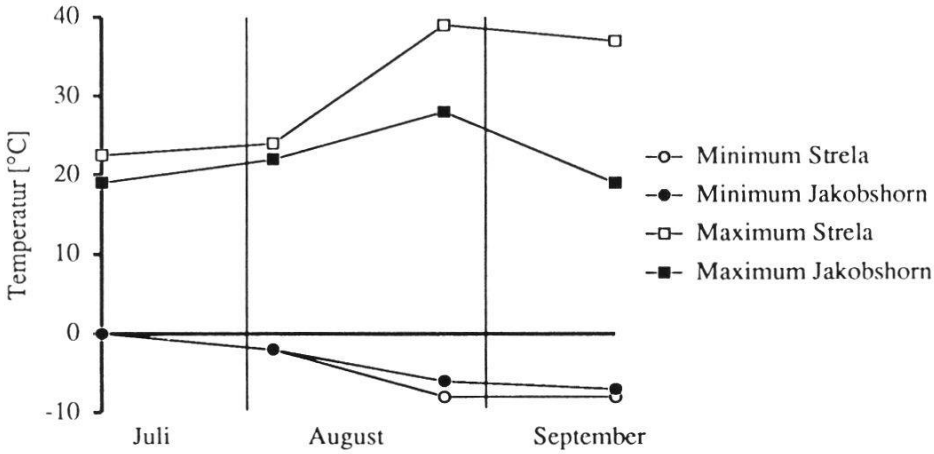


Fig. 51. Maximum- und Minimum-Temperaturen auf der Strela und dem Jakobshorn im Sommer 1989.

Maximum and minimum temperatures at Strela and Jakobshorn in summer 1989.

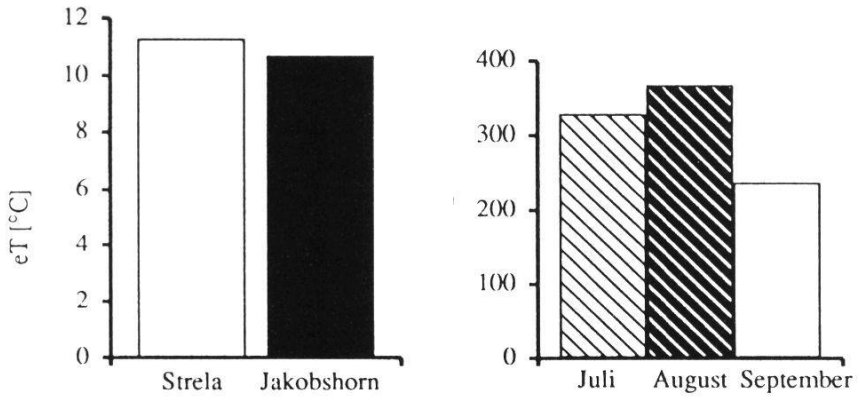


Fig. 52. Durchschnitt der exponentiellen Temperaturmittel (Wärmesummen) aus allen Zuckerampullen auf der Strela und dem Jakobshorn. (Links).
Addierte Temperaturmittel (Wärmesummen) aus allen Zuckerampullen der Strela und dem Jakobshorn in den drei Sommermonaten. (Rechts).
Average exponential mean temperatures (total amount of heat) from all samples taken at Strela and at Jakobshorn. (Left).
Addition of all mean temperatures of all samples taken at Strela and at Jakobshorn in the three summer months. (Right).

damit auf der Strela oftmals grösser. Dies drückte sich auch in den Maximaltemperaturen aus, die an den beiden Standorten erreicht wurden (Fig. 51). Auf der Strela wurden in der gesamten Vegetationsperiode die höheren Maximaltemperaturen gemessen. Die Minimaltemperaturen waren etwa gleich tief wie auf dem Jakobshorn oder sogar etwas tiefer. Die höchste Temperaturamplitude zwischen Maximal- und Minimaltemperatur wurde in der zweiten Hälfte des Monats August verzeichnet (Max. 39°, Min. -8°).
Der wärmste Monat war der August. Die Wärmesumme des Julis war etwas kleiner. Bereits im September war ein markanter Rückgang der Wärmemenge bzw. der Mitteltemperaturen zu verzeichnen (Fig. 52).

4.3.2. Saataufgang und Etablierung der Jungpflanzen

Die Entwicklung der verschiedenen Aussaaten sowohl auf der Strela wie auf dem Jakobshorn verlief sehr unterschiedlich (Tab. 19). Zwischen Aussaaten verschiedener Arten und verschiedenen Populationen, aber auch bei Aussaaten der gleichen Samenproben in verschieden Jahren traten zum Teil grosse Unterschiede auf. Im allgemeinen sind die Variationen und die Streuung so gross, dass aufgrund einzelner Datenserien keine gültigen Aussagen gemacht werden können. Aus den Tendenzen der Mittelwerte aller Datenserien lässt sich dagegen einiges aussagen, wobei bei einzelnen Arten oder Populationen immer mit Abweichungen gerechnet werden muss.

Tab. 19. Ergebnisse der Aussaaten von 1988-1990.
Saataufgang (S) und Überleben (Ü) am Ende der jeweiligen Vegetationsperiode auf der Strela von 100 ausgesäten Samen. Unbehandelte (un) und skarifizierte (sk) Samen, die auf unbehandelte (Ob), mit Curlex® geschützte (Cu) oder mit Substrat und Dünger (S/D) versehene Flächen gesät wurden.
Results of seedings in the years 1988-1990.
Germination (S) and survival (Ü) of 100 seeds sown at the end of each year at Strela. Unpretreated (un) and scarified (sk) seeds used in plots untreated (Ob), with Curlex® protected (Cu) or with soil and fertilizer added (S/D).

Saatbeetbehandlung			AUSSAAT																			
Samenbehandlung			Sep. 1988						Juli 1989						Sep. 1989				Juli 1990			
ART			1989		1990		1991		1989		1990		1991		1990		1991		1990		1991	
Fundort			S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.
Anthyllis	un	Ob							30	30	50	42	58	37	7	5	10	9				
alpestris	sk	Ob							52	48	53	33	56	29					37	37	60	33
	un	Cu							51	49	57	47	63	46								
Bodmen Ca	sk	Cu							78	74	78	50	88	60								
	un	S/D													3	1	4	1				
	sk	S/D																	25	21	38	10
Astragalus	un	Ob	19	18	26	5	28	2	18	18	39	20	45	7	22	19	25	5				
alpinus	sk	Ob							29	27	43	24	46	12					9	8	17	3
	un	Cu							18	18	34	22	36	17								
Bodmen Ca	sk	Cu							41	39	47	30	54	32								
	un	S/D													6	4	7	3				
	sk	S/D																	10	9	17	4
Astragalus	un	Ob							7	7	53	36	60	30								
alpinus	sk	Ob							52	50	80	33	89	11								
	un	S/D													3	2	4	1				
Grünturm Si	sk	S/D																	23	21	34	11
Astragalus	un	Ob	10	6	10	0	10	0	7	7	21	5	24	2	18	13	20	10				
frigidus	sk	Ob							35	32	46	5	48	2					8	8	12	0
	un	Cu							8	8	25	9	27	2								
Gotschna Ca	sk	Cu							61	60	70	36	85	20								
	un	S/D													5	2	7	1				
Astragalus	un	Ob	4	4	8	3	9	8	2	2	16	5	21	3								
frigidus	sk	Ob							47	42	67	6	68	1								
Fanzen-	un	S/D													14	5	18	4				
mäder Si	sk	S/D																				
Hedysarum	un	Ob	6	6	9	3	12	3	37	37	70	27	75	12	15	12	15	7				
obscurum	sk	Ob							57	51	77	29	77	18					26	26	46	5
	un	Cu							38	37	68	28	73	20								
Gotschna Ca	sk	Cu							69	63	80	52	86	36								
	un	S/D													4	2	4	0				
Hedysarum	un	Ob	33	32	45	20	46	16	41	41	76	33	78	15								
obscurum	sk	Ob							64	59	90	36	91	26								
Fanzen-	un	S/D													24	20	28	13				
mäder Si	sk	S/D																	31	31	49	2
Hippocrepis	un	Ob							7	7	14	2	15	3								
comosa	sk	Ob							14	13	21	11	21	4								
	un	Cu							21	21	41	26	51	27								
Gotschna Ca	sk	Cu							7	7	8	6	10	8								
Hippocrepis	un	Ob							23	23	43	36	51	33								
comosa	sk	Ob							51	50	71	56	73	55								
Fanzen-	un	S/D													12	9	17	9				
mäder Si	sk	S/D																				

Tab. 19 (Fortsetzung - *continued*)

Saatbeetbehandlung			AUSSAAT																			
Samenbehandlung			Sep. 1988						Juli 1989						Sep. 1989				Juli 1990			
ART			1989		1990		1991		1989		1990		1991		1990		1991		1990		1991	
Fundort			S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.
Lotus	un	Ob	21	20	24	19	27	9	11	11	31	13	35	5	14	13	19	7				
alpinus	sk	Ob							35	34	48	9	48	1					20	20	33	2
	un	Cu							19	19	52	35	54	10								
Sertig Ca	sk	Cu							82	71	84	30	85	9								
	un	S/D													30	24	38	20				
	sk	S/D																	20	17	30	4
Lotus	un	Ob	28	27	42	15	44	2.3	8	8	21	4	21	0								
alpinus	sk	Ob							29	27	41	2	42	1								
Dürr-	un	S/D													6	5	11	8				
boden Si	sk	S/D																	19	16	31	2
Oxytropis	un	Ob	25	25	35	17	37	9.7	8	8	39	19	46	14	20	17	26	11				
campestris	sk	Ob							46	44	63	35	63	27					30	30	45	8
	un	Cu																				
Sertig Ca	sk	Cu	91	86	93	58	100	54	12	12	43	22	49	21								
	un	S/D													11	10	17	5				
	sk	S/D																	14	12	22	3
Oxytropis	un	Ob							15	15	25	23	28	18								
campestris	sk	Ob							34	34	56	40	61	38								
Chörbsch-	un	S/D													6	5	7	2				
horn Si	sk	S/D																	21	17	35	3
Oxytropis	un	Ob	69	55	69	34	72	31	18	18	60	58	67	57	22	15	30	16				
jacquinii	sk	Ob							45	44	63	51	68	52					24	24	44	12
	un	Cu							23	23	65	52	72	49								
Gotschna Ca	sk	Cu							63	63	79	54	84	49								
	un	S/D													15	13	18	12				
	sk	S/D																	10	10	17	1
Oxytropis	un	Ob	6	6	9	3	12	3.7	13	11	42	30	48	32								
jacquinii	sk	Ob							39	34	56	43	57	41								
Schaf-	un	S/D													9	8	13	9				
läger Si	sk	S/D																	16	15	25	6
Trifolium	un	Ob							6	6	24	8	28	3								
alpinum	sk	Ob							61	44	77	20	77	4								
Jakobs-	un	S/D													14	9	17	3				
horn Si	sk	S/D																	24	21	37	3
Trifolium	un	Ob							31	30	44	27	49	9	8	4	20	11				
badium	sk	Ob							29	27	33	14	34	3	17	17	26	8				
	un	Cu							45	44	54	40	56	29								
Bodmen Ca	sk	Cu							57	52	60	40	63	17								
	un	S/D													14	12	19	12				
	sk	S/D																	6	6	9	2
Trifolium	un	Ob							2	2	32	24	34	11								
badium	sk	Ob							72	69	91	60	91	27								
Grünturm	un	S/D													39	36	42	31				
Si	sk	S/D																	19	15	28	5
Trifolium	un	Ob	3	1	3	0	3.7	0.7	24	24	42	36	45	24	11	10	19	16				
nivale	sk	Ob							55	53	66	39	67	27					19	16	29	0
	un	Cu							36	36	49	40	35	26								
Gotschna Ca	sk	Cu							78	73	89	65	92	54								
	un	S/D													22	19	33	18				
	sk	S/D																	25	23	37	3

Tab. 19 (Fortsetzung - *continued*)

Saatbeetbehandlung			AUSSAAT																					
Samenbehandlung			Sep. 1988						Juli 1989						Sep. 1989				Juli 1990			
ART			1989		1990		1991		1989		1990		1991		1990		1991		1990		1991	
Fundort			S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.
Trifolium	un	Ob							12	12	32	18	41	12								
nivale	sk	Ob							53	51	64	32	64	16								
Grünturm	un	S/D													12	10	27	24				
Si	sk	S/D																	31	31	47	20
Trifolium	un	Ob	9	9	25	17	35	11	13	12	36	10	42	6								
pallescens	sk	Ob							30	28	41	13	42	1								
Dürrboden	un	S/D													13	13	16	16				
Si	sk	S/D																	37	33	58	17
Trifolium	un	Ob							11	10	24	15	26	13								
repens	sk	Ob							44	41	53	7	53	1								
Clavadeler	un	S/D													12	9	23	14				
Alp Si	sk	S/D																	27	25	40	24
Trifolium	un	Ob	4	3	8	4	9	4	18	18	35	30	35	25	11	9	12	4				
thalii	sk	Ob							67	63	80	59	91	55	45	44	67	31				
	un	Cu							37	35	53	46	57	43								
Bodmen Ca	sk	Cu							92	86	93	71	99	66								
	un	S/D													11	8	13	7				
	sk	S/D																	25	22	39	13
Trifolium	un	Ob							8	8	44	23	46	16								
thalii	sk	Ob							59	56	317	67	95	55								
Grünturm	un	S/D													1	0	1	0				
Si	sk	S/D																	35	31	57	25

4.3.2.1. Aussaaten auf der Strela

Die untersuchten Leguminosenarten zeigten ein recht unterschiedliches Verhalten (Tab. 20, Fig. 53).

Der Saataufgang der unbehandelten Serien bewegte sich zwischen 17% und 42%. Das Überleben war recht gut mit 3-34% und einem Durchschnitt von rund 15% (Tab. 20). Wie erwartet, war der Saataufgang der skarifizierten Samen grösser und lag zwischen 15 % und 74%. Ingesamt überlebten 2-42%, im Durchschnitt 19%. Obwohl mehr skarifizierte Samen keimten, waren am Schluss etwa gleich viele Jungpflanzen vorhanden. Damit war die Mortalität der skarifizierten Samen generell höher als bei den unbehandelten Samen.

Unter den verschiedenen Arten stechen *Anthyllis alpestris* und *Oxytropis jacquinii* mit besonders hohen Überlebensraten um 30% hervor. Die übrigen Arten wiesen Überlebensraten nach zwei Jahren von 10-20% auf. Nur *Astragalus frigidus* schnitt mit 2-3% sehr schlecht ab. Keine Jungpflanze von *A. frigidus* überlebte den zweiten Winter. Die unterschiedlichen Populationen wiesen oft recht starke Abweichungen auf (Tab. 20).

Um das Verhalten der Leguminosen in Aussaaten etwas besser zu charakterisieren wurden drei Arten ausgewählt, deren Entwicklung in drei Jahren im folgenden genauer aufgezeigt wird. Für die Strela wurde *Anthyllis alpestris, Hippocrepis comosa* und *Oxytropis jacquinii* gewählt.

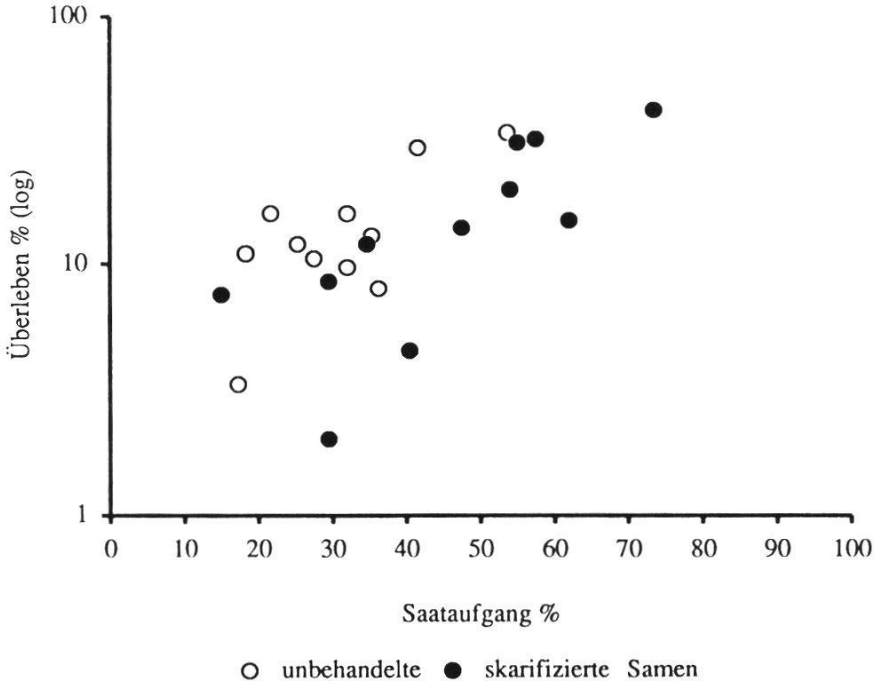


Fig. 53. Verhalten von elf Leguminosenarten von verschiedenen Karbonatpopulationen in Aussaaten auf der Strela. Saataufgang und Überleben am Ende von zwei Vegetationsperioden. Mittelwerte aus 2-5 Aussaaten.
Behaviour of eleven Leguminosae species from carbonate populations in seeding trials at Strela. Germination and survival after two years. Mean values from 2 to 5 sowings.

Tab. 20. Mittelwerte und Standardabweichungen des Saataufganges und des Überlebens nach zwei Vegetationsperioden von Karbonatpopulationen auf der Strela.
Mean values and standard deviation of the seedling emergence and seedling survival after two years at Strela. The seeds used originated from carbonate populations.

Art	Saataufgang		Überleben	
	unbehandelte Samen	skarifizierte Samen	unbehandelte Samen	skarifizierte Samen
Anthyllis alpestris	41.6±17.9	57.5±6.4	29.6±17.2	32.0±2.8
Astragalus alpinus	36.2±12.3	34.7±15.6	8.0±3.3	12.0±8.0
Astragalus frigidus	17.3±6.4	29.5±24.7	3.3±4.9	2.0±2.8
Hedysarum obscurum	32.0±33.0	62.0±21.2	9.7±8.6	15.0±14.1
Hippocrepis comosa	27.5±19.1	15.0±8.5	10.5±12.0	7.5±0.7
Lotus alpinus	25.3±5.5	40.5±10.6	12.0±6.1	4.5±3.5
Oxytropis campestris	35.3±7.6	54.0±12.7	13.0±3.5	20.0±18.4
Oxytropis jacquinii	53.7±21.0	55.0±12.7	34.0±21.1	31.0±26.9
Trifolium badium	32.0±17.0	29.5±5.0	16.0±8.5	8.5±0.7
Trifolium nivale	21.7±19.6	47.5±26.2	16.0±16.5	14.0±19.8
Trifolium thalii	18.3±14.6	73.5±9.2	11.0±13.9	42.0±17.0

Anthyllis alpestris: *Anthyllis alpestris* ist nur auf Karbonatstandorten zu finden. So auch in unmittelbarer Nähe der Aussaatfläche auf der Strela. Es erstaunt deshalb nicht, dass *Anthyllis alpestris* in den Aussaaten insgesamt am erfolgreichsten war. Nicht nur die Überlebensrate war hoch, die Jungpflanzen waren auch gut etabliert und einige blühten in der dritten Saison (Fig. 54).

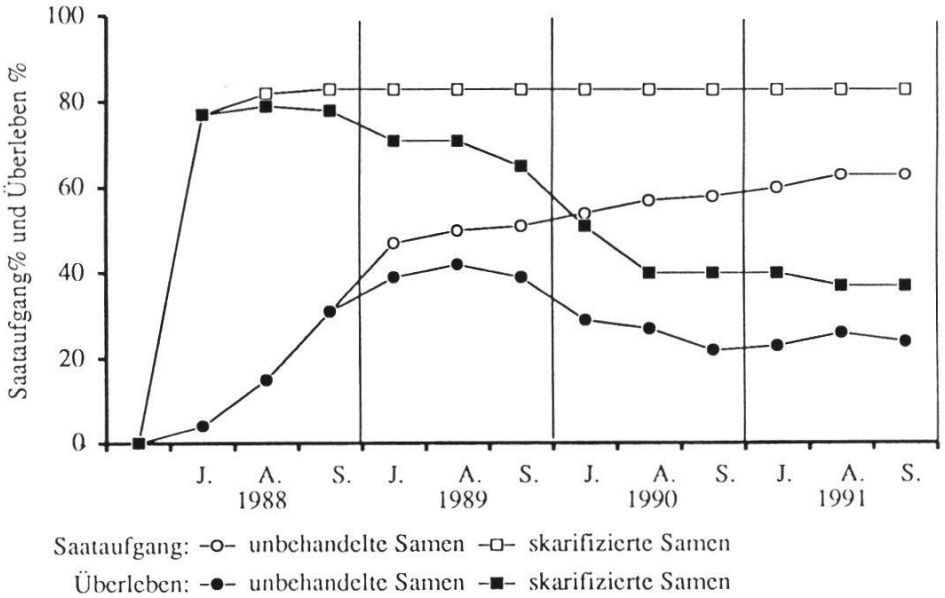


Fig. 54. *Anthyllis alpestris*: Saataufgang und Überleben der Frühsommeraussaat 1988 während drei Jahren.
Anthyllis alpestris: Seedling emergence and survival of the sowing in early summer 1988 in three years.
A: August, J: Juli, S: September

Hippocrepis comosa: Diese Art war in den verschiedenen Aussaaten sehr erfolgreich. Die Jungpflanzen etablierten sich gut. Auffallend waren die Überlebenskurven bei skarifizierten und unbehandelten Samen: Während sich das Niveau bei den unbehandelten Samen auf etwa 40% hielt, mit jährlichen Verlusten und neuen Keimlingen, waren bei den skarifizierten Samen grosse Verluste zu verzeichnen. Im Winter und den ersten Sommerwochen starben viele Pflanzen ab, so dass bei Abschluss der Feldbeobachtungen viel weniger vorhanden waren als in den Aussaaten mit unbehandeltem Samen (Fig. 55).
Oxytropis jacquinii: Diese Art findet man häufig auf trockenen und steinigen Böden auf Karbonat und selten auf Silikat. Die Verbreitung auf natürlichen Schutthalden lässt den Schluss zu, dass *Oxytropis jacquinii* auch auf den steinigen und nährstoffarmen Skipistenplanien gedeiht. Das Überleben in den experimentellen Ansaaten war dann auch recht gut, wobei die Pflanzen ziemlich klein blieben und in den vier Jahren keine Blüten beobachtet werden

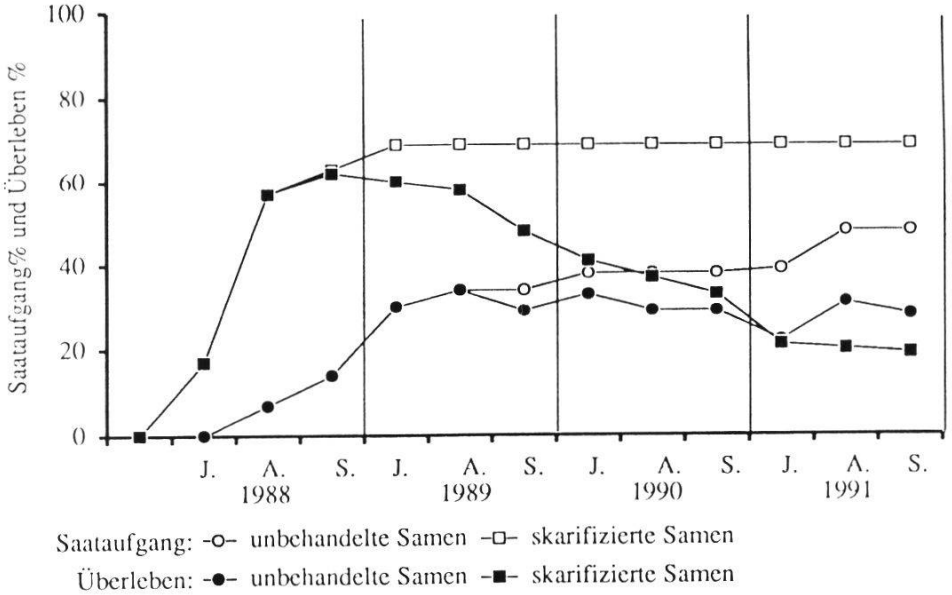


Fig. 55. *Hippocrepis comosa:* Saataufgang und Überleben der Frühsommeraussaat 1988 während drei Jahren.
Hippocrepis comosa: Seedling emergence and survival of the sowing in early summer 1988 in three years.
A: August, J: Juli, S: September

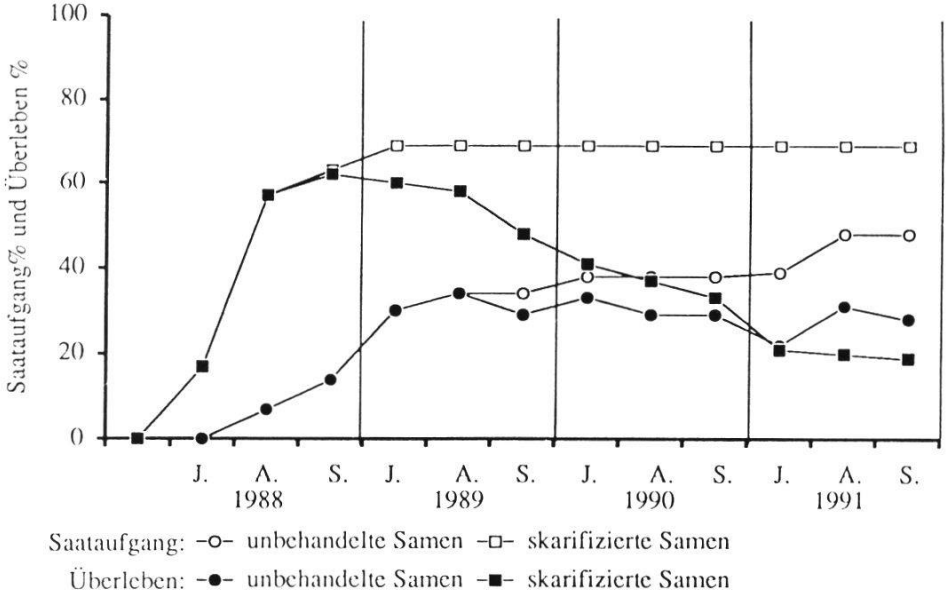


Fig. 56. *Oxytropis jacquinii*: Saataufgang und Überleben der Frühsommeraussaat 1988 während drei Jahren.
Oxytropis jacquinii: Seedling emergence and survival of the sowing in early summer 1988 in three years.
A: August, J: Juli, S: September

konnten (Fig. 56). Die jungen Pflanzen investierten hauptsächlich in die unterirdischen Organe.
Das Muster der Keimungsverläufe und der Etablierung der Jungpflanzen war bei allen drei Arten recht ähnlich. Die skarifizierten Samen keimten innerhalb weniger Wochen vollständig; aufgrund der Klimakammerversuche kann angenommen werden, dass die Keimungsrate jeweils 100% betrug. Der Saataufgang, d.h. die Anzahl der tatsächlich beobachteten Keimlinge, war erwartungsgemäss geringer. In allen Fällen wurden in der zweiten, dritten und vierten Saison keine Keimlinge entdeckt. In den Ansaaten mit den vorbehandelten Samen traten vor allem während dem Winter und kurz nach der Schneeschmelze grosse Verluste auf. Bei den Aussaaten mit unbehandelten Samen waren diese Verluste in allen Fällen geringer und sie wurden oftmals durch das Auftreten neuer Keimlinge wieder wett gemacht oder gar übertroffen. So waren im Fall von *Oxytropis jacquinii* und *Hippocrepis comosa* am Ende der Beobachtungsperiode 1991 mehr Jungpflanzen in den Flächen mit unbehandelten Samen zu finden, als in denjenigen mit skarifizierten Samen. Dies obwohl der Saataufgang bei den skarifizierten Samen bedeutend höher war. Bei *Anthyllis alpestris* war das Überleben sehr gut, so dass mehr Jungpflanzen in den Aussaaten mit skarifizierten Samen zu finden waren. Der höhere Anteil entsprach in etwa dem grösseren Saataufgang.

4.3.2.2. Aussaaten auf dem Jakobshorn

Das Überleben und der Saataufgang aller substratkompatiblen Populationen der einzelnen Arten zeigte ein recht eindeutiges Bild. Beim Betrachten der Graphik (Fig. 57), welche auf den Werten aus Tab. 22 basiert, ist zu beachten, dass die Überlebensrate logarithmisch aufgetragen ist. Im algemeinen war das Überleben also äusserst schlecht und lag im Bereich von 0-3%. Nur bei einzelnen Arten war eine bessere Überlebensrate zu verzeichnen. Zu nennen wäre vor allem *Trifolium alpinum* (8.5%) und *Hedysarum obscurum* (11%).
Die skarifizierte Samen keimten besser. Es fällt auf, dass die Aussaaten mit skarifizierten Samen fast alle zu 100% abstarben, während bei den Aussaaten mit unbehandelten Samen wenigstens einige Keimlinge überlebten. Die unbehandelten Samen keimten über einen längeren Zeitraum, manchmal über Jahre verteilt.
Im Frühjahr und im Herbst war oft eine starke Frosthebung zu beobachten. Die Wurzeln vieler Keimlinge und Jungpflanzen wurden an die Oberfläche

Tab. 21. Ergebnisse der Aussaaten von 1988-1990.
Saataufgang (S) und Überleben (Ü) am Ende der jeweiligen Vegetationsperiode auf dem Jakobshorn von jeweils 100 Samen. Unbehandelte (un) und skarifizierte (sk) Samen, die auf unbehandelte (Ob), mit Curlex® geschützte (Cu) oder mit Substrat und Dünger (S/D) versehene Flächen gesät wurden.
Results of seeding trials in the years 1988-1990.
Germination (S) and survival (Ü) at the end of each year of 100 seeds sown at Jakobshorn. Unpretreated (un) and scarified (sk) seeds used on plots untreated (Ob), protected with Curlex® (Cu) or with soil and fertilizer added (S/D).

Saatbeetbehandlung			AUSSAAT																			
Samenbehandlung			Sep. 1988						Juli 1989						Sep. 1989				Juli 1990			
ART			1989		1990		1991		1989		1990		1991		1990		1991		1990		1991	
Fundort			S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.
Anthyllis	un	Ob							38	36	62	6	68	3								
alpestris	sk	Ob							78	71	91	5	91	0								
	un	S/D													9	7	12	1				
Bodmen Ca	sk	S/D																	33	31	50	0
Astragalus	un	Ob	29	17	29	0	29	0	9	6	15	1	15	0								
alpinus	sk	Ob							53	41	75	4	76	0								
	un	S/D													7	4	9	2				
Bodmen Ca	sk	S/D																	6	6	10	3
Astragalus	un	Ob							7	3	8	1	9	0	9	5	14	1				
alpinus	sk	Ob							39	33	58	1	58	0					8	8	13	0
	un	Cu							5	4	21	6	23	2								
Grünturm Si	sk	Cu							41	41	75	3	75	0								
	un	S/D													8	7	12	6				
	sk	S/D																	14	14	35	5
Astragalus	un	Ob	9	6	10	0	10	0	2	2	7	1	7	0								
frigidus	sk	Ob							56	47	78	2	78	0								
Gotschna Ca	un	S/D													5	2	7	2				
Astragalus	un	Ob	10	7	13	2	13	0	3	2	15	3	16	0	6	3	7	0				
frigidus	sk	Ob							64	54	82	0	82	0					25	15	38	0
Fanzen-	un	Cu							5	5	25	8	34	1								
mäder Si	sk	Cu							45	43	68	8	74	2								
	un	S/D													5	3	8	2				
Hedysarum	un	Ob							22	19	40	1	40	0								
obscurum	sk	Ob							69	59	92	3	92	0								
	un	S/D													6	3	7	1				
Gotschna Ca	sk	S/D																	43	23	48	7
Hedysarum	un	Ob	30	19	30	0	30	0	10	10	38	6	42	4	36	26	36	0				
obscurum	sk	Ob							70	68	95	32	96	1					37	30	55	0
Fanzen-	un	Cu							24	24	60	10	68	3								
mäder Si	sk	Cu							62	56	91	30	96	4								
	un	S/D													43	23	48	7				
	sk	S/D																	29	29	45	0
Hippocrepis	un	Ob							10	10	18	0	18	0								
comosa	sk	Ob							49	46	64	15	64	0								
Gotschna Ca																						
Hippocrepis	un	Ob							12	8	22	1	23	0	7	4	9	1				
comosa	sk	Ob							55	45	74	6	74	0					29	18	43	0
Fanzen-	un	Cu							23	22	42	1	43	0								
mäder Si	sk	Cu							62	58	87	0	87	0								
	un	S/D													9	5	10	0				
	sk	S/D																				

Tab. 21 (Fortsetzung - *continued*)

Saatbeetbehandlung			AUSSAAT																					
Samenbehandlung			Sep. 1988						Juli 1989						Sep. 1989				Juli 1990			
ART			1989		1990		1991		1989		1990		1991		1990		1991		1990		1991	
Fundort			S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.
Lotus	un	Ob	33	29	35	0	35	0	5	4	15	2	18	3								
alpinus	sk	Ob							57	52	80	0	80	0								
	un	S/D													27	19	30	2				
Sertig Ca	sk	S/D																	9	9	19	0
Lotus	un	Ob	9	9	14	1	15	1	8	8	24	3	27	1	11	7	16	2				
alpinus	sk	Ob							54	50	75	0	75	0					25	18	38	0
Dürrboden	un	Cu							7	6	25	12	32	4								
Si	sk	Cu							43	38	64	2	64	0								
	un	S/D													13	12	20	7				
	sk	S/D																	17	17	27	2
Oxytropis	un	Ob	22	20	29	3	33	2.3	5	5	20	3	22	0								
campestris	sk	Ob							61	53	85	0	85	0								
	un	S/D													32	30	41	13				
Sertig Ca	sk	S/D																	14	14	21	3
Oxytropis	un	Ob							9	9	24	3	26	0	9	5	12	0				
campestris	sk	Ob							50	44	70	0	70	0					39	27	58	0
Chörbsch-	un	Cu							17	17	35	5	36	0								
horn Si	sk	Cu							57	52	81	17	81	0								
	un	S/D													16	12	25	11				
	sk	S/D																	9	9	14	3
Oxytropis	un	Ob	48	29	49	0	49	0	13	12	34	5	35	0								
jacquinii	sk	Ob							52	42	73	0	73	0								
	un	S/D													8	5	11	2				
Gotschna Ca	sk	S/D																	9	9	23	3
Oxytropis	un	Ob	35	22	39	0	39	0	9	8	21	2	21	0	18	7	20	0				
jacquinii	sk	Ob							40	33	55	4	55	0					6	5	12	1
Schafläger	un	Cu							15	15	41	7	48	2								
Si	sk	Cu							41	39	65	2	65	0								
	un	S/D													16	8	19	3				
	sk	S/D																	9	9	17	1
Trifolium	un	Ob							4	4	19	7	20	3	13	7	15	0				
alpinum	sk	Ob							71	69	89	23	89	11					37	24	57	1
Jakobshorn	un	Cu							4	4	30	14	54	21								
Si	sk	Cu							67	65	95	80	98	72								
	un	S/D													13	10	17	4				
	sk	S/D																	12	10	17	0
Trifolium	un	Ob							12	8	19	1	19	0								
badium	sk	Ob							46	34	59	0	59	0								
	un	S/D													9	7	9	0				
Bodmen Ca	sk	S/D																	12	11	17	0
Trifolium	un	Ob							3	3	14	4	14	0	43	21	47	4				
badium	sk	Ob							73	58	88	0	88	0					39	23	58	0
Grünturm	un	Cu							8	8	52	15	57	3								
Si	sk	Cu							63	56	80	2	80	0								
	un	S/D													56	53	66	32				
	sk	S/D																	20	20	32	1
Trifolium	un	Ob	12	6	16	1	16	0	11	9	26	2	26	0								
nivale	sk	Ob							67	40	82	0	82	0								
	un	S/D													9	7	11	8				
Gotschna Ca	sk	S/D																	30	27	45	0

Tab. 21 (Fortsetzung - *continued*)

Saatbeetbehandlung			AUSSAAT																			
Samenbehandlung			Sep. 1988						Juli 1989						Sep. 1989				Juli 1990			
ART			1989		1990		1991		1989		1990		1991		1990		1991		1990		1991	
Fundort			S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.
Trifolium	un	Ob							13	8	25	2	25	0	14	7	21	6				
nivale	sk	Ob							55	41	68	0	68	0					29	15	43	0
Grünturm	un	Cu							17	12	41	5	49	5								
Si	sk	Cu							67	56	91	1	91	0								
	un	S/D													16	16	19	4				
	sk	S/D																	20	18	30	0
Trifolium	un	Ob	12	10	16	3	19	1	8	6	15	1	15	0	16	6	17	0				
pallescens	sk	Ob							37	23	42	0	42	0					26	15	39	0
Dürrboden	un	Cu							14	12	20	0	21	1								
Si	sk	Cu							61	53	82	12	82	0								
	un	S/D													20	19	22	11				
	sk	S/D																	13	13	20	2
Trifolium	un	Ob							1	0	2	0	2	0	5	2	7	1				
repens	sk	Ob							46	27	58	0	58	0					15	9	23	0
Clavadeler	un	Cu							4	1	6	0	8	1								
Alp Si	sk	Cu							49	41	65	1	66	0								
	un	S/D													4	3	5	1				
	sk	S/D																	23	23	39	3
Trifolium	un	Ob	5	3	7	1	8	0	11	8	16	0	16	0								
thalii	sk	Ob							64	46	79	0	79	0								
	un	S/D													8	4	10	2				
Bodmen Ca	sk	S/D																	25	25	38	2
Trifolium	un	Ob							4	2	11	0	12	1	2	1	5	3				
thalii	sk	Ob							65	47	82	0	82	0					33	21	50	0
Grünturm	un	Cu							6	4	11	0	12	1								
Si	sk	Cu																				
	un	S/D													7	6	16	7				
	sk	S/D																	35	32	53	16

Tab. 22. Mittelwerte und Standardabweichungen des Saataufganges und des Überlebens nach zwei Vegetationsperioden von Silikatpopulationen auf dem Jakobshorn.
Mean values and standard deviation of the seedling emergence and survival after two years of silicate populations on the Jakobshorn.

Art	Saataufgang		Überleben	
	unbehandelte Samen	skarifizierte Samen	unbehandelte Samen	skarifizierte Samen
Astragalus alpinus	11.5±3.5	35.0±32.5	0.5±0.7	0±0
Astragalus frigidus	25.5±27.9	60.0±31.1	1.8±2.2	0±0
Hedysarum obscurum	35.0±4.6	75.0±28.3	0.3±0.6	11.0±15.6
Hippocrepis comosa	16.0±9.9	58.5±21.9	0.5±0.7	0±0
Lotus alpinus	18.7±6.4	56.5±26.2	1.7±1.5	0±0
Oxytropis campestris	19.0±9.9	64.0±8.5	1.0±1.4	0±0
Oxytropis jacquinii	26.7±10.7	45.0±29.3	0±0	1.3±1.5
Trifolium alpinum	17.5±3.5	73.0±22.6	1.5±2.1	8.5±10.6
Trifolium badium	31.0±24.0	73.0±21.2	2.0±2.8	0±0
Trifolium nivale	23.0±2.8	55.5±17.7	3.0±4.2	0±0
Trifolium pallescens	16.7±1.5	40.5±2.1	1.3±2.3	0±0
Trifolium repens	4.5±3.5	42.0±24.7	0±0	0±0
Trifolium thalii	8.5±3.5	66.0±22.6	1.5±2.1	0±0

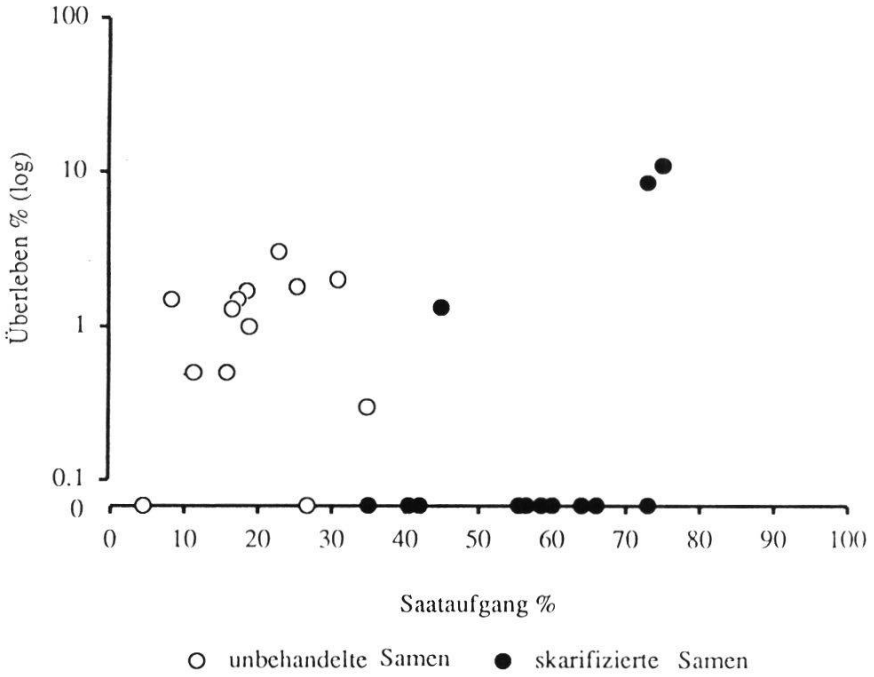


Fig. 57. Verhalten von dreizehn Leguminosenarten von verschiedenen Silikatpopulationen in Aussaaten auf dem Jakobshorn. Saataufgang und Überleben am Ende von zwei Vegetationsperioden. Mittelwerte aus 2-5 Aussaaten.
Behaviour von 13 Leguminosae species from silicate populations in seeding trials on the Jakobshorn. Germination and survival after two years. Mean values of 2 to 5 sowings.

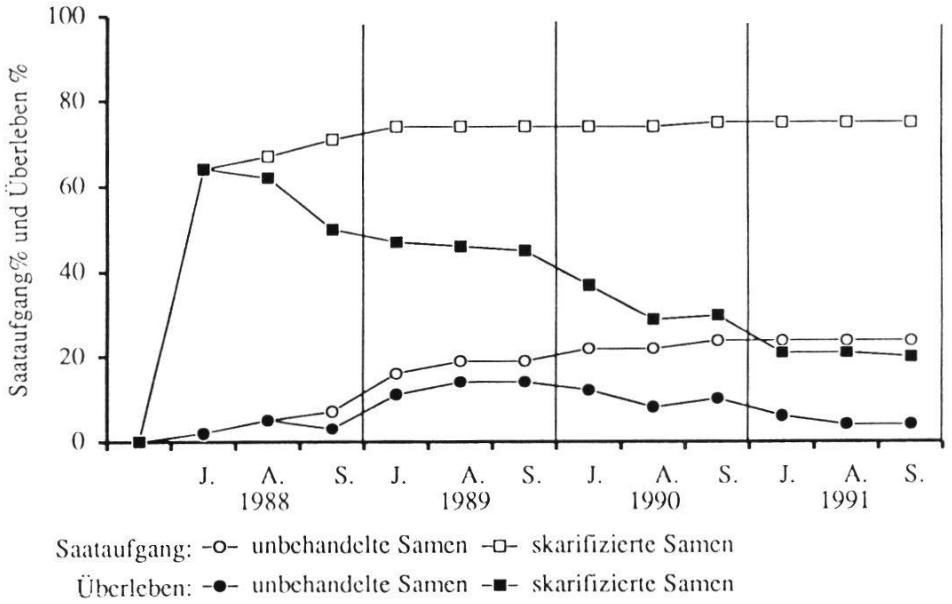


Fig. 58. *Trifolium alpinum*: Saataufgang und Überleben in der Frühsommeraussaat 1988 während vier Jahren.
Trifolium alpinum: Seedling emergence and survival after seeding in early summer 1988. Observation period of four years.
A: August, J: Juli, S: September

gedrückt und in der ersten Trockenperiode vertrockneten die Pflanzen.
Anhand von *Trifolium alpinum, T. nivale* und *Astragalus alpinus* soll das Verhalten und die Entwicklung der Leguminosen in den Aussaaten auf dem Jakobshorn genauer aufgezeigt werden.
Trifolium alpinum: *T. alpinum* ist die einzige, der untersuchten alpinen Leguminosenarten, die ihre Verbreitung hauptsächlich in Silikatgebieten hat. Sie ist auch in unmittelbarer Umgebung der planierten Skipiste in natürlichen Rasen vertreten. Die Jungpflanzen überlebten als einzige in allen Aussaaten über mehr als zwei Vegetationsperioden.
Der Saataufgang der unbehandelten Samen war sehr gering. Nach jedem Winter waren wieder neue Keimlinge zu beobachten. Der Saataufgang der skarifizierten Samen war recht hoch. Viele Jungpflanzen starben aber jeweils in den Wintermonaten ab (Fig. 58).
Trifolium nivale: Die Samen von *T. nivale* zeigen keine starke Keimruhe. Sowohl bei den unbehandelten, wie auch skarifizierten Samen wurde ein hoher Saataufgang beobachtet. Die Keimlinge aus den skarifizierten Samen erschienen etwas früher im Jahr. Im ersten Winter starben dennoch fast alle Keimlinge ab und nach dem zweiten Winter waren nur noch einzelne Jungpflanzen vorhanden, die schlussendlich ebenfalls starben (Fig. 59).

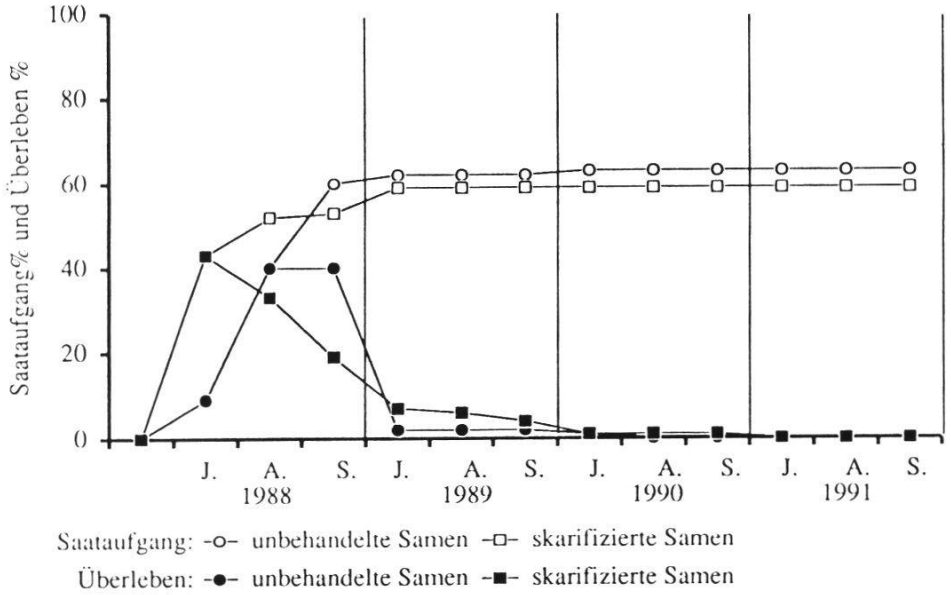


Fig. 59. *Trifolium nivale*: Saataufgang und Überleben in der Frühsommeraussaat 1988 während vier Jahren.
Trifolium nivale: Seedling emergence and survival after seeding in early summer 1988. Observation period of four years.
A: August, J: Juli, S: September

Astragalus alpinus: Die skarifizierten Samen keimten in der ersten Saison offenbar vollständig. In den darauffolgenden Jahren wurden keine Keimlinge mehr gefunden. Der Saataufgang lag bei etwa 50%. Bei den unbehandelten Samen konnte im ersten Jahr nur ein geringer Saataufgang beobachtet werden. Nach dem ersten Winter keimten dann eine grosse Menge der unbehandelten Samen. Nach dem zweiten bzw. dritten Winter folgten nur noch einige wenige Keimungen jeweils kurz nach der Schneeschmelze. Die Überwinterung hat die angeborene Keimruhe offenbar mehr oder weniger vollständig gebrochen. Der Saataufgang lag am Ende der Feldbeobachtungen bei etwa 30%. Das Überleben war auch bei dieser Art sehr schlecht: Nach dem ersten Winter waren noch ein gutes Dutzend Jungpflanzen vorhanden, die den zweiten Winter jedoch nicht überlebten (Fig. 60).

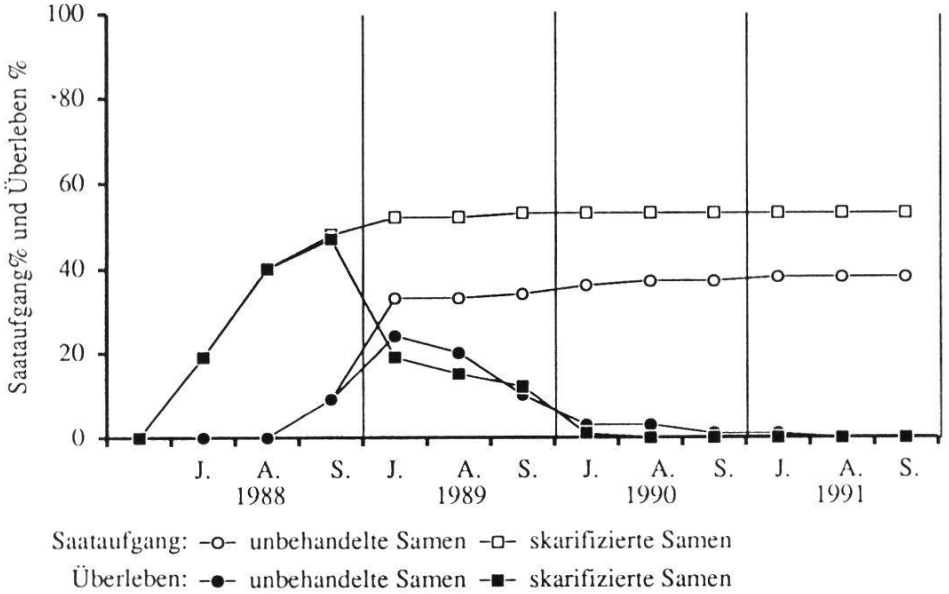


Fig. 60. *Astragalus alpinus*: Saataufgang und Überleben in der Frühsommeraussaat 1988 während vier Jahren.
Astragalus alpinus: Seedling emergence and survival after seeding in early summer 1988. Observation period of four years.
A: August, J: Juli, S: September

4.3.2.3. Vergleich der Aussaaten auf Strela und Jakobshorn

Anhand der im Frühsommer 1989 auf dem Jakobshorn und der Strela ausgesäten Samenproben lässt sich der Erfolg der Aussaaten ablesen. Hier zeigte sich der Unterschied zwischen den beiden Skipisten Strela und Jakobshorn noch einmal sehr deutlich (Fig. 61, Tab. 23). Während bei beiden Versuchs-

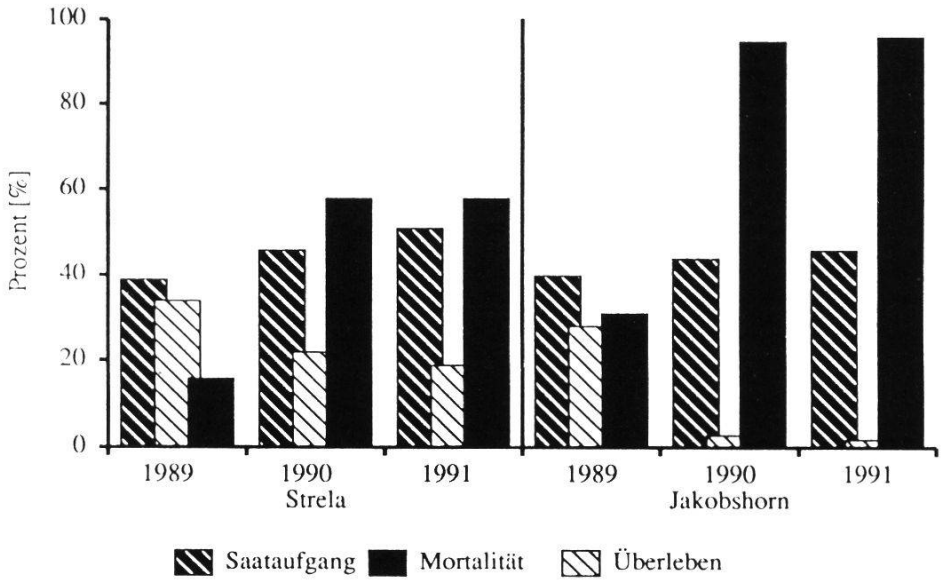


Fig. 61. Saataufgang, Überleben und Mortalität der Frühsommeraussaat 1989 auf der Strela und dem Jakobshorn während drei Jahren. Mittelwerte aus Aussaaten mit unbehandelten und skarifizierten Samen am Ende der jeweiligen Vegetationsperiode.
Seedling emergence, survival and mortality after the sowing in early summer 1989 at Strela and at Jakobshorn during three years. Mean values of trials with unpretreated and scarified seeds at the end of each year.

standorten ein vergleichbarer Saataufgang von ungefähr 50% verzeichnet wurde, war das Überleben sehr unterschiedlich. Auf der Strela trat eine Mortalitätsrate von etwas mehr als 60% auf. Von den ausgesäten Samen waren damit im dritten Jahr immerhin 20% Jungpflanzen vorhanden. Auf dem Jakobshorn starben fast alle Keimlinge, es überlebten nur einige wenige Pflanzen.

Tab. 23. Verhalten der verschiedenen Arten während drei Jahren in der Frühsommeraussaat 1989: Mittelwerte und Standardabweichungen .
Behaviourof the different Leguminosae species in the sowing of early summer 1989 over three years: Mean values and standard deviation.

	1989			1990			1991		
	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.
Strela									
Saataufgang	18±21	36±26	39±25	45±24	53±76	46±24	48±24	50±25	51±26
Mortalität	0±0	5±14	16±21	36±27	51±26	58±25	65±27	63±26	66±24
Überleben	18±21	35±26	34±22	31±21	25±20	22±18	19±19	21±19	19±18
Jakobshorn									
Saataufgang	11±12	37±31	40±30	43±29	44±29	44±29	45±28	46±29	46±29
Mortalität	0±3	8±16	31±25	82±24	92±14	95±11	97±9	96±10	96±9
Überleben	10±12	36±31	28±25	7±12	4±10	3±8	1±7	2±8	2±7

Die grösste Zunahme der Mortalität war am Ende der ersten Vegetationsperiode, während der Überwinterung und im ersten Frühsommermonat nach der Schneeschmelze zu verzeichnen. Von denjenigen Keimlingen, die sich auf der Strela bis zum August des zweiten Jahres haben halten können, starben nur noch wenige ab.

4.3.2.4. Aussaaten mit unbehandelten und skarifizierten Samen

Die Aussaaten mit unbehandelten und skarifizierten Samen zeigten zwei unterschiedliche Verhaltensmuster bezüglich Saataufgang und Überleben der Jungpflanzen (Fig. 62, Tab. 24).
Die skarifizierten Samen keimten kurz nach der Aussaat zu einem hohen Prozentsatz. Die Keimlinge erschienen innerhalb einiger wenigen Tage alle miteinander. Bereits gegen Ende der ersten Vegetationsperiode war ein Absterben der Keimlinge zu beobachten. Bis zur Schneeschmelze im nächsten Frühjahr starben etwa ein Drittel der Keimlinge ab (Fig. 62, Tab. 24). In den folgenden zwei Jahren starben die Jungpflanzen in kontinuierlichen Raten ab und am Ende der dritten Vegetationsperiode waren schlussendlich etwa ein Drittel der beobachteten Keimlinge etabliert.
Die unbehandelten Samen keimten zu einem geringeren Prozentsatz. Insgesamt waren es etwa halb so viele Keimlinge wie in den skarifizierten Serien. Diese Keimlinge starben im ersten Jahr nur zu einem ganz geringen Teil. Erst

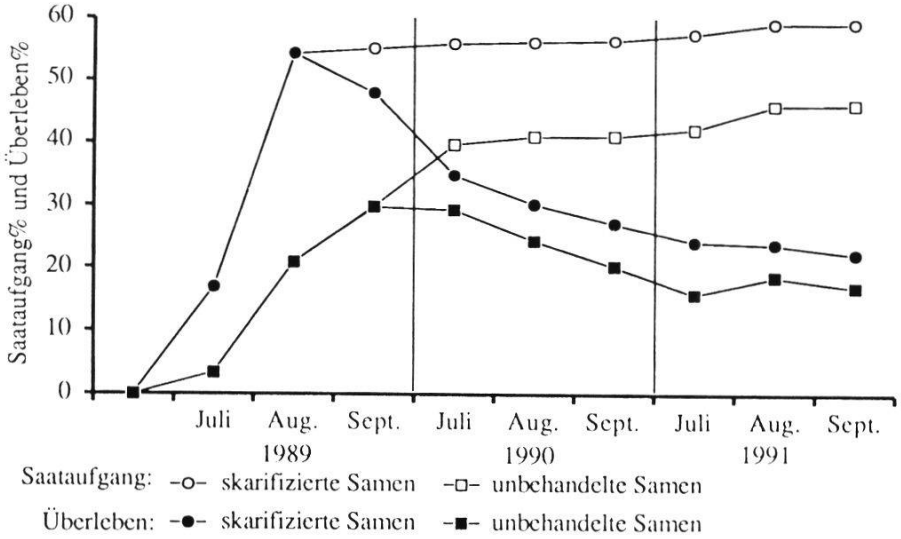


Fig. 62. Verhalten von zehn Leguminosenarten in Aussaaten auf der Strela mit unbehandelten und skarifizierten Samen in der Frühsommeraussaat 1989. Mittelwerte.
Behaviour of ten Leguminosae species in sowings in early summer at Strela with unpretreated and scarified seeds. Mean values.

Tab. 24. Mittelwerte und Standardabweichungen von elf Leguminosenarten, die im Juli 1989 unbehandelt und skarfiziert auf der Strela ausgesät wurden.
Mean values and standard deviation of eleven Leguminosae species sown unpretreated and scarified in early summer 1989 at Strela.

Strela	1898 Juli	1898 Aug.	1898 Sept.	1990 Juli	1990 Aug.	1990 Sept.	1991 Juli	1991 Aug.	1991 Sept.
skarifizierte Samen									
Saataufgang	16.8	54.3	55.1	55.9	56.2	56.5	57.5	59.3	59.4
(Standardabweichung)	*12.1*	*17.8*	*17.9*	*18.5*	*18.6*	*18.6*	*20.3*	*20.9*	*20.9*
Überleben	16.8	54.3	47.9	34.8	30.2	27.1	24.1	23.7	22.2
(Standardabweichung)	*12.1*	*17.8*	*15.2*	*20.0*	*20.1*	*20.1*	*22.1*	*21.6*	*21.2*
unbehandelte Samen									
Saataufgang	3.4	20.8	29.9	39.7	41.0	41.1	42.2	46.0	46.2
(Standardabweichung)	*4.0*	*12.5*	*16.4*	*16.2*	*15.8*	*15.9*	*16.0*	*18.3*	*18.3*
Überleben	3.4	20.8	29.7	29.3	24.3	20.2	15.7	18.5	16.9
(Standardabweichung)	*4.0*	*12.5*	*16.2*	*16.1*	*15.8*	*15.7*	*16.7*	*16.9*	*16.0*

im Winter bzw. in den Wochen kurz nach der Schneeschmelze, starben grössere Mengen an Keimlingen und Jungpflanzen ab. Während der folgenden zwei Jahr war ebenfalls eine kontinuierliche Mortalität der Jungpflanzen zu verzeichnen, wobei auch immer wieder Samen keimten. Auch hier war die Überlebensrate der gesamthaft gekeimten Samen etwas mehr als ein Drittel.
Beim Vergleich der Überlebensraten von skarifizierten und unbehandelten Samen am Ende der Beobachtungszeit, ergaben sich ähnliche Werte. Auch der Saataufgang war mit 60% bei den skarifizierten Serien und 46% bei den unbehandelten Serien nicht mehr so unterschiedlich wie zu Beginn. Insgesamt waren die Jungpflanzen der skarifizierten Serien aber ein wenig älter und damit auch oft besser etabliert und besser verwurzelt.

4.3.2.5. Herkunft der Samen und Aussaatort

Samen, die in Silikat- und Karbonatpopulationen gesammelt wurden, zeigten zum Teil ein unterschiedliches Verhalten in Aussaaten auf der Strela bzw. dem Jakobshorn (Fig. 63, Tab. 25 und 26).
Die Resultate vom Jakobshorn lassen keine Aussage über verschiedenes Verhalten zu. Sowohl der Saataufgang, wie auch das nahezu vollständige Absterben der Jungpflanzen nach dem ersten Winter verlief nahezu identisch und damit unabhängig von der Herkunft der Samen.
Der Saataufgang der Samen aus den Karbonatpopulationen war auf der Strela etwas grösser als der Saataufgang der Samen aus den Silikatpopulationen der gleichen Leguminosenarten. Möglicherweise verfügen die Samen von Silikat-

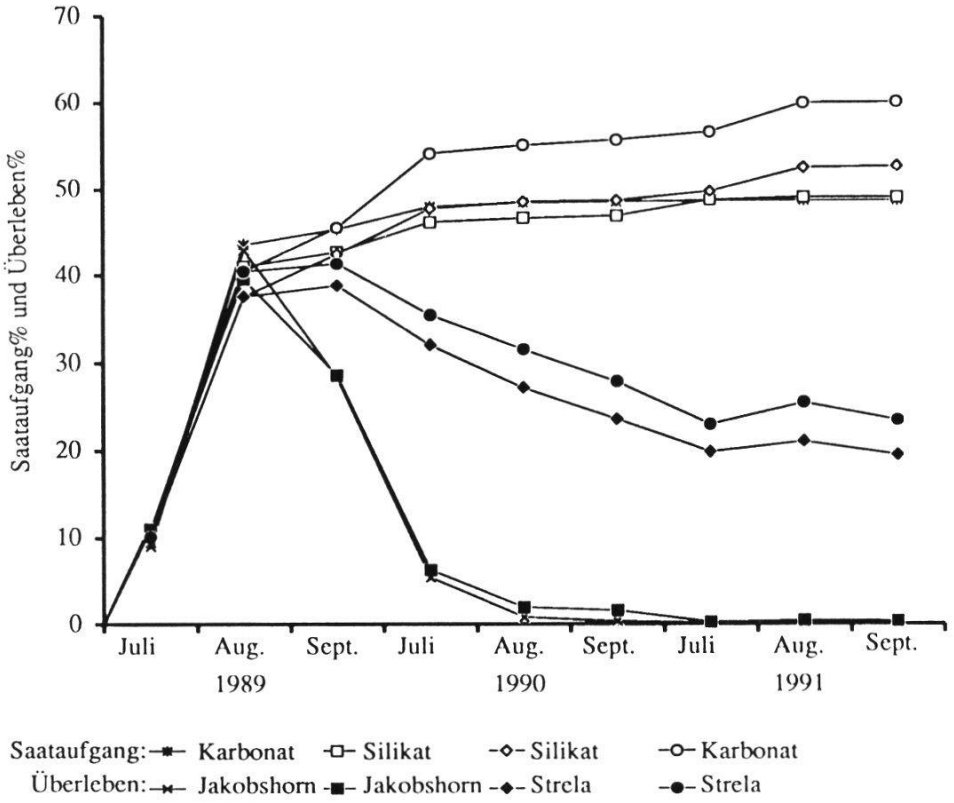


Fig. 63. Verhalten von Samen aus Silikat- und Karbonatpopulationen in Aussaaten auf Silikat und Dolomit. Mittelwerte aus zehn Arten.
Behaviour of seeds from silicate and carbonate populations sown on silicate and dolomite. Mean values of ten species.

Tab. 25. Saataufgang und Überleben von Keimlingen aus Samen von Karbonat- und Silikatpopulationen auf der Strela. Mittelwerte und Standardabweichungen von zehn Versuchsserien.
Seedling emergence and survival on Strela of seeds from carbonate and silicate populations. Mean values and standard deviation of ten trials.

	1989			1990			1991		
	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.
Strela									
Karbonatpopulationen									
Saataufgang	10.1	40.5	45.6	54.2	55.2	55.8	56.7	60.1	60.2
(Standardabweichung)	*12.7*	*29.4*	*28.6*	*24.2*	*24.0*	*24.1*	*23.5*	*24.7*	*24.6*
Überleben	10.1	40.5	41.4	35.5	31.5	28.0	23.0	25.6	23.5
(Standardabweichung)	*12.7*	*29.5*	*25.8*	*20.6*	*21.4*	*20.0*	*19.3*	*20.3*	*19.2*
Silikatpopulationen									
Saataufgang	10.1	37.5	42.5	47.8	48.6	48.8	49.9	52.6	52.8
(Standardabweichung)	*11.2*	*22.8*	*21.1*	*18.9*	*18.6*	*18.7*	*19.5*	*20.3*	*20.3*
Überleben	10.1	37.5	38.8	32.0	27.2	23.6	19.9	21.1	19.5
(Standardabweichung)	*11.2*	*22.8*	*18.0*	*17.9*	*17.9*	*18.0*	*19.6*	*19.1*	*18.5*

Tab. 26. Saataufgang und Überleben von Keimlingen aus Samen von Karbonat- und Silikatpopulationen auf dem Jakobshorn. Mittelwerte und Standardabweichungen von zehn Versuchsserien.
Seedling emergence and survival on Jakobshorn of seeds from carbonate and silicate populations. Mean values and standard deviation of ten trials.

	1989			1990			1991		
	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.
Jakobshorn									
Karbonatpopulationen									
Saataufgang	9.5	43.6	45.4	48.0	48.5	48.6	48.8	48.8	48.8
(Standardabweichung)	*11.5*	*32.7*	*31.0*	*28.9*	*28.9*	*28.8*	*28.7*	*28.6*	*28.6*
Überleben	9.0	43.0	28.4	5.4	0.8	0.4	0.1	0.1	0.1
(Standardabweichung)	*10.6*	*32.1*	*20.8*	*9.7*	*1.6*	*0.7*	*0.5*	*0.6*	*0.6*
Silikatpopulationen									
Saataufgang	11.0	41.0	42.8	46.2	46.7	47.0	48.9	49.2	49.2
(Standardabweichung)	*12.8*	*34.5*	*33.1*	*30.1*	*29.9*	*29.6*	*29.1*	*29.1*	*29.1*
Überleben	11.0	39.5	28.6	6.3	2.0	1.6	0.2	0.5	0.4
(Standardabweichung)	*12.8*	*34.1*	*24.4*	*9.8*	*6.3*	*4.7*	*0.5*	*1.2*	*1.0*

populationen über eine stärkere Keimruhe.
Die beobachteten Keimlinge auf der Strela wiesen geringe Unterschiede in der Mortalität auf (Karbonatpopulationen 63%, Silikatpopulationen 67%). Die Keimlinge, die von Samen einer substratfremden Population hervorgingen, starben eher als solche aus substratkompatiblen Populationen. Die Herkunft des Samenmaterials scheint also eine gewisse Rolle zu spielen, wenn auch nur geringe Unterschiede auftraten.

4.3.2.6. Ungeschützte Aussaaten und Aussaaten mit Curlex®

Werden ungeschützte und mit Curlex® abgedeckte Aussaaten miteinander verglichen, so ist die schützende Rolle der Holzfasermatte sichtbar, obschon sie nicht immer ausreichend war (Fig. 64, Tab. 27).
Das Abdecken mit Curlex® hatte ganz offensichtlich positive Auswirkungen auf das Überleben der jungen Keimlinge und der Jungpflanzen in den Aussaaten.
Auf dem Jakobshorn war im letzten Monat der ersten Beobachtungsperiode auf den ungeschützten Flächen eine Mortalität von 32% zu verzeichnen. Die geschützten Flächen hatten dagegen eine Mortalität von nur 11%. Im Winter starben dann freilich auf beiden Flächen so gut wie alle Jungpflanzen ab und am Ende der dritten Vegetationsperiode waren fast keine Jungpflanzen vorhanden.
Auf der Strela, wo die Keimlinge auch auf ungeschützten Flächen überleben

konnten, war die nachhaltige Wirkung der Abdeckung gut ersichtlich. Nach drei Jahren waren bei einem vergleichbaren Saataufgang auf den ungeschützten Flächen etwas mehr als 20% der Keimlinge als Jungpflanzen etabliert. Auf den geschützten Flächen wurde eine Überlebensrate von 30% beobachtet. Damit erwies sich das Überleben der Keimlinge auf Aussaatflächen mit

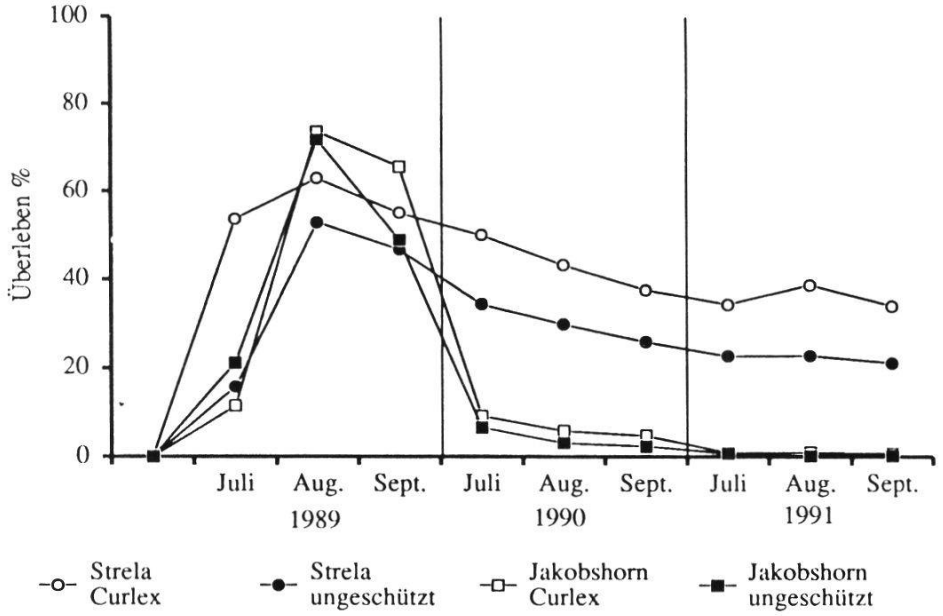


Fig. 64. Entwicklung der Aussaaten auf ungeschützten und mit Curlex® abgedeckten Versuchsflächen auf der Strela und Jakobshorn. Mittelwerte von zehn Arten.
Development of seeding trials on unprotected and with Curlex® protected plots at Strela and Jakobshorn. Mean values of ten species.

Tab. 26. Saataufgang und Überleben von Keimlingen aus Samen von Karbonat- und Silikatpopulationen auf dem Jakobshorn. Mittelwerte und Standardabweichungen von zehn Versuchsserien.
Seedling emergence and survival on Jakobshorn of seeds from carbonate and silicate populations. Mean values and standard deviation of ten trials.

	1989			1990			1991		
	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.
Jakobshorn									
Karbonatpopulationen									
Saataufgang	9.5	43.6	45.4	48.0	48.5	48.6	48.8	48.8	48.8
(Standardabweichung)	*11.5*	*32.7*	*31.0*	*28.9*	*28.9*	*28.8*	*28.7*	*28.6*	*28.6*
Überleben	9.0	43.0	28.4	5.4	0.8	0.4	0.1	0.1	0.1
(Standardabweichung)	*10.6*	*32.1*	*20.8*	*9.7*	*1.6*	*0.7*	*0.5*	*0.6*	*0.6*
Silikatpopulationen									
Saataufgang	11.0	41.0	42.8	46.2	46.7	47.0	48.9	49.2	49.2
(Standardabweichung)	*12.8*	*34.5*	*33.1*	*30.1*	*29.9*	*29.6*	*29.1*	*29.1*	*29.1*
Überleben	11.0	39.5	28.6	6.3	2.0	1.6	0.2	0.5	0.4
(Standardabweichung)	*12.8*	*34.1*	*24.4*	*9.8*	*6.3*	*4.7*	*0.5*	*1.2*	*1.0*

Curlex® signifikant besser als auf den Vergleichsflächen ohne Abdeckung.

4.3.2.7. Herbst- und Frühsommeraussaaten

Das Verhalten der Herbst- und Frühsommeraussaaten liess sich anhand der Mittelwerte von sechs Leguminosenarten aufzeigen (Fig. 65). Die Herbstaussaat mit unbehandelten Samen schnitt am schlechtesten ab: Der Saataufgang betrug nur knappe 30%. Die Frühsommeraussaat mit unbehandelten Samen lag gut 10% höher. Von den skarifizierten Samen keimten am meisten, allerdings war hier die Mortalität mit 60% auch recht hoch. Die skarifizierten Samen keimten innerhalb der ersten beiden Monate in grosser Zahl. Viele Keimlinge starben aber bald ab, wie es die bereits im September sinkenden Überlebensraten aufzeigten. Die Mortalität der Keimlinge, die aus den Samen der Herbstaussaat hervorgingen, war allerdings mit 66% noch höher. Die Mortalitätsrate der Jungpflanzen aus unbehandelten Samen war mit 54% am geringsten. Am Ende der dritten Vegetationsperiode waren insgesamt etwas mehr Pflanzen in Aussaaten mit skarifizierten Samen und bedeutend weniger in den Herbstaussaaten vorhanden als in den Aussaaten mit unbehandelten Samen.

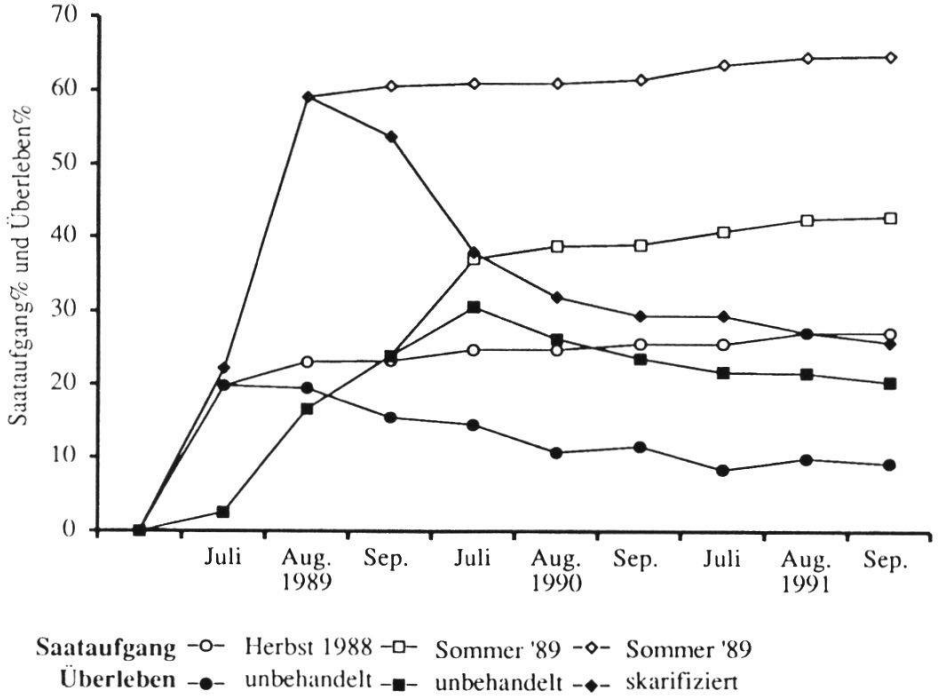


Fig. 65. Verhalten der Herbstaussaat mit unbehandelten Samen und Frühsommeraussaaten mit unbehandelten und skarifizierten Samen während drei Jahren. Mittelwerte von sechs Versuchsserien.
Behaviour of seeding trials in three years. Unpretreated seeds sown in autumn and in early spring and scarified seeds early spring. Mean values of six trials.

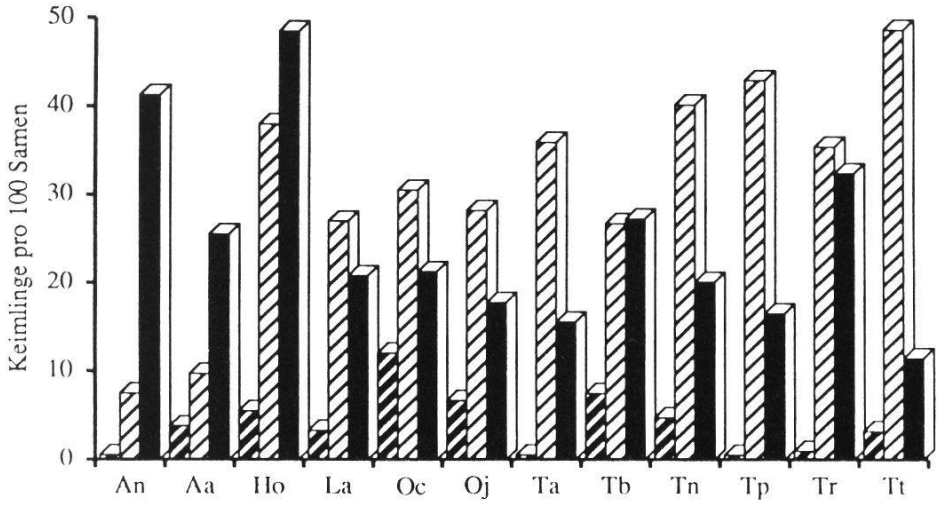
Es wird allgemein angenommen, dass skarifizierte Samen in Herbstaussaaten nicht überleben, da sie im Winter absterben. Im Herbst 1990 wurden in einer Aussaat im Oktober trotzdem skarifizierte Samen verwendet. Im September 1989, im Juli 1990 und im Oktober 1990 wurden jeweils die gleichen Samenproben ausgesät (Tab. 28, Fig. 66).

Gesamthaft gesehen bestätigte sich die Meinung, dass skarifizierte Samen den Winter im Boden nicht überleben. Allerdings wurden bei einige Samenproben auch eine nennenswerte Anzahl Keimlinge registriert: So bei *Oxytropis campestris* von Karbonat und *T. nivale* von Silikat auf dem Jakobshorn und bei *Trifolium badium* von Silikat auf der Strela. Die jeweiligen Saataufgänge blieben aber weit hinter denjenigen von skarifizierten Frühsommeraussaaten

Tab. 28. Saataufgang nach einer Vegetationsperiode in Aussaaten mit skarifizierten (sk.) Samen im Juli oder Oktober und unbehandelten (un.) Samen im September.
Seedling emergence during one year in plots sown with scarified (sk.) seeds in July or October, and with unpretreated (un.) seeds in September.

Art	Ernte	Herkunft der Samen	Untergrund	Saataufgang Okt. sk.		Sep. un.		Juli sk.	
				Ca	Si	Ca	Si	Ca	Si
Anthyllis alpestris	1988	Fanez unten	Ca	1	0	6	9	47	50
	1989	Zürich Garten	-	1	0	-	-	33	35
Astragalus alpinus	1988	Grünturm	Si	5	4	10	3	34	24
	1988	Fanez	Ca	0	0	15	7	18	10
	1989	Zürich Garten	-	11	3	-	-	53	14
Hedysarum obscurum	1988	Fanez	Si	8	3	40	36	47	50
Lotus alpinus	1988	Sertig	Ca	2	0	20	27	30	19
	1988	Dürrboden	Si	0	1	29	32	8	13
	1989	Zürich Garten	-	16	1	-	-	37	18
Oxytropis campestris	1988	Sertig	Ca	5	42	33	21	19	35
	1988	Chörbsch Horn	Si	0	1	32	36	18	13
Oxytropis jacquinii	1988	Gotschna	Ca	9	3	39	30	31	10
	1988	Schafläger	Si	13	1	24	13	11	19
	1989	Zürich Garten	-	3	11	-	-	21	13
Trifolium alpinum	1988	Jakobshorn	Si	0	1	36	36	15	16
Trifolium badium	1988	Fanez	Ca	0	1	18	17	14	9
	1988	Grünturm	Si	27	2	28	44	40	46
	1987	Zürich Garten	-	3	0	-	-	25	12
Trifolium nivale	1988	Gotschna	Ca	0	0	33	45	18	11
	1988	Grünturm	Si	4	32	47	36	13	17
	1989	Clavadel	Si	2	0	-	-	34	23
	1989	Zürich Garten	-	0	0	-	-	28	17
Trifolium pallescens	1988	Dürrboden	Si	0	1	56	30	14	19
	1989	Zürich Garten	-	0	0	-	-	14	13
Trifolium repens	1988	Clavadeler Alp	Si	0	2	40	31	14	5
	1989	Zürich Garten	-	0	0	-	-	58	30
	1989	Clavadel	-	3	2	-	-	63	25
Trifolium thalii	1988	Fanez	Ca	2	2	53	38	12	9
	1988	Schafläger	Si	5	4	52	52	1	2
	1989	Zürich Garten	-	0	0	-	-	18	27

oder unbehandelten Herbstaussaaten zurück (Tab. 28, Fig. 66).



An: *Anthyllis alpestris*
Aa: *Astragalus alpinus*
Ho: *Hedysarum·obscurum*
La: *Lotus alpinus*
Oc: *Oxytropis campestris*
Oj: *Oxytropis jacquinii*
Ta: *Trifolium alpinum*
Tb: *Trifolium badium*
Tn: *Trifolium nivale*
Tp: *Trifolium pallescens*
Tr: *Trifolium repens*
Tt: *Trifolium thalii*

Fig. 66. Saataufgang in verschiedenen Aussaaten. Mittelwerte verschiedener Populationen nach einem Jahr.
Seedling emergence in differnt seeding trilas. Mean values of different populations after one year.

Frühsommeraussaat mit skarifizierten Samen - *seeding in spring with scarified seeds*
▨ Herbstaussaat mit skarifizierten Samen - *seeding in autumn with scarified seeds*
▨ Herbstraussaat mit unbehandelten Samen - *seeding in autumn with unpretreated seeds*

4.3.2.8. Saatbeetbehandlungen

Bei allen behandelten Flächen zeigte sich ein ähnliches Bild. Durch die Zugabe von 1 kg Substrat/m^2 konnte der Anteil der überlebenden Pflanzen um ein Vielfaches erhöht werden, wie der Vergleich mit der Kontrolle zeigt. In der Kontrolle wurden jeweils Curlex® und Dünger verwendet, jedoch kein Substrat. Die Zugabe einer grösseren Menge von Substrat mit Dünger ergab dagegen keine grössere Steigerung verglichen mit der Fläche, wo nur Dünger verwendet wurde (Fig. 67). Werden die jeweiligen Zahlen von Flächen mit Substrat und solchen mit Substrat und Dünger verglichen, so ergibt sich in zwei Fällen eine Verbesserung und in zwei eine Verschlechterung. In allen Versuchserien schnitt die kombinierte Behandlung der Saatfläche mit einer kleinen Menge Substrat und etwas Dünger zusammen mit einer Abdeckung

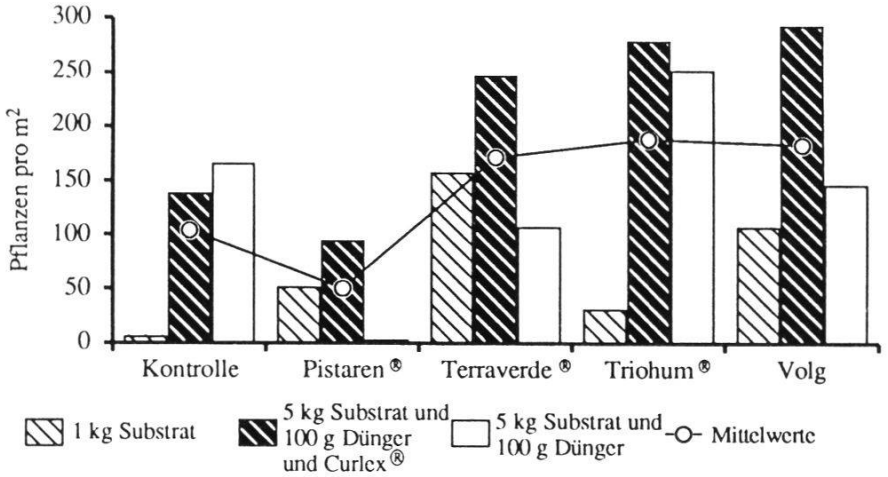
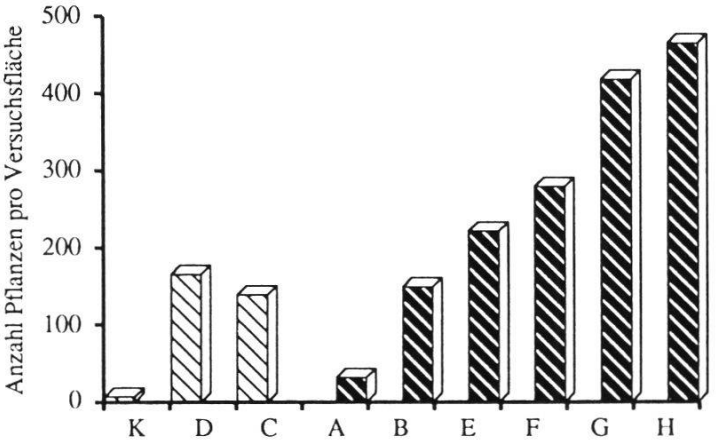


Fig. 67. Entwicklung der Ansaaten bei Verwendung von vier verschiedenen Substraten in unterschiedlichen Konzentrationen und in Kombinationen mit Curlex® und Dünger. Anzahl Pflanzen pro m^2 nach zwei Jahren. In der Kontrolle wurde kein Substrat verwendet.
Development of seeding trials in plots four different substrates in different concentrations used and in combination with Curlex ® and fertilizer. Number of plants per m^2 after two years. No substrate used in control series.

mit Curlex® am besten ab. Terraverde®, Triohum® und das Volg-Produkt erwiesen sich als etwa gleich gut. Pistaren® war dagegen in dieser Konzentration für die untersuchten alpinen Arten offenbar ungeeignet.
Die Entwicklung der Aussaaten in Flächen mit verschiedenen Abdeckmaterialien war recht unterschiedlich (Fig. 68).



K = Kontrolle, D = Nur Dünger, C = Nur Curlex®
A = Triohum®, B = Triohum® und Dünger, E = Triohum®, Jute und Curlex, F = Triohum®, Dünger und Curlex®, G = Triohum® und Jute, H = Triohum® und Curlex®

Fig. 68. Anzahl Pflanzen nach zwei Vegetationsperioden bei Verwendung von verschiedenen Abdeckmaterialien und verschiedenen Dünger- und Substratzusätzen. Abdeckungen: Curlex® und Jute; Substrat: 1 kg Triohum®/m^2, Dünger: 100 g Certoplant Royal® /m^2.
Number of plants after two years in plots covered with different material and different additions of substrate and fertilizer. Geotextiles used: Curlex® and Jute; Substrate:1 kg/m^2 Triohum®, fertilizer: 100 g Certoplant Royal® /m^2.

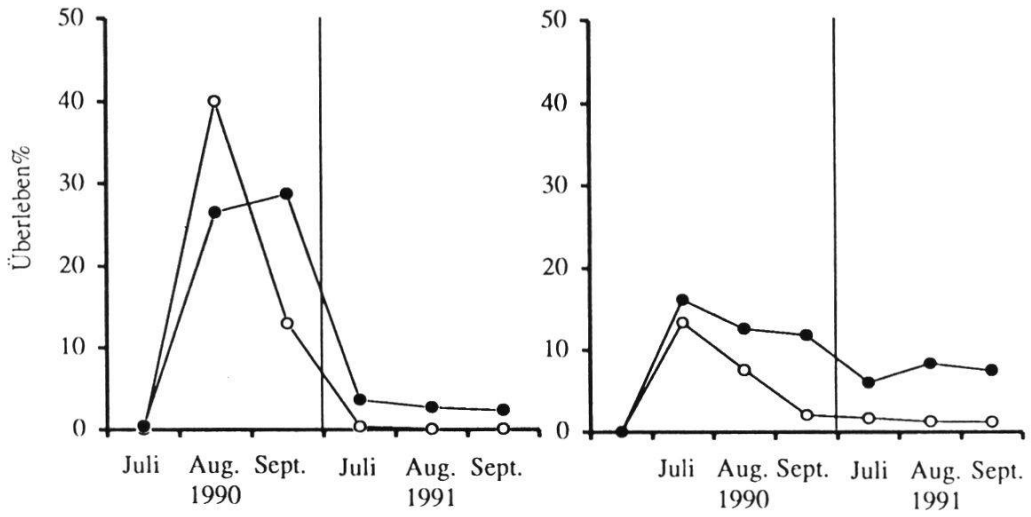


Fig. 69. Überleben von Aussaaten auf unbehandelten und mit Dünger und Substrat behandelten Flächen auf dem Jakobshorn: Links skarifizierte, rechts unbehandelte Samen.
Seedling survival in untreated plots or in plots with fertilizer and soil added at Jakobshorn. Left: scarified seeds, right: unpretreated seeds.
○ unbehandelten Flächen - *untreated plots*
● mit Dünger und Substrat behandelte Flächen -*plots with fertilizer and soil added*

In allen Fällen konnte das Überleben der Keimlinge um ein vielfaches gesteigert werden. Auch hier war die die kombinierte Behandlung des Saatbeetes mit Substrat und einer Abdeckung am erfolgreichsten. Auf den Flächen mit Curlex®-Abdeckung und Substrat waren am meisten Jungpflanzen zu finden, dicht gefolgt von den Flächen mit Jute-Abdeckung und Substrat. Das feinere Curlex®-Material scheint auf dem Jakobshorn besser geeignet zu sein als das sehr grobmaschige Jutenetz. Eine Kombination der beiden Abdeckungen ergab schlechtere Überlebensraten, wohl hauptsächlich wegen der grösseren Beschattung.
Das Überleben der substratkompatiblen Aussaaten auf Saatbeet mit Dünger- und Substratzusatz war signifikant besser als auf unbehandelten Flächen. Dies galt sowohl für Aussaaten mit unbehandelten wie auch mit skarifiziertem Samen. Auf dem Jakobshorn wurden bei beiden Aussaatsmethoden überlebende Jungpflanzen registriert (Fig. 69). Auf einer Fläche von *Trifolium badium* wurden sogar blühende Pflanzen beobachtet. Überraschenderweise war in den Aussaaten mit unbehandelten Samengut eine viel besseres Überleben zu verzeichnen, obwohl der Saataufgang weniger als die Hälfte betrug.
Auch auf der Strela überlebten die Keimlinge auf den ungedüngten Flächen besser. Die Aussaaten mit skarifiziertem Samengut zeigten ein signifikant besseres Überleben auf den unbehandelten Flächen. Bei den unbehandelten

Serien war das Überleben nicht besser, aber die Pflanzen waren in der Regel um einiges grösser und blühten zum Teil bereits im zweiten Jahr (Fig. 70).

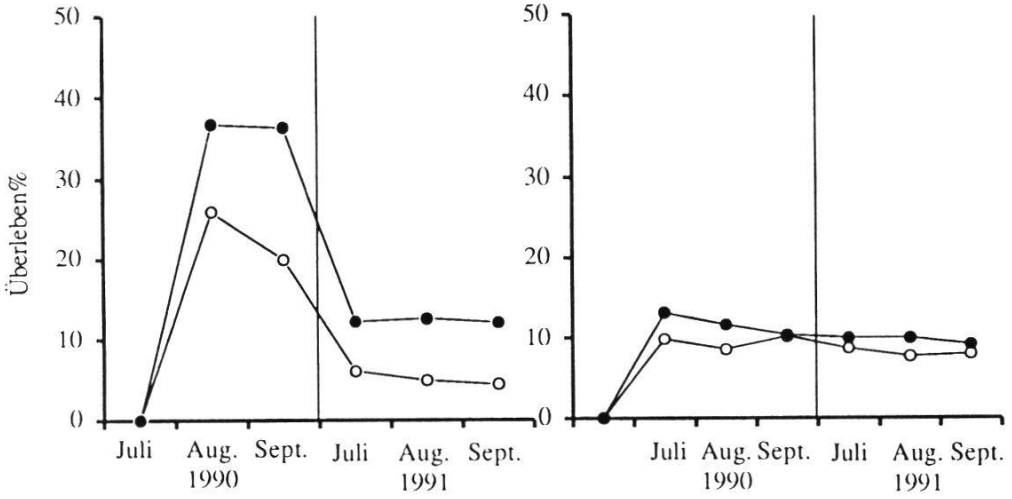


Fig. 70. Überleben von Aussaaten auf unbehandelten und mit Dünger und Substrat behandelten Flächen auf der Strela: Links skarifizierte, rechts unbehandelte Samen.
Seedling survival in untreated plots or in plots with fertilizer and soil added at Jakobshorn. Left: scarified seeds, right: unpretreated seeds.
○ unbehandelten Flächen - *untreated plots*
● mit Dünger und Substrat behandelte Flächen -*plots with fertilizer and soil added*

4.3.3. Entwicklung der Jungpflanzen

Auf dem Jakobshorn überlebten nur wenige Pflanzen mehr als zwei Jahre. Zu denjenigen, die sich etablieren konnten gehören vor allem *Trifolium alpinum* und *Lotus alpinus*. Die Pflanzen blieben aber sehr klein und es wurde nur ein limitiertes expansives Wachstum verzeichnet (Fig. 71).
Auf der Strela überlebten viele Pflanzen auch längere Zeit. Sie waren in der Regel gut etabliert, hatten ein dichtes Wurzelwerk und insgesamt eine beachtliche Biomasse entwickelt. Einige bildeten im dritten und vierten Lebensjahr Blüten. Durch die Zugabe einer geringen Menge Substrat und Dünger konnte die Etablierung verbessert und der Zeitraum bis zur ersten Blütenbildung um ein bis zwei Jahre verkürzt werden. Zur Illustration einige Beispiele:
Anthyllis alpestris: Die meisten Jungpflanzen überlebten mehrere Jahre. Einige blühten im zweiten Jahr zum ersten Mal und im dritten Jahr waren zahlreiche blühende Pflanzen zu beobachten. Auffallend war die im Vergleich zu den oberirdischen Strukturen eher geringe Wurzelmasse (Fig. 72).
Oxytropis jacquinii: *O. jacquinii* investierte vor allem in das Wachstum der Wurzeln (Fig. 73). Diejenige Pflanzen, die mehr als zwei Jahre überlebten,

Fig. 71. Vierjährige Pflanzen auf dem Jakobshorn.
Four year-old plants on the Jakobshorn.
Links -*left: Lotus alpinus,* rechts - *right: Trifolium alpinum*

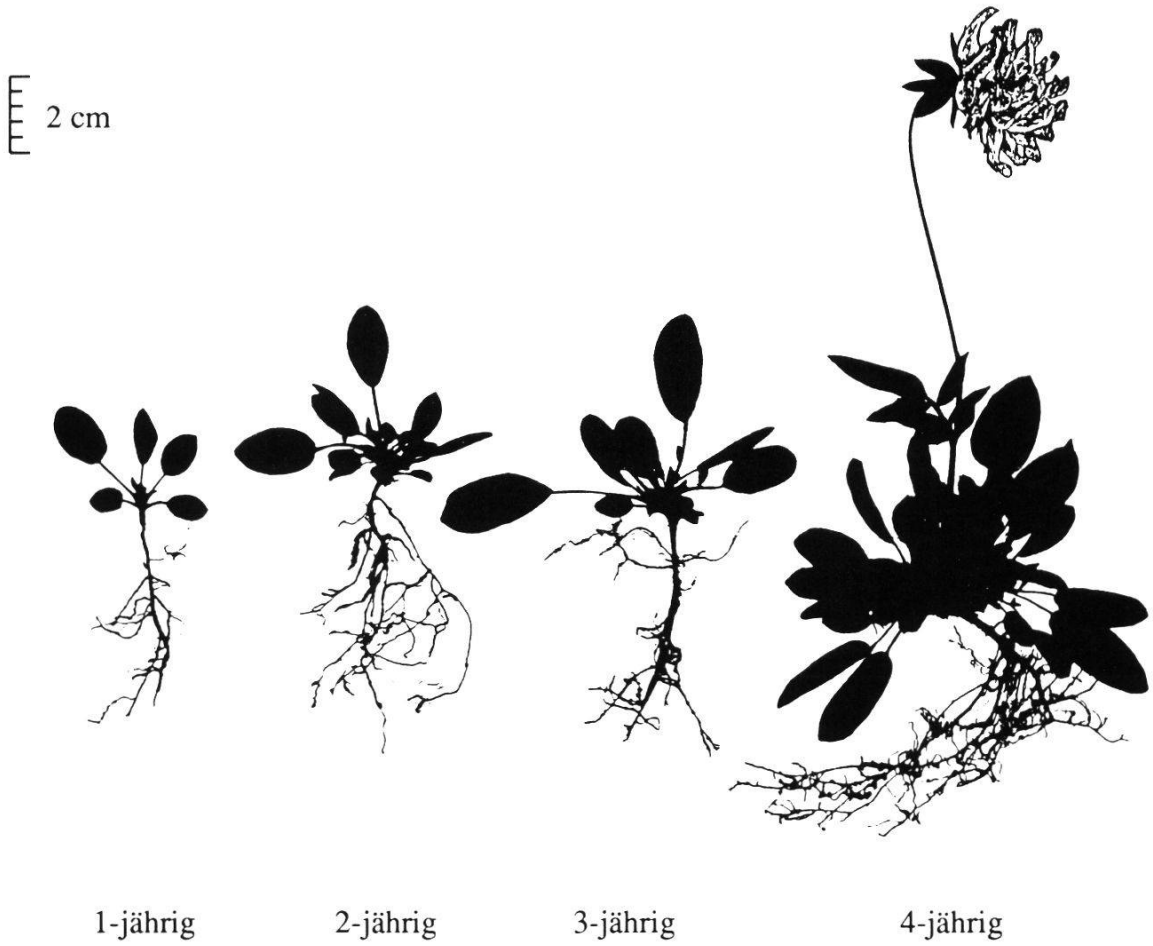


Fig. 72. *Anthyllis alpestris:* Jungpflanzenentwicklung im Verlauf von vier Jahren.
Anthyllis alpestris: Development of young plants in four years.

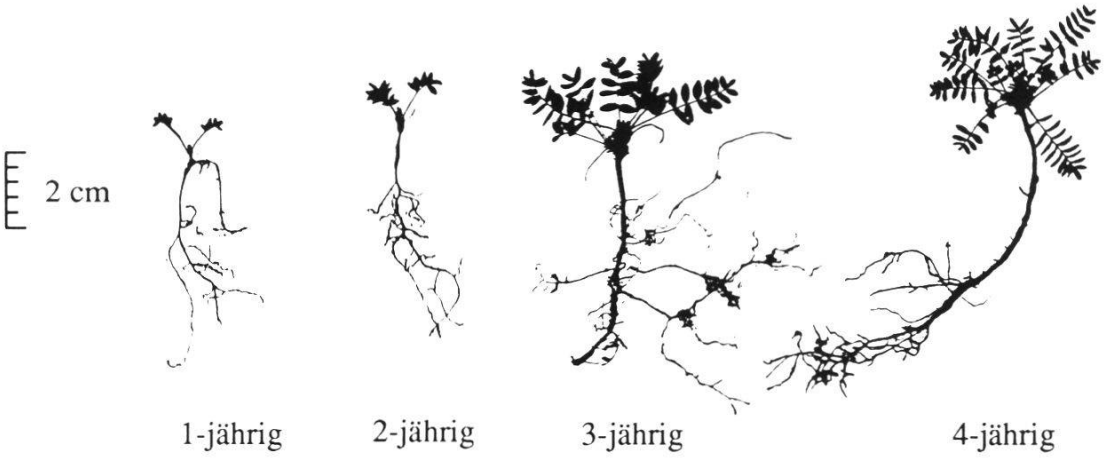


Fig. 73. *Oxytropis jacquinii:* Jungpflanzenentwicklung im Verlaufe von vier Jahren.
Oxytropis jacquinii: Development of young plants in four years.

Fig. 74. Blühende Jungpflanzen auf gedüngtem Saatbeet nach zwei Jahren.
Blooming young plants on fertilized plots after two years.
Links - *left: Trifolium badium;* rechts - *right: T. nivale*

Fig. 75. *Trifolium badium:* Jungpflanzenentwicklung im Verlauf von vier Jahren.
Trifolium badium: Development of young plants in four years.

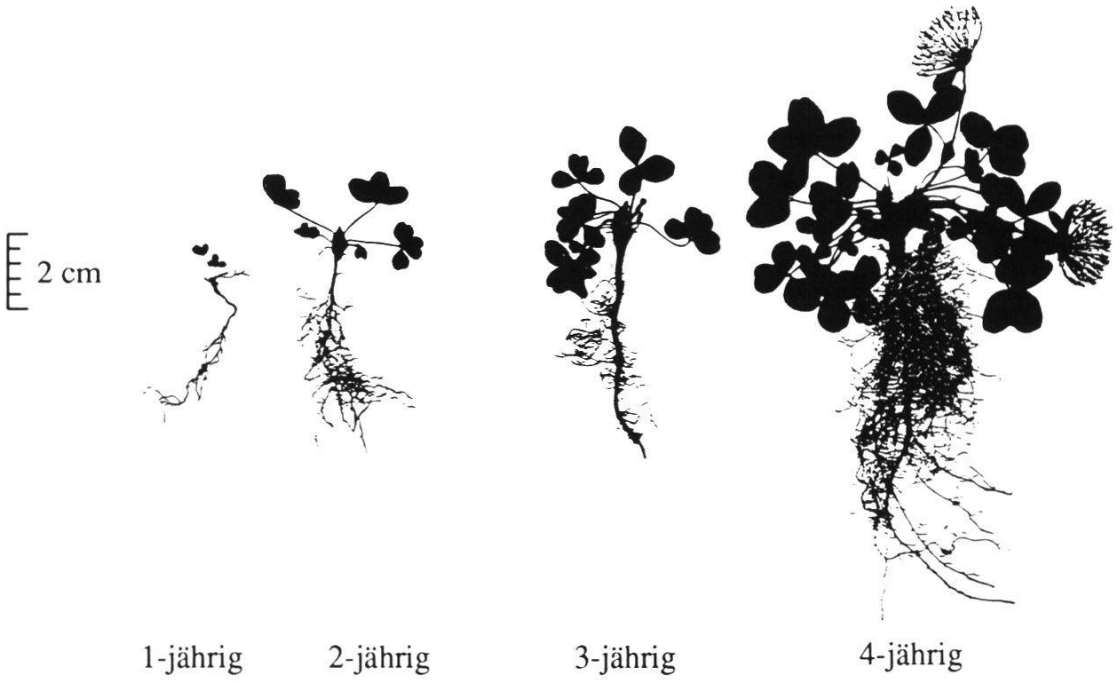


Fig. 76. *Trifolium nivale:* Jungpflanzenentwicklung im Verlaufe von vier Jahren.
Trifolium nivale: Development of young plants in four years.

zeigten ausnahmslos eine beachtliche Pfahlwurzel, die tief in den Boden reichte. Blüten wurden in der Versuchsperiode von vier Jahren keine gefunden.

Trifolium badium und ***Trifolium nivale*** zeigten eine sehr ähnliche Entwicklung (Fig. 75 und 76). Die Pflanzen verfügten über etwa gleichviel ober- wie unterirdische Biomasse. Die Wurzel bestand aus einer stark verholzten Pfahlwurzel, die zahlreiche Seitenwurzeln mit einer grossen Anzahl Wurzelknöllchen hatte. Die ersten Blüten traten vereinzelt im dritten Jahr und im grösseren Umfang im vierten Jahr auf. Die Pflanzen, die sich auf gedüngtem Saatbeet entwickelten, blühten bereits im zweiten Jahr (Fig. 74).

4.3.4. Entwicklung der ausgepflanzten Individuen

Aus Samen je einer Silikat- und Karbonatpopulation von vier Arten (*Lotus alpinus, Trifolium badium, T. nivale* und *T. thalii*) und aus je einer Silikatpopulation von zwei Arten (*T. repens* und *T. pallescens*) wurden je 80 Pflanzen während etwa 100 Tagen grossgezogen. Diese Individuen wurden auf der Skipiste Jakobshorn auf Silikat ausgepflanzt und während zwei Jahren auf Überleben, Entwicklung neuer Triebe und Blütenbildung untersucht. Die Hälfte der Pflanzen wurde im ersten Frühjahr mit einem wurzelwirksamen Langzeitdünger behandelt.

Das Überleben der Pflanzen war allgemein recht gut, wobei es grosse Unterschiede zwischen den Arten und den verschiedenen Populationen gab (Tab. 29).

Tab. 29. Überleben und Entwicklung der Anzahl Triebe der sechs Arten während drei Jahren auf dem Jakobshorn. Mittelwerte der gedüngten und ungedüngten Flächen.
Survival and development of new ramets of the six species over three years at Jakobshorn. Mean values of plots untreated and plots with fertilizer added.

Art	Herkunft des Samenmaterials	Untergrund	Überleben %			Anzahl Triebe von 10 Pflanzen		
			1989	1990	1991	1989	1990	1991
Lotus alpinus	Sertig	Ca	100	46	15	78	44	32
	Dürrboden	Si	100	94	51	101	100	93
Trifolium badium	Bodmen	Ca	100	71	19	30	46	33
	Grünturm	Si	100	76	60	18	47	50
Trifolium nivale	Gotschna	Ca	100	85	64	15	22	22
	Grünturm	Si	100	71	45	14	29	32
Trifolium pallescens	Dürrboden	Si	100	96	98	40	87	89
Trifolium repens	Clavadeler Alp	Si	100	94	94	27	57	59
Trifolium thalii	Bodmen	Ca	100	79	73	27	68	68
	Grünturm	Si	100	93	91	39	98	106

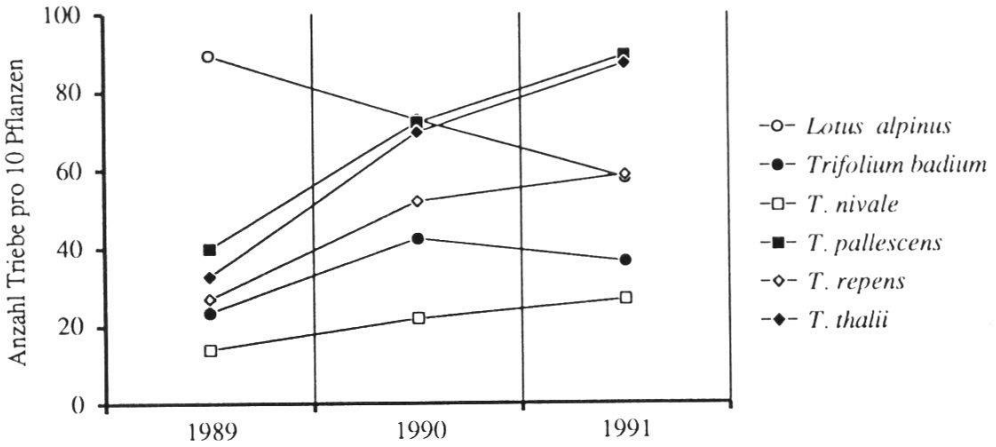


Fig. 77. Entwicklung der Anzahl Triebe der sechs untersuchten Arten während drei Jahren Mittelwerte.
Development of new ramets of the six species studied over three years. Mean values.

In Hinsicht auf die Entwicklung neuer Triebe bei den ausgepflanzten Arten lassen sich aus den sechs Arten grundsätzlich zwei Gruppen bilden (Fig. 77). Zur ersten Gruppe gehören Pflanzen mit einem starken Zuwachs an neuen Trieben. Sie besteht aus *Trifolium pallescens, T. thalii* und *T. repens*. Besonders die ersten beiden Arten zeigten einen ausgesprochen grossen Zuwachs neuer Triebe.
Die zweite Gruppe bestand aus Pflanzen mit einer sehr schwachen Zunahme oder Abnahme von Trieben. *Trifolium nivale* zeigte über die drei Jahre nur eine ganz geringe Zunahme. *T. badium* hatte im zweiten Jahr etwa doppelt soviele Triebe wie nach der Auspflanzung, im dritten Jahr starben aber viele wieder ab. *Lotus alpinus* zeigte die deutlichste Abnahme. Am Anfang waren recht viele Triebe vorhanden, die im Laufe der Beobachtungszeit von drei Jahren zum grossen Teil abstarben (Fig. 77).
Die Entwicklung neuer Triebe lässt ganz allgemein die Vitalität der Pflanzen vermuten, da es sich um expansives Wachstum handelt. So erstaunt es nicht, dass beim Betrachten der Sterblichkeit bzw. des Überlebens der Pflanzen ganz analoge Gruppen gebildet werden konnten (Fig. 78).
Die drei Arten der ersten Gruppe, *T. pallescens, T. repens* und *T. thalii,* überlebten recht gut. Maximal 20% der Pflanzen starben bis zum Abbruch der Untersuchungen nach drei Jahren.
Von den ausgepflanzten Individuen der zweiten Gruppe, *Lotus alpinus, T. badium* und *T. nivale* lebten im dritten Jahr weniger als die Hälfte.
Die Individuen, die auf der Skipiste Jakobshorn ausgepflanzt wurden, gingen aus Samen hervor, die in verschiedenen Populationen auf Silikat- und Karbo-

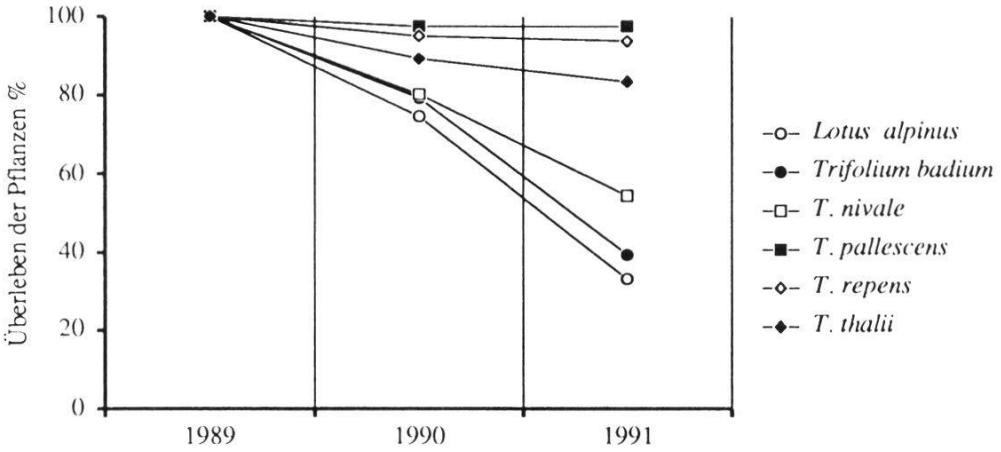


Fig. 78. Überleben der Pflanzen der sechs Arten während drei Jahren. Mittelwerte.
Survival of the plants of the six species over three years. Mean values.

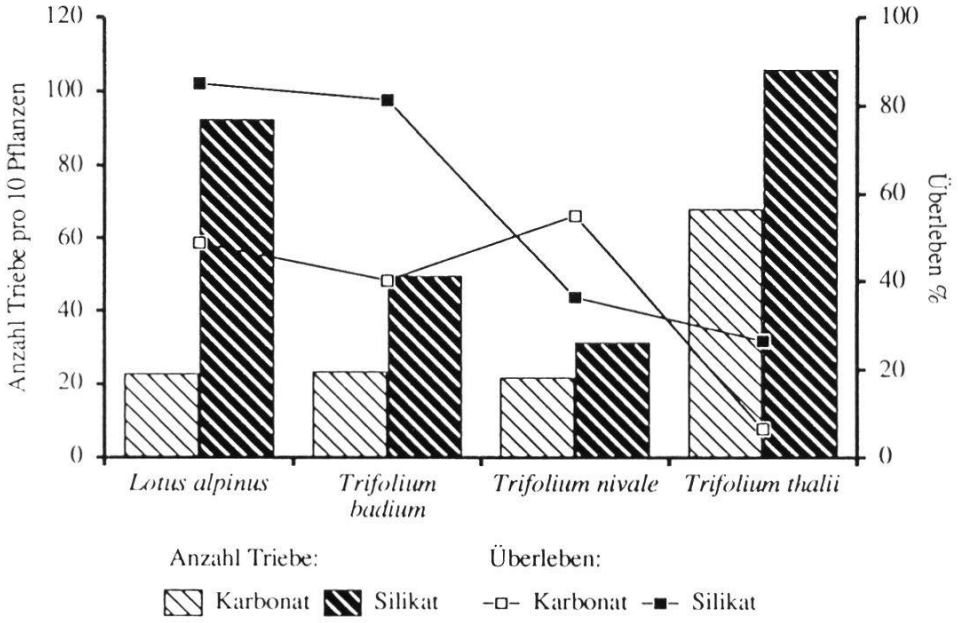


Fig. 79. Vergleich der Anzahl Triebe der verschiedenen Populationen (Si-Ca) und des Überlebens der Pflanzen nach Abschluss der Untersuchung.
Comparison between number of ramets of the different populations (Si-Ca) and of the survival of the plants at the end of the observation period.

natstandorten gesammelt wurden. Die daraus hervorgegangenen Pflanzen stellen also einen Querschnitt durch den Genpool dieser Populationen dar.
Jene Pflanzen, die aus Samen von Karbonatpopulationen hervorgingen, zeigten alle eine niedrigere Zuwachsrate an neuen Trieben. Auch die Mortalität war bei den Karbonatpopulationen signifikant höher. Nur bei *Trifolium nivale* überlebten die Pflanzen der Silikatpopulationen schlechter (Fig. 81).

Fig. 80. *Lotus alpinus* in Auspflanzungen auf dem Jakobshorn (Silikat) nach drei Jahren. Links: Pflanzen aus Samen von Silikatpopulationen; rechts: Pflanzen aus Samen von Karbonatpopulationen.
Lotus alpinus three years after planting at Jakobshorn (silicate). Left: plant from seeds harvested on silicate; right: Plant from seeds harvested on carbonate.

Am Beispiel von *Lotus alpinus* sind die Unterschiede zwischen den Pflanzen aus Samen von Silikat- bzw. Karbonatpopulationen besonders deutlich (Fig. 80).
Beide Pflanzen hatten ein stark verholztes Rhizom und eine gut ausgebildete Wurzelmasse. Während bei den Pflanzen der Karbonatpopulationen nur wenige neue Triebe gebildet wurden und viele abstarben, wuchsen die Pflanzen der Silikatpopulationen auch oberirdisch recht üppig. Die Silikatpflanzen bildeten viele Blüten und reife Früchte, während die Karbonatpflanzen nur wenige oder gar keine Blüten entwickelten.
Durch die Düngung konnte im allgemeinen ein verstärktes expansives Wachstum der Pflanzen sowohl unterirdisch wie auch oberirdisch erreicht werden. Dies drückte sich in der erhöhten Anzahl von Trieben aus (Fig. 81, Tab. 30). Auffallend ist die Entwicklung der Blüten. Die Anzahl von Blüten

Tab. 30. Vergleich zwischen Pflanzen von ungedüngten und gedüngten Auspflanzflächen. Numerische Werte.
Comparison between plants from unfertilized and fertilized plantings. Numerical values.

Art	Anzahl Triebe pro 10 Pflanzen		Überleben der Pflanzen [%]		Anzahl Blüten pro 100 Pflanzen	
	ungedüngt	gedüngt	ungedüngt	gedüngt	ungedüngt	gedüngt
Lotus alpinus	54	62	38	29	12	73
Trifolium badium	41	32	46	33	26	104
Trifolium nivale	16	38	74	35	3	15
Trifolium pallescens	55	123	98	98	18	559
Trifolium repens	61	56	95	93	1	41
Trifolium thalii	82	93	76	91	96	317
Durchschnitt	51.5	67.3	71.2	63.2	26.0	184.8

auf den gedüngten Flächen überstieg diejenige der ungedüngten Flächen um ein Vielfaches. Das Überleben in gedüngten Flächen war bei *Trifolium repens* besser, bei wenigen Arten etwa gleich gut und bei einigen aber erheblich schlechter (Fig. 81). Werden die einzelnen Werte der gedüngten und ungedüngten Versuchsserien etwas genauer betrachtet, so fällt auf, dass vor al-

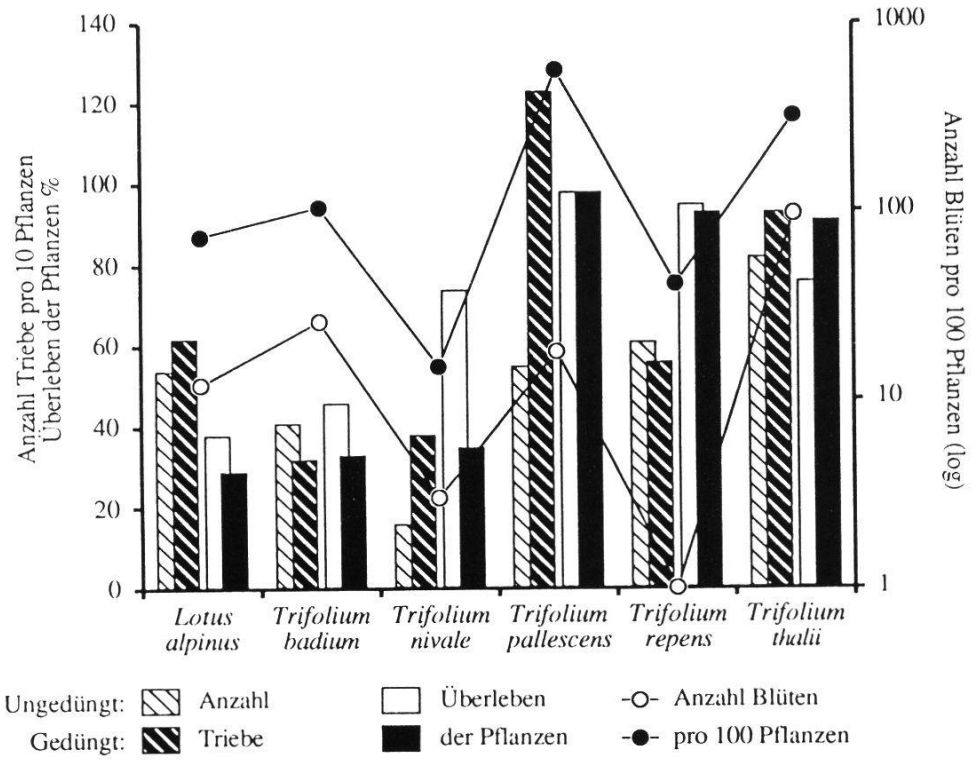


Fig. 81. Vergleich zwischen Pflanzen von ungedüngten und gedüngten Versuchspflanzungen auf dem Jakobshorn nach drei Jahren.
Comparison between plants planted in unfertilized and fertilized soil at Jakobshorn after three years.

lem die Arten der ersten Gruppe von einer Düngung profitierten. Das Überleben war etwa gleich gut oder sogar etwas besser bei Düngung. Die Entwicklung neuer Treibe war erheblich besser und die Blütenentwicklung war um ein vielfaches grösser. Die Vertreter der zweiten Gruppe zeigten dagegen ausnahmslos eine erhöhte Mortalität bei Düngung und nur eine geringe Erhöhung der Bildung neuer Triebe (Fig. 81).
Betrachtet man die Flächen oder einzelne Pflanzen, die mit Dünger behandelt wurden, so sind die Unterschiede augenfällig. Am Beispiel von *Trifolium pallescens* (Fig. 82) wird dies deutlich. Die gedüngten Pflanzen waren deutlich grösser und hatten mehr Triebe gebildet als die ungedüngten. Bei beiden Pflanzen waren die ober- und die unterirdischen Teile gut ausgebildet. Auffallend war die grosse Anzahl Blüten bei den gedüngten Exemplaren. Dies obwohl ein wurzelwirksamer Dünger zur Anwendung kam.

Fig. 82. *Trifolium pallescens:* Wachstum und Entwicklung in Auspflanzungen nach drei Jahren. Links: Ungedüngt; rechts: Im zweiten Jahr gedüngt.
Trifolium pallescens: growth and development in plantings three years after planting. Left: Without fertilizer; right: Fertilizer added in the second year.

4.3.5. Samenproduktion und Samenbank

Die allgemeinen Beobachtungen am Lebenszyklus der vier untersuchten Arten stellen eine Momentaufnahme dar, welche sicherlich in den verschiedenen Jahren stark schwanken kann. Dennoch sind einige Aspekte erwähnenswert (Tab. 31).

In den ausgewählten Quadratmeterflächen der Population von *Astragalus frigidus* waren, verglichen mit den anderen Arten, am meisten Pflanzen vorhanden. Dagegen wurden insgesamt nur wenige Blütenstände gebildet in denen nur vereinzelt Samen heranreiften. Die meisten dieser Samen waren zudem parasitiert und reiften nicht vollständig heran. Insgesamt wurden so pro Quadratmeter nur einige wenige Samen gebildet. In der Samenbank befanden sich etwa gleich viele Samen, wie in einem Jahr heranreifen.

In den Populationen von *Oxytropis jacquinii, Trifolium badium* und *T. thalii* waren pro Quadratmeter etwa gleich viel Pflanzen vorhanden. Die Samenproduktion war recht hoch mit durchschnittlich etwa 200-800 Samen/m^2. Mehr als die Hälfte der Samen war gut ausgebildet und voll lebensfähig. Trotzdem fanden sich im Boden nur eine geringe Anzahl von Samen in Keimruhe. Die Menge der im Boden gefundenen Samen entsprach nur einem geringen Prozentsatz der jährlich gebildeten, lebensfähigen Samen (Tab. 31).

Tab. 31. Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Pflanzen, Blütenstände, neu gebildeten Samen und der Samen im Boden von zehn Flächen à 1 m^2.
Number of plants, their flowers, seeds and the seeds in the soil for ten plots, each 1 m^2. Mean values and strandard deviation.

Art	Anzahl Pflanzen	Blütenstände	Samen	Lebensfähige Samen (% Samen)	Samenbank (% der lebensfähigen Samen)
Astragalus frigidus	17.4±9.9	6.2±5.2	36.6±28.3	4.8±4.2 (13%)	3.9±8.3 (82%)
Oxytropis jacquinii	8.7±4.1	15.2±8.6	427±301	288±175 (67%)	19.6±26.0 (7%)
Trifolium badium	8.3±4.8	52.5±21.5	197±80	122±55 (62%)	47.1±53.3 (38%)
Trifolium thalii	6.3±3.4	69.4±32.4	756±258	395±168 (52%)	8.7±14.3 (2%)