

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

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: 01.02.2026

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

**Experimentelle Untersuchungen über Keimung
und Etablierung von alpinen Leguminosen**

Experimental studies on the germinating behaviour
and early developmental phases of alpine *Leguminosae*

Remo Peter FLÜELER

1992

INHALT

Vorwort	5
1. Einleitung	6
1.1. Fortpflanzung durch Samen	6
1.2. Zu den Skipistenplanierungen	20
2. Das Untersuchungsgebiet	26
2.1. Das Klima im Untersuchungsgebiet	28
2.2. Skipisten im Untersuchungsgebiet	31
2.3. Die Untersuchungsflächen auf den Skipisten	31
3. Material und Methoden	34
3.1. Ernte und Aufbewahrung des Samenmaterials, Sammeln von Pflanzenmaterial	34
3.2. Überblick über die durchgeführten Versuche	36
3.3. Untersuchungen im Labor	37
3.4. Untersuchungen in der Klimakammer	37
3.5. Untersuchungen im Felde	41
4. Ergebnisse	51
4.1. Sameneigenschaften	51
4.1.1. Samenanatomie	51
4.1.2. Diversität und Variabilität des Samengewichtes	51
4.1.3. Samengewicht und Herkunft der Samen	53
4.2. Keimverhalten und Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen	54
4.2.1. Verschiedene Vorbehandlungsarten	54
4.2.2. Keimfähigkeits- und Tetrazoliumtest im Vergleich	56
4.2.3. Keimungsraten - Überblick	58
4.2.4. Lichtverhältnisse und Keimung	65
4.2.5. Temperatur und Keimung	66
4.2.6. Samengewicht und Keimverhalten	67
4.2.7. Vergleich von Samen aus natürlichen Populationen und den Versuchsgärten Clavadel und Zürich	69
4.2.8. Keimverhalten von Samen aus Silikat- und Karbonatpopulationen	70
4.2.9. Samenverhalten im Verlaufe der Zeit	72
4.2.10. Jungpflanzenentwicklung	77
4.3. Untersuchungen im Felde	84
4.3.1. Mikroklima und Bodenuntersuchungen	84
4.3.2. Saataufgang und Etablierung der Jungpflanzen	92
4.3.3. Entwicklung der Jungpflanzen	117
4.3.4. Entwicklung der ausgepflanzten Individuen	121
4.3.5. Samenproduktion und Samenbank	127
5. Diskussion	128
Zusammenfassung	141
Summary	142
Literaturverzeichnis	143

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1988-1992 am Geobotanischen Institut ETH, Stiftung Rübel, Zürich, unter der Leitung von Frau Prof. Dr. K.M. Urbanska. Ihre vielen Tips und Anregungen, ihr unermüdlicher Einsatz und ihre intensive Betreuung seien hier ganz speziell verdankt. Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. E. Landolt, welcher die Arbeit kritisch begleitete.

Für die Hilfe bei den Bodenuntersuchungen bin ich Herrn E. Schäffer zu grossem Dank verpflichtet. Im Felde waren Frau K. Rentsch Brassel und Herr M. Hofbauer eine grosse Hilfe. Um die Pflege der Pflanzen im Versuchsgarten und Gewächshaus kümmerte sich Herr M. Fotsch.

Allen Mitgliedern der alpinen Gruppe, insbesondere meinen Kollegen Herrn F. Tschurr und Herrn A. Hasler, danke ich für die Kameradschaft und die gute Stimmung während unsern Aufenthalten in Davos-Clavadel. Auch allen anderen Mitgliedern des Geobotanischen Institutes, die mir in irgendeiner Weise behilflich waren, sei hier herzlich gedankt.

Meine Freunde Herr R. Reindl, Frau R. Pezzotta und Herr D. Sigg begleiteten mich in Davos und halfen beim Samensammeln.

Meiner Freundin R. Pezzotta bin ich für die genaue Durchsicht dieser Arbeit zu grossem Dank verpflichtet.

Frau V. Moulding war bei den englischen Übersetzungen eine grosse Hilfe.

Für die finanzielle Unterstützung danke ich dem Schweizerischen Nationalfonds und dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern für die Unterstützung während des ganzen Biologiestudium danken.

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Keimverhalten und der Jungpflanzenentwicklung von alpinen Leguminosen. Ihr Ziel ist es einerseits die Lebensstrategien hochalpiner Pflanzen besser zu erfassen, andererseits auch anwendungsorientierte Aspekte der biologischen Erosionsbekämpfung oberhalb der Waldgrenze zu erforschen. Es soll abgeklärt werden, ob mit alpinen Leguminosen eine biologische Erosionsbekämpfung möglich ist.

1.1. FORTPFLANZUNG DURCH SAMEN

1.1.1. Fortpflanzung durch Samen und vegetative Fortpflanzung

Alle Blütenpflanzen können sich grundsätzlich auf zwei Weisen fortpflanzen, nämlich einerseits vegetativ, andererseits durch Samen (sexuell oder asexuell gebildet). Vegetative Fortpflanzung erfolgt entweder durch Propagulen (d.h. Brutknospen, Bulbillen etc.), oder durch Fragmentation klonal wachsender Pflanzen, nach URBANSKA (1991) Klonierung genannt. Diese Art der Fortpflanzung hat den Vorteil, dass die gebildeten Nachkommen eine grosse Überlebenschance haben. Sie verfügen oft über beachtliche Nährstoffreserven und können sich meistens sehr schnell zu erwachsenen Pflanzen entwickeln. Die Bildung von vegetativen Nachkommen stellt für die Mutterpflanze also eine ziemlich risikolose Investition dar.

Anders die Fortpflanzung durch Samen: Hier treten oft sehr grosse Verluste an Nachkommen auf. Laut HICKMANN (1979) sind die Samen, nicht etwa die Keimlinge, dasjenige Stadium des pflanzlichen Lebens, das die weitaus grösste Sterberate aufweist. Bis zu 95% einer Pflanzengeneration gehen hier zu grunde. Da sich die Samenproduktion im Laufe der Evolution trotzdem durchsetzen konnte, muss sie auch gewaltige Vorteile mit sich bringen. Diese liegen einerseits in der besseren Ausbreitungsmöglichkeit von Samen, andererseits ermöglichen sexuell gebildete Samen eine Neukombination der elterlichen Gene. Da Samen oft eine ausgesprochen lange Lebensdauer haben, können sie ungünstige Umweltbedingungen überdauern. Aus diesem Grund spielen Samen bei der Regeneration von Populationen bzw. Pflanzengemeinschaften eine wichtige Rolle.

Nach einigen Autoren (z.B. BILLINGS und MOONEY 1968) nimmt die Fort-

pflanzung durch Samen, unter den für eine Keimlingsentwicklung eher ungünstigen alpinen Bedingungen, im allgemeinen zugunsten der vegetativen Fortpflanzung ab. Allerdings ist damit auch oft bloss vegetatives Wachstum (klonales Wachstum) gemeint. Auf offenen Flächen und bei lückiger Vegetation ist die Fortpflanzung durch Samen aber auch bei alpinen Arten erfolgreich (FOSSATI 1980, GASSER 1986). Auch im hohen Norden gibt es zahlreiche Blütenpflanzen, die sich durch Samen fortpflanzen (MURRAY 1987). So konnten beispielsweise McGRAW und SHAVER (1982) für *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre* oder *Eriophorum vaginatum* eine erfolgreiche Fortpflanzung mit Samen auf arktischen Tundrenböden, die denjenigen der höhergelegenen subalpinen Stufe in den Alpen entsprechen, zweifelsfrei nachweisen. Diese unterschiedlichen Angaben zeigen klar, dass Verallgemeinerungen für das Fortpflanzungsverhalten von Pflanzen zu vermeiden sind.

1.1.2. Samenbildung als vorwiegend mütterliche Investition

Obwohl der Vater mit der Befruchtung der Polkerne durch ein Spermatozoid an der Nachkommensfürsorge beteiligt ist, geht die Samenentwicklung hauptsächlich zu Lasten der Mutterpflanze. Die Mutter investiert, indem sie den wachsenden Embryo via Endosperm ernährt. Aber auch das Wachstum der "Samenverpackung", die Samen- und Fruchtwände unterstützt sie. Die sparsamste Verpackung von Samen lässt sich erzielen, indem mehrere Samen miteinander in einer einzigen Frucht umhüllt werden (WILLSON und SCHEMSKE 1980, BOOKMAN 1984).

Die Samenbildung wird stark durch die Umwelt beeinflusst, sowohl indirekt durch die Ressourcen, die der Mutterpflanze zur Verfügung stehen, als auch direkt durch die klimatischen Bedingungen während der Samenentwicklung. Je mehr das Budget, auf welchem die Mutterpflanze lebt, limitiert ist, desto teurer ist die mütterliche Pflege und desto strenger ist die Ressourcenverteilung zu erwarten (URBANSKA und SCHÜTZ 1986).

Sind nicht genügend Ressourcen für die Bildung der maximalen Anzahl von Samen vorhanden, kann es zu Mutter-Nachkommen-Konflikten kommen. WESTOBY und RICE (1982) interpretieren wie folgt: Die Mutterpflanze versorgt ihre Nachkommen mit einer selektiv bestimmten Menge von Ressourcen. Mütterliches Gewebe, das Embryo und Endosperm umhüllt, kontrolliert die mütterliche Fürsorge, d.h. die Zufuhr von Ressourcen ans Endosperm. Erhöht die Mutter nun die Ressourcenlieferung an einen Embryo über ein gewisses mütterliches Optimum hinaus, muss der Ressourcentransport an einige

Samen eingestellt werden und jene Samen sterben ab.

Mit der ungleichen Verteilung von Ressourcen auf die Samenanlagen tritt die Konkurrenz zwischen Geschwistern auf. Besonders in mehrsamigen Fruchtknoten kann diese Konkurrenz drastische Formen bis zum **Kainismus** (ältere Embryos töten die jüngeren) kommen (GANESHAIAH und SHAANKER 1988). Eine andere Erklärung für das Absterben befruchteter Samenanlagen offerierten WILLSON und BURLEY (1983): Der grundsätzliche Konflikt finde anscheinend nicht zwischen der Mutter und ihren Nachkommen statt, sondern zwischen Vater und Mutter. Die mütterliche Fürsorge sei dabei eng mit der weiblichen Partnerwahl verbunden. Das Absterben solcher Samen kann damit auch als eine Entledigung von "genetischen Altlasten" angesehen werden. Dagegen muss das Absterben einiger Samenanlagen bei autonom agamospermen Pflanzen noch weiter erfasst werden (URBANSKA 1991).

1.1.3. Ausbreitung der Samen

Im Vergleich zu Tieren sind höhere Pflanzen sehr beschränkt beweglich. Tiere können mit Hilfe ihrer Sinne und ihrer Mobilität Nahrung, Wohnquartier und Schutz direkt suchen. Gerade das Fehlen dieser migratorischen Fähigkeit hat vielleicht die Evolution spezieller Ausbreitungsmechanismen bei den Pflanzen gefördert. In einem sehr allgemeinen Sinn kann man sagen, dass die Evolution von Verbreitungsmechanismen begünstigende Faktor die Möglichkeit ist einen günstigeren Standort zu finden als der im Augenblick besetzte (GADGIL 1971). Die Pflanzen kompensieren ihre Unbeweglichkeit durch die Bildung von Diasporen, d.h. Ausbreitungseinheiten. Dies können einzelne Samen, Früchte oder vegetative Propagulen sein.

Die Ausbreitung von Diasporen verändert die Populationsstruktur. Diese Veränderungen sind sowohl räumlicher wie auch zeitlicher Natur, und umfassen sowohl Einwanderung (Gewinn) und Auswanderung (Verlust) von Diasporen wie auch lokale Veränderungen innerhalb der Populationen, die in Raum und Zeit entstehen (URBANSKA 1991).

Es werden also sowohl einzelne Populationen als auch Populationssysteme beeinflusst. Laut HARPER (1977) bestimmen die vorhandenen Diasporen einer Art an einem Standort die potentielle Population. Allerdings muss diese keineswegs mit der tatsächlich vorhandenen Population übereinstimmen. Die folgenden groben Kategorien von Ausbreitungstypen werden unterschieden:

- Achorie: praktisch keine Ausbreitung
- Autochorie: Selbstverbreitung (z.B. Schleudermechanismen)

- Allochorie: Fremdverbreitung (z.B. durch Wind, Wasser, Tiere)
- Anthropochorie: Ausbreitung durch den Menschen

Mit Ausnahme der achoren Pflanzen umfassen alle diese Typen mehrere Ausbreitungsmechanismen: auto-, allo- und anthropochoren Pflanzen sind meistens polychor. Ausserdem treten häufig Kombinationen der verschiedenen Typen auf. Es kann deshalb gesagt werden, dass jede Art ihre eigene Ausbreitungsstrategie hat.

Durch die Ausbreitung der Samen entsteht ein "Samenregen". Damit sind die Samen, die auf einer bestimmten Bodenfläche ausgestreut werden, gemeint. Die Anzahl dieser Samen ist nach HARPER (1977) von vier Variablen abhängig:

- Höhe und Entfernung der Samenquelle
- Anzahl Samen in der Samenquelle (Konzentration)
- Eignung der Samen zur Ausbreitung (vgl. Gewicht, Besitz von "Flugorga-
nen" wie Flügel, "Federn" etc.)
- Aktivität des verbreitenden Mediums (Windstärke, Windgeschwindigkeit,
Strömung, Turbulenzen etc.) oder Verhalten der Ausbreiter usw.

Isoliert wachsende Pflanzen zeigen ein anderes Verbreitungsmuster als solche in dichten Populationen. Für isolierte Pflanzen scheint es charakteristisch zu sein, dass die Samendichte in einer bestimmten, arttypischen Entfernung ansteigt und dann wieder rasch abfällt (CREMER 1965). In dichten Populationen ist dagegen ein sehr komplexes Muster der Ausbreitung zu beobachten (THOMPSON 1986).

1.1.4. Zur Samenbank

Im Boden kann sich ein mehr oder weniger grosser Samenvorrat befinden. Der **Samenvorrat** oder die **Samengesellschaft** stellt die gesamte Anzahl lebender Samen aller vorhandenen Arten in oder auf dem Boden dar. Bezieht man sich auf die Samen einer speziellen Art, so spricht man von einer **Samenbank** oder **Samenpopulation**. Samen können im Boden relativ lange, unter Umständen jahrzehntelang überleben. So wurden beispielsweise im Permafrostboden in Yukon Samen von *Lupinus arcticus* gefunden, die mindestens 10'000 Jahre alt waren (PORSILD et al. 1967). Die Samen waren noch keimfähig und entwickelten sich zu normalen Pflanzen. Diese Angaben sind allerdings kritisch zu betrachten, da die Altersbestimmung nicht direkt erfolgte (GODWIN 1986). Die Lebensdauer von Samen ist zwar artspezifisch, wird aber auch durch die Lebensdauer und den Standort der Pflanzen beeinflusst.

So produzieren ein- und zweijährige Pflanzen besonders ausdauernde Samen. Langlebige Samen sind in der Regel klein. Die Lebendsdauer der Samen wird durch nasse oder kalt-trockene Bedingungen gefördert, da so der Abbau der Samen verhindert wird (HARPER 1977). Auch die Tiefe, in der sich die Samen befinden, spielt eine Rolle. ROBERTS und FEAST (1972) stellten fest, dass tiefer vergrabene Samen länger leben, aber weniger erfolgreich keimen, da die Keimung bei Dunkelheit oft gehemmt ist. Von den vorhanden Samen im Boden stirbt dauernd ein bestimmter Anteil. Ohne Nachschub würde also eine exponentielle Abnahme stattfinden (ROBERTS 1981).

Die Samenbank ist einer ausgeprägten Dynamik unterworfen, je nach Jahreszeit, längerfristigen klimatischen Bedingungen und Tierfrass. Große Schwankungen treten auf, die sowohl räumlicher wie auch zeitlicher Natur sind. Zeitliche Schwankungen können kurzfristig, jahreszeitlich bedingt oder längerfristig sein. Samenvorräte werden vergrößert durch Samenproduktion an Ort und Stelle sowie durch Einwanderung von Samen. Verluste treten auf durch Keimung, Frass, Verrottung, Altern und Auswanderung der Samen.

THOMPSON und GRIME (1979) teilten die Samenbanken in verschiedene Typen ein: Samenbanken, in denen die Samen höchstens ein Jahr überdauern, nennen sie **temporär** (transient). Falls mindestens ein Teil der Samen in einer Samenbank älter als ein Jahr ist, so wird diese als **dauerhaft** (persistent) bezeichnet.

Temporäre Samenbanken werden aus Samen gebildet, die oft recht gross sind und deshalb nicht leicht im Boden vergraben werden können, denen eine Keimruhe fehlt und die auch bei tiefen Temperaturen und in Dunkelheit keimfähig sind. Temporäre Samenbanken können wiederum in zwei Typen unterteilt werden: der erste Typ ist im Sommers vorhanden, der zweite im Winter vorhanden.

Die sommerliche Samenbank enthält oft Arten aus Gegenden, in denen regelmäßig im Sommer Vegetationslücken entstehen. Dies kann durch Trockenheitsschäden geschehen (z.B. in mediterranen Gebieten) oder auch durch Beweidung. In diesen Lücken ist die Etablierungswahrscheinlichkeit der Keimlinge viel grösser als in einer geschlossenen Vegetationsdecke. Typische Vertreter sind mehrjährige Gräser wie *Arrhenatherum elatius* oder *Bromus erectus*, aber auch einige einjährige Gräser wie *Bromus mollis* und *Lolium multiflorum* (THOMPSON und GRIME 1979). Die Samen dieser Arten keimen, sobald es im Herbst feucht wird.

Die Arten mit einer winterlichen Samenbank kommen vor allem aus nördlicheren oder kontinentaleren Gebieten. Hier wird das Wachstum der Pflanzen

im Winter stark reduziert, so dass Vegetationslücken, die sich im Sommer bilden, bis in den Frühling hinein bestehen bleiben oder durch Frostwirkung sogar vergrössert werden. Die Samen dieser Arten weisen eine Keimruhe auf, die durch ein Kälteerlebnis durchbrochen wird. Sobald dies geschehen ist, keimen die Samen rasch und vollständig. Typisch ist das Vermögen, auch bei sehr tiefen Temperaturen zu keimen. Vertreter dieses Typs sind beispielsweise *Pimpinella saxifraga* und *Mercurialis perennis* (GRIME et al. 1980).

Dauerhafte Samenbanken bestehen oft aus kleinen bis sehr kleinen Samen, die relativ leicht vergraben werden. Die Keimung erfolgt nur in einem engen Temperaturbereich und unterbleibt vor allem bei kühleren Temperaturen. Auch Dunkelheit verhindert die Keimung oft, so dass vergrabene Samen in der Keimruhe verharren. Dauerhafte Samenbanken werden ebenfalls in zwei Typen unterteilt. Der erste Typ enthält Arten, deren Samen zum grössten Teil rasch keimen. Ein kleiner Teil bleibt jedoch in der Samenbank. Arten, bei denen nur ein kleiner Anteil rasch keimt und deren Samen hauptsächlich in der Samenbank zurückbleiben, bilden den zweiten Typ. Der Übergang zwischen diesen beiden Typen ist allerdings fliessend. Auch Umweltverhältnisse dürften hier einen Einfluss haben. Dauerhafte Samenbanken sind dort von Vorteil, wo Lücken in der Vegetation unregelmässig und unvorhersehbar auftreten. McGRAW und VAVREK (1989) vermuten, dass dies im allgemeinen für arktische und alpine Standorte gelten könnte. In diesen Gebieten wird der Boden durch Barfrost und Eisnadelbildung relativ stark umgewälzt. Diese Störungen sind zufällig verteilt und unvorhersehbar.

Falls vergrabene Samen solange überleben, bis sie durch Bodenbewegungen an die Oberfläche gelangen, so finden sie hier einerseits günstige Keimungsbedingungen, andererseits ist die Etablierungswahrscheinlichkeit an solchen gestörten Standorten grösser, da die Konkurrenz geringer und der Nährstoffgehalt des Bodens grösser ist. Verzögerte Keimruhe und Langlebigkeit der Samen könnten hier also vorteilhaft sein, indem sie die Ausnützung dieser Standorte erlauben. McGRAW (1980) und Fox (1983) fanden dann auch erhebliche Samenmengen in arktischen Tundraböden. Fox (1983) fand durchschnittlich 491 - 1792 Samen pro Quadratmeter. McGRAW (1980) beobachtete sogar bis zu 3367 Samen pro Quadratmeter. Offenbar spielen lokale Standortsverhältnisse eine wichtige Rolle. Auch HATT (1991) fand in alpinen Böden erhebliche Samenmengen. Er stellte hochgerechnet 1450-2300 Samen/m² fest. Verglichen mit Samenmengen in anderen Ökosystemen entspricht dies etwa der Grösse einer Samenbank, wie man sie zum Beispiel an Waldstandorten gemässigter Breiten vorgefunden hat.

Die horizontale Verbreitung der Samen im Boden ist sehr unregelmässig. THOMPSON (1986) untersuchte den Samenvorrat einer englischen Grünfläche sehr genau. Er konnte ein sehr kleinflächiges Verteilungsmuster feststellen und fand, ebenfalls je nach Pflanzenart, zum Teil eine extreme Anhäufung von Samen (vgl. auch JENSEN 1969, KEMP 1989). Laut HATT (1990) weisen die Samen in alpinen Gebieten ebenfalls ein sehr ungleichmässiges Verteilungsmuster auf. So wurde beispielsweise von *Campanula barbata*, einer dominanten Art auf einer Untersuchungsfläche, in verschiedenen Proben von 0-59 Samen gefunden. Über die Gründe für solche Muster lässt sich nur spekulieren. Wichtig sind sicher die Art und Stärke der Ausbreitungsmechanismen sowie die Eignung der Samen zur Ausbreitung. Ausserdem ist es von grosser Bedeutung, ob die Samen einzeln oder in Gruppen ausgebreitet werden. Auch das Mikrorelief und die benachbarte Vegetation können eine Rolle spielen. Ganz allgemein kann man sagen, dass grosse Samenbanken für die Population einen Puffer darstellen gegen Einflüsse verschiedenster Art. Es werden aber nicht nur äussere Einwirkungen abgepuffert, sondern auch die Zusammensetzung der Genotypen einer Population. Grosse Samenbanken enthalten die Samen von vielen Pflanzengenerationen. Mehrere Jahre alte Samen gelangen so immer wieder zur Keimung und tragen zur genetischen Vielfalt bei, falls inzwischen in der oberirdischen Population eine starke Änderung der Genotypen stattgefunden hat. Die Samenbanken stellen gewissermassen das "genetische Gedächtnis" einer Population dar (HATT 1990).

Jeder Samenvorrat bedeutet ein gewisses Regenerationspotential für Populationen. Diese Regeneration kann nicht nur über den Tod einzelner Individuen hinaus, sondern sogar nach der totalen Vernichtung der gesamten Population erfolgen. Von besonderer Bedeutung ist dies für grössere Geländeeingriffe, wie das Skipistenplanierungen darstellen. Auch an diesen Standorten ist der Samenvorrat für den Anfangsbewuchs entscheidend. Allerdings wird bei einer Planierung in der Regel die oberste Humusschicht, in der sich der grössste Teil der Samen befindet, entfernt. Dies sollte, wenn immer möglich, verhindert werden! Bei einer Renaturierung muss auch auf diesen Aspekt geachtet werden und eine Samenmischung verwendet werden, die die Samenbank wenigstens in Ansätzen wiederherstellt.

1.1.5. Zur Keimruhe und Keimruhetypen

Sowohl die Keimruhe wie auch ihre möglichen Ursachen, werden in der Literatur verschieden definiert und interpretiert. EVENARI (1956) definiert die

Keimruhe als ein Zustand, in dem der lebende Same trotz der für das vegetative Wachstum günstigen Feuchtigkeits-, Temperatur- und Sauerstoffbedingungen nicht keimt. Er unterscheidet **primäre** und **sekundäre Keimruhe**. Bei der primären Keimruhe wird die Keimung wegen der Samenstruktur oder wegen chemischen Mechanismen verhindert. Bei der sekundären Keimruhe wird durch ungünstige äussere Bedingungen eine Keimruhe ausgelöst.

Nach AMEN (1966) ist Keimruhe ein sogenannter **kryptobiotischer Zustand**, in dem der Same zwar lebens- und Entwicklungsfähig bleibt, jedoch aufgrund von äusseren oder inneren Bedingungen Wachstum und Stoffwechselaktivitäten auf ein Minimum reduziert hat. Erst durch das Einwirken bestimmter Faktoren kann dieser Zustand aufgehoben werden, und der Same keimt. AMEN (1966) betont, dass Keimruhemechanismen besonders bei dominanten und weit verbreiteten Arten ausgebildet sind. Keimruhe scheint also einen ökologischen Vorteil zu bringen. Dies lässt sich leicht dadurch erklären, dass die Samen, die in einem bestimmten Jahr gebildet wurden, bedingt durch ihre Keimruhe über mehrere Jahre hinweg auskeimen. Ein solches Verhalten erhöht die Chance, dass sich die Jungpflanzen in einem klimatisch günstigen Jahr etablieren können.

HARPER (1977) unterscheidet **angeborene**, **induzierte** und **aufgezwungene Keimruhe**. Diese Klassifikation wurde auch in der vorliegenden Arbeit verwendet.

Angeborene Keimruhe beschreibt den Zustand eines Samens, der trotz günstigen Bedingungen nicht keimt, nachdem er von der Mutterpflanze getrennt wurde. Dieser Zustand kann zum Teil recht lange anhalten, bei Pflanzen mit sehr harten Samenschalen, die Wasser- und Luftpumpe verunmöglichen, mitunter einige Jahre. Zahlreiche Autoren (PELTON 1956, BONDE 1965, AMEN 1966, FOSSATI 1980, SCHÜTZ 1988) stellten fest, dass dieser Typ von Keimruhe bei alpinen Arten einer der wichtigsten zu sein scheint. Die Ausbildung einer undurchlässigen, harten Samenschale ist besonders häufig Ursache einer angeborenen Keimruhe. Nach AMEN (1966) kommt dieser Keimruhetypr bei vielen alpinen Pflanzen vor, die in Pflanzengesellschaften dominieren, welche einer starken Bodenbewegung ausgesetzt sind. Der Keimruhemechanismus kann einerseits darin bestehen, dass der Same kein Wasser oder kein Sauerstoff aufnehmen kann, oder anderseits der Embryo die harte Samenschale nicht durchbrechen kann. Die harte Schale schützt diese Samen, verhindert aber eine Keimung, falls sie nicht auf irgendeine Art beschädigt wird.

Typisch ist dieser Keimruhetypr für zahlreiche Arten der Familie der *Leguminosae*, wie das u.a. von FOSSATI (1976, 1980), URBANSKA et al. (1979), WEI-

LENMANN (1980, 1981) und SCHÜTZ (1988) gezeigt werden konnte: Alle untersuchten Arten zeigten eine mässige Keimungsrate, wenn keine spezifische Vorbehandlung erfolgte, eine nahezu vollständige Keimung nach mechanischer Skarifikation (Beschädigung der Samenschale). Natürlicherweise wird die Samenschale durch Bodenbewegungen oder durch Verdauungsvorgänge von Tieren oder durch Pilze stufenweise abgebaut. Leichte Samen einer Art scheinen dabei schlechter zu keimen als schwerere und einige Autoren vermuten, dass eine Verkleinerung der Samen und eine Verdickung der Samenschale die Langlebigkeit der Samen erhöhen dürfte (HARPER et. al. 1970). Eine harte Samenschale wurde ebenfalls bei zahlreichen Arten aus den Familien der *Gramineae*, *Caryophyllaceae* und *Compositae* beobachtet (FOSSATI 1980, WEILENMANN 1980, SCHÜTZ 1988).

Eine andere Ursache einer angeborenen Keimruhe liegt in einem kleinen und/oder undifferenzierten oder gut ausgebildeten, aber inaktiven Embryo. So beobachtete zum Beispiel FOSSATI (1980) in Samen von *Ranunculus grenierianus* äusserst kleine, vielzellig aber undifferenzierte Embryonen, die durch ein gut ausgebildetes Endosperm umschlossen waren. Weitere Beispiele für ausdifferenzierte aber kleine Embryos wurden bei den alpinen Arten der Gattung *Gentiana*, aber auch in anderen Familien gefunden. So zum Beispiel bei *Campanula barbata*, *Soldanella pusilla* und *Pulsatilla alpina*.

Die Keimruhe wird nicht nur dadurch ausgelöst, dass der Embryo sehr klein und zum Teil wenig differenziert ist, sondern auch dadurch, dass sein Enzymsystem noch nicht funktioniert.

Erst wenn das Enzymsystem aktiv wird, meistens nach einer Stratifikationsperiode bei niedrigen Temperaturen, ist eine Keimung möglich. Manchmal kann eine solche Keimruhe durch Gibberellinsäurebehandlung gebrochen werden (DICKENMANN 1982, MÜLLER 1977). In manchen Fällen wurden noch bessere Resultate durch eine Kombination von Gibberellinsäurebehandlung und Skarifikation erzielt (FOSSATI 1976, 1980, SCHÜTZ 1988). Allerdings ist eine solche Behandlung nicht immer erfolgreich, wie beispielsweise einige Versuche mit *Ligusticum mutellina* zeigen (WEILENMANN 1981, FLÜELER 1988).

Die nötige Nachreifezeit kann wenige Monate wie bei *Soldanella pusilla* (WEILENMANN 1980, 1981) bis mehrere Jahre betragen.

Die *induzierte Keimruhe* wird durch einen bestimmten ungünstigen Umweltfaktor ausgelöst. Auch wenn die äusseren Bedingungen nun für eine Keimung günstig werden, keimt der Same nicht, da sich eine innere Keimruhe ausgebildet hat. Erst nach einem bestimmten Auslösefaktor ist eine Keimung möglich.

In den Untersuchungen von SCHÜTZ (1988) konnte nur bei Experimenten mit Samen von *Achillea atrata* eine induzierte Keimruhe nachgewiesen werden. Die Samen von *Achillea atrata* keimten in experimentellen Aussaatflächen, welche durch Curlex®-Decken geschützt wurden, massiv schlechter. Dieses Ergebnis bestätigt die Untersuchungen von SILVERTOWN (1980), der bei 17 von 27 untersuchten Pflanzenarten eine verminderte Keimung unter einer Decke aus Blättern feststellte. Es wird deshalb vermutet, dass die induzierte Keimruhe vor allem durch ungünstige Lichtverhältnisse ausgelöst wird, sei es weil die Samen im Boden vergraben sind oder weil sie an Orten mit dichter Vegetation liegen (vgl. auch WESSON und WAREING 1969).

Aufgezwungene Keimruhe beruht auf ungünstigen Keimungsbedingungen. Sie lässt sich in hohen alpinen Lagen vor allem gegen Ende der Vegetationsperiode bei vielen Pflanzenarten feststellen und wird vermutlich durch Wassermangel und tiefe Temperaturen verursacht. Werden solche Samen in günstige Verhältnisse gebracht, so keimen sie sofort. So stellten beispielsweise SCHÜTZ (1988) und GASSER (1986) übereinstimmend fest, dass Samen von *Bliscutella levigata* unter natürlichen Bedingungen nach der Aussaat in eine aufgezwungene Keimruhe treten. Nach einer Überwinterung keimen sie im Frühjahr, kurz nach der Schneeschmelze sehr gut.

Die angeborene und die induzierte Keimruhe werden unter Feldbedingungen gegen Ende der Vegetationsperiode durch die aufgezwungenen Keimruhe überlagert und sind deshalb schlecht nachweisbar. Im Labor können optimale Keimungsbedingungen hergestellt werden, so dass die aufgezwungene Keimruhe ausgeschaltet ist. So ist eine angeborene oder induzierte Keimruhe gut beobachtbar. Verschiedene Keimruhetyphen können zusammen vorkommen und deshalb verlangt eine genaue Erfassung eines bestimmten Typs häufig eingehende Laborexperimente (SCHÜTZ 1988).

1.1.6. Keimungsbedingungen und Keimung

Im Embryo selbst und in allen ihn umgebenden Schichten, können Sperrmechanismen verschiedener Art vorhanden sein, die eine Keimruhe induzieren. Sind sie beseitigt, so werden die Samen keimfähig.

In natürlichen Standorten keimen die Samen erst dann, wenn bestimmte äußere Bedingungen günstig sind. BILLINGS und MOONEY (1968) stellten fest, dass die Keimruhe und somit der Zeitpunkt der Keimung in der arktischen und alpinen Vegetationszone von der Tundra-Umwelt und ihren niedrigen Temperaturen gesteuert werden. Sie beobachteten, dass die meisten Keimun-

gen im Frühsommer kurz nach der Schneeschmelze stattfinden. Da viele Alpenpflanzen keine speziellen Keimruhemechanismen kennen und deshalb weitgehend in aufgezwungener Keimruhe den Winter verbringen, kommt der Temperatur eine grosse Bedeutung als Keimungsauslöser zu. Diese Feststellung wird von CHABOT und BILLINGS (1972) noch erweitert: Sie betrachten die Feuchtigkeit - und somit das Wasser - sowie die Temperatur als primäre bzw. sekundäre, andere limitierende Faktoren als tertiäre Steuerungsmechanismen. Neuere Untersuchungen über natürliche Populationen wie auch experimentelle Arbeiten zeigen, dass die Samen je nach der Mikrotopographie des Keimbettes ganz unterschiedlich keimen (vgl. z.B. HARPER 1977). Diese Ergebnisse führten zum Konzept der Schutzstellen (safe sites). Schutzstellen zeichnen sich durch eine Anzahl Bedingungen aus, welche die Keimung und Etablierung der Pflanzen fördern oder überhaupt erst ermöglichen.

Diese Bedingungen umfassen neben den oben genannten Keimungsbedingungen wie Wasser, Temperatur, Sauerstoff und Licht eine ganze Anzahl weiterer Faktoren: Günstige Mikrotopographie, welche auch weitgehend von der Grösse und Form der Samen abhängt, Feinerdegehalt und Nährstoffbedingungen (HARPER 1977, COOK 1980). Nachbarpflanzen haben ebenfalls einen Einfluss, sowohl in negativer Hinsicht, beispielsweise durch Beschattung, wie auch in positiver Hinsicht, beispielsweise durch Aufrechterhaltung eines günstigen Mikroklimas, günstiger Feuchtigkeitsverhältnissen etc. (McCONNAUGHEY und BAZZAZ 1987, RYSER 1991). Die Schutzstellen variieren von Art zu Art aufgrund der verschiedenen Samenmorphologie und der mannigfaltigen physiologischen Bedingungen, die die verschiedenen Arten an ihre Umwelt stellen. Die Arthäufigkeit und Artzusammensetzung eines bestimmten Standortes wird somit weitgehend durch die Anzahl verschiedener Schutzstellen bestimmt (HARPER et al. 1965, HARPER und BENTON 1966, SHELDON 1974).

Allerdings sind URBANSKA und SCHÜTZ (1986) der Auffassung, dass die Schutzstellen nicht nur die nötigen Elemente, die für die Samenkeimung und Etablierung der Jungpflanzen wichtig sind, beinhalten müssen, sondern auch ökosystemspezifische Gefahren ausschliessen sollen. Die Gefahren, die durch Schutzstellen in natürlichen, alpinen Ökosystem minimiert werden können, sind mit abnehmender Bedeutung: Frost- und Eisnadelbildung, Windeinfluss, Bodenfluss und Temperaturschwankungen an der Erdoberfläche und Beweidung. Im Gebiet von Davos spielt die zum Teil sehr intensive Beweidung eine grössere Rolle und durch die Skipistenplanierungen und Geländeveränderungen dürften die obigen Faktoren noch an Bedeutung gewonnen haben.

Sind alle Keimruhemechanismen durchbrochen, falls solche Mechanismen

vorhanden waren, und die Keimungsbedingungen günstig, so kann der Same keimen. Die Keimung wird häufig aufgrund von Laboruntersuchungen definiert: Ein Same wird als gekeimt betrachtet, sobald die Radicula die Samenschale durchbrochen hat (EVENARI 1957). Man muss sich allerdings im Klaren sein, dass vor und nach diesem gut sichtbaren Ereignis verschiedenste andere weniger auffällige Vorgänge ablaufen, die ebenfalls zur Keimung gehören. Diese Definition wird in der Folge auch in dieser Arbeit für Laborversuche verwendet. Für die Feldversuche ist diese Definition jedoch nicht ganz befriedigend, da viele Samen unterirdisch keimen und die Keimlinge erst dann erfasst werden können, wenn sie oberhalb der Erdoberfläche sichtbar werden. Einige gekeimte Samen dürften durchaus keine weitere Entwicklung aufweisen, wenn sie zum Beispiel durch Pathogene noch unter der Erde vernichtet werden (vgl. auch URBANSKA et al. 1988).

Beim Keimungsprozess werden drei Stadien unterschieden (KARSSSEN 1976). Im ersten Stadium quillt der Same auf. Im zweiten Stadium dehnt sich die Radicula aus, bleibt aber immer noch im Endosperm und in der Samenschale eingeschlossen. Im dritten Stadium durchbricht die Radicula die Samenschale. Zwischen dem zweiten und dritten Stadium hat im Embryo eine irreversible Veränderung stattgefunden. Vorher kann der Same nämlich ohne Schaden wieder entwässert werden und seine Lebensfähigkeit behalten, während nach dieser Veränderung eine vollständige Keimung erfolgen muss. Ist diese mangels Wasser oder anderen ungünstigen Umständen nicht möglich, so stirbt der Embryo. COME (1970) berichtet, dass mehrere Autoren diese irreversible Veränderung als die beste Charakterisierung der Keimung betrachten. KARSSSEN (1976) vermutet, dass die beiden Stadien zwei verschiedene Stufen hormoneller Aktivität repräsentieren. Am Keimungsprozess sind mindestens vier Phytohormone beteiligt: Gibberellin, Cytokinin, Abscisinsäure und Indolylessigsäure (VAN OVERBEEK 1966, BEWLEY und BLACK 1985).

1.1.7. Keimlings- und Jungpflanzenentwicklung

Die Keimlings- und die Jungpflanzenphase stellen zweifellos sehr kritische und entscheidende Zeitabschnitte im Lebenszyklus einer Pflanze dar, da sie gegenüber Umwelteinflüssen äußerst empfindlich sind. Nach einigen Autoren (CAVERS und HARPER 1967, HAWTHORN und CAVERS 1976) sind die größten Unterschiede in der Häufigkeit einer Art an verschiedenen Standorten nicht auf die eigentliche Keimung, sondern auf die unterschiedliche Überlebensrate der Keimlinge zurückzuführen. Das Fehlen einer Art in einem be-

stimmten Biotop liegt wenigstens teilweise an ihrer Unfähigkeit, in diesem Biotop das Keimplingsstadium zu überleben. Die Keimlinge weisen eine grösere Sterblichkeit auf als erwachsene Pflanzen und dies vor allem in den ersten Lebenswochen oder kurz danach. In extremen Ökosystemen ist die Etablierung der Keimlinge besonders schwierig. Das Beispiel der alpinen Vegetation zeigt dies sehr überzeugend. In der alpinen Stufe bestimmt die Unfähigkeit der Keimlinge, sich zu etablieren, die obere Verbreitungsgrenze einer Art (BLISS 1971). WAGER (1938) stellte fest, dass die Sterblichkeit der weniger als 5 Jahre alten Jungpflanzen in der alpinen Stufe ca. 50% pro Jahr beträgt. Auch nach ZUBER (1968) gehen dort durchschnittlich mehr als die Hälfte der Keimlinge eines Sommers, die bis in den Herbst überleben, während des Winters zugrunde. Seiner Ansicht nach sind Frosthebungen und Gleitbewegungen des Bodens die Ursache dafür. Die Frostwirkung, die oft zur Entwurzelung und Auswaschung der kleinen Pflanzen sowie zur physiologischen Austrocknung des Bodens führt, wird auch von BLISS (1971) und MILES (1973) für die hohe Sterblichkeit von Keimlingen und Jungpflanzen während des ersten Winters verantwortlich gemacht. Besonders auf vegetationslosen Flächen sind diese Gefahren gross, wie Untersuchungen von FLÜELER (1988) in der alpinen Stufe und von RYSER (1990) in Trockenrasen der montanen Stufe zeigen.

Das Keimplingswachstum erfolgt in der alpinen Stufe unter natürlichen Bedingungen sehr langsam, am Ende der ersten Vegetationsperiode ist der oberirdische Teil der Pflanze bei fast allen Arten noch winzig klein (SCHÜTZ 1988, FLÜELER 1988). Die erste Vegetationsperiode im Feld dient dann wohl auch vornehmlich der Entwicklung des Wurzelsystems, da dies für das Überleben des Keimplings wegen der im Spätsommer in vielen alpinen Regionen stark austrocknenden Bodenoberfläche wichtig ist.

Über die Bedingungen, die die Entwicklung einer Pflanze vom Keimplings- bis zum Erwachsenenstadium braucht, ist wenig bekannt. Obwohl Keimplingsstadium und nachfolgende Entwicklungsphasen der Pflanze eng zusammenhängen, weisen verschiedene Autoren (u.a. GRUBB 1977, URBANSKA und SCHÜTZ 1986) darauf hin, dass bei mehreren Arten die optimalen Bedingungen für diese beiden Lebensphasen verschieden sind. Es ist also möglich, dass die Samen einer Art an einer geeigneten Stelle zwar keimen, die Keimlinge sich aber nicht erfolgreich etablieren. Dies bedeutet, dass die Bedingungen einer Keimungsstelle mit einer geeigneten Schutzstelle nicht übereinzustimmen brauchen (URBANSKA 1991). Oftmals dürfte die Keimungsstelle einen weiter gefassten ökologischen Bereich umfassen als die eigentliche Schutzstelle. In

der vorliegenden Arbeit wird zwischen Keimungs- und Schutzstellen unterschieden. Mit Schutzstellen sind Orte gemeint, wo sowohl Keimung wie auch eine erfolgreiche Etablierung der Jungpflanzen möglich ist.

1.1.8. Bodenentwicklung und Nährstoffangebot in der alpinen Stufe

Der Boden stellt das Produkt eines über lange Zeit andauernden Verwitterungsvorganges dar. Das Muttergestein wird durch mannigfaltige chemische, physikalische und biotische Faktoren zerkleinert und durchmischt. Die Bodenbildung hängt ab vom Muttergestein, vom Klima, vom Relief, von den Organismen und von der Zeit, die dafür zur Verfügung gestanden hat. Das alpine Klima zeichnet sich durch eine kurze Vegetationsperiode und allgemein tiefe Temperaturen aus.

Dadurch sind alpine Böden in der Regel wenig verwittert und weisen oft einen beträchtlichen Humusgehalt im Oberboden auf, da der Abbau wegen der tiefen Temperaturen gehemmt ist. Für die Entwicklung der heutigen Böden und ihrer Vegetation in der alpinen Stufe standen seit der letzten Eiszeit rund 10'000 Jahre zur Verfügung. Die klimatischen Voraussetzungen für die Bodenbildung waren im Atlantikum und frühen Subboreal im Zeitraum vor 7000-4000 Jahren aber günstiger als heute. Die Waldgrenze lag damals aufgrund des Klimas rund 150m höher als heute (KRAL 1972). Dies deutet an, dass die recht dichten alpinen Rasen ihre Entstehung teilweise diesen für die Bodenbildung günstigeren Klimavoraussetzungen verdanken (MEISTERHANS 1988). GALLAND (1982) kommt zum Schluss, dass unter den heutigen Bedingungen schon das Gleichgewicht zwischen Neubildung und Absterben eines von ihm untersuchten Firmetums sehr heikel ist. Eine geringe Störung oder eine Verschlechterung des Klimas würde genügen, um einen Rückgang der Vegetationsdichte auf alpinen Rasen herbeizuführen. Für die Etablierung eines alpinen Krummseggenrasen auf den Vorfeldern des Oberaargletschers (2300 m ü.M.) sind nach AMMANN (1978) mehrere hundert Jahre nötig. Die alpinen Böden stellen damit oftmals eigentliche Reliktböden dar, wie sie unter den heute herrschenden klimatischen Bedingungen nicht mehr entstehen könnten. Auf jeden Fall benötigt die Entwicklung einer natürlichen Humusdecke in der alpinen Stufe mehrere hundert Jahre (CERNUSCA 1984). MEISTERHANS (1988) rechnet für die Entwicklung einer geschlossenen Pflanzendecke auf den Skipisten von Davos mit mehreren Jahrzehnten, auf feinerdearmen Flächen mit mehr als einem Jahrhundert. Auf besonders ungünstigen Flächen wird sich möglicherweise über Jahrhunderte keine geschlossenen Vegeta-

tionsdecke entwickeln (vgl. auch MOSIMANN 1985).

Durch die geringe Bodenentwicklung bestehen sehr einseitige Bodenverhältnisse, die sich durch geringe Kapazität für Wasser und Nährstoffe auszeichnen. Alpine Pflanzen müssen deshalb besonders an die Austrocknungsgefahr, den Nährstoffmangel und oftmals auch an die einseitige Mineralstoffzusammensetzung angepasst sein. Die mineralische Zusammensetzung des jeweiligen Muttergestein prägt einerseits den Verlauf der Bodenbildung, anderseits bestimmt dessen chemische Zusammensetzung das Mineralstoffangebot für die Vegetation je nach Entwicklungsgrad des Bodens mehr oder weniger direkt. Im Gebiet von Davos findet man Serpentin, der eher langsam, Dolomit, der sehr langsam, und saures Silikat, das dagegen meist gut verwittert. Entsprechend findet man in Dolomit- und Serpentinegebieten nur flachgründige Böden, während die Silikatgebiete oft gut entwickelte Böden zeigen.

Im weiteren ist die Bodenentwicklung vom Relief (Verlust-, Gewinnlagen) und der Exposition (viel, wenig Niederschläge) abhängig. Die Untersuchungen von VETTERLI (1982) zeigen besonders deutlich, dass das Relief, auch das Mikrorelief und die damit einhergehenden klimatischen Unterschiede einen grossen Einfluss auf die Bodenentwicklung und die Vegetationsdecke haben. Er fand in einem 10 km² grossen Gebiet in der alpinen Stufe von Davos drei Bodentypen mit diversen Übergangsstadien und insgesamt zwölf lokal gültige Vegetationseinheiten, obwohl das Muttergestein weitgehend einheitlich war. In einer solch extrem unterschiedlichen Umgebung gewinnen die Schutzstellen an Bedeutung. Sie stellen einen eigentlichen Minimumfaktor dar. Fehlen die geeigneten Schutzstellen mit erträglichem Mikroklima und genügender Nährstoffversorgung, so bleibt die Etablierung einer Vegetationsdecke aus. Schutzstellen sind deshalb nicht nur art- bzw. standortspezifisch, sondern auch ökosystemspezifisch zu betrachten (URBANSKA und SCHÜTZ 1988).

1.2. ZU DEN SKIPISTENPLANIERUNGEN

1.2.1. Allgemeines

Seit Jahren werden Schneisen in die Hochlagenbestände der Alpen geschnitten. Dies geschieht oft ohne Kenntnis der ökologischen Verhältnisse und der biologischen Gesetzmässigkeiten. In erster Linie sind dabei Wälder betroffen. Aber auch Legföhrenbestände, subalpine Zwergstrauchheiden und alpine Rassen werden bedenkenlos entfernt.

Bei grossflächigen Pistenplanierungen wird der Oberboden in den meisten Fällen zerstört oder durch die Niederschläge zu Tal geschwemmt. Die Nährstoffverhältnisse und die Wasserkapazität verschlechtern sich und damit ist nach Meinung verschiedenster Autoren auch die Grundlage für eine Renaturierung der Skipiste zerstört (u.a. CERNUSCA 1981, LANDOLT 1983, KLÖTZLI und SCHIECHTL 1979). Vielfach kommt es dadurch zu schweren und oft nie mehr gut zu machenden Landschaftsschäden.

Diese Schäden können meist gemildert werden, wenn man wenigstens die von der Vegetation gewaltsam entblösssten Flächen sofort wieder mit geeigneten Verfahren begrünt. Oft wird man verleitet, den Wünschen nach Skiabfahrten über der Waldgrenze nachzugeben und Skipisten mittels grossflächigen Planierungen auch in der alpinen Stufe, in Fels- und Schutthalden sowie im Legföhrengürtel anzulegen. Davor kann nur eindringlich gewarnt werden, da solche Standorte mit den heutigen kommerziellen Begrünungsverfahren fast oder vollkommen unbegrünbar sind. Selbst bei bestem Willen und trotz wiederholter Aussaat und Düngerbehandlung der begrünten Flächen, bieten derartige Skipisten noch Jahrzehntelang das Bild eines künstlichen Eingriffs und stellen damit eine schwere Landschaftsschädigung dar (SCHIECHTL 1976).

Es ist zwar relativ leicht auch oberhalb der potentiellen Waldgrenze eine "Erstbegrünung" durch Aussaat von standortfremden Pflanzen und entsprechend intensiver Düngung zu erreichen, daraus aber einen dauerhaften Rasen mit möglichst den natürlichen Arten zu erhalten, ist nach Ansicht zahlreicher Autoren praktisch unmöglich (u.a. GRABHERR 1978, WEINDL 1978, KLÖTZLI und SCHIECHTL 1979, SCHÖNTHALER 1980, FLORINETH 1982).

Eine geplante Skipiste stellt eine andere ökologische Situation dar, als vor der Planierung (BROWN et al. 1978, URBANSKA 1986). Die Verhältnisse auf der geplanten Fläche unterscheiden sich von den ursprünglichen meistens drastisch. Es ist deshalb nicht damit zu rechnen, dass sich dieselbe Pflanzengemeinschaft einstellen wird, wie vor der Planierung.

Auf einer geplanten Fläche besteht eine grosse Gefahr der Erosion durch das abfließende Wasser, das nun nicht mehr durch die Vegetation zurückgehalten wird. EDER (1982) stellte fest, dass in einem Jahr bei 1000 mm Niederschlag von einer Brachfläche mit 25% Neigung 6185 kg Material/ha abgetragen wurden, während unter gleichen Bedingungen die Erosion einer Grünlandfläche nur 3 kg betrug.

CERNUSCA (1977) nennt gar eine Zahl von 10 t als jährlicher Erosionsverlust auf einer Hektare geplanter Skipiste. Der Sinn der Renaturierung soll also in erster Linie aus einem wirksamen Schutz gegen die Bodenerosion bestehen.

Dabei soll nicht nur die Piste selber, sondern auch die darunter liegenden Wälder, Kulturen und Siedlungen von dem Bodenabtrag geschützt werden. Die Wasserabflussverhältnisse, die durch die Planierung massiv verschlechtert wurden, können durch die neue Vegetation zum mindest teilweise wiederhergestellt werden. Der ursprüngliche Zustand wird aber in den meisten Fällen nie mehr erreicht werden. In sehr steilen Partien erzielt die Vegetation eine gewisse Stabilisierung des Untergrundes. Unter einer Vegetationsdecke vermag der Barfrost die Steine nicht so leicht an die Oberfläche zu heben. Dadurch werden die Entsteinarbeiten verringert und die Pistenqualität verbessert.

1.2.2. Kommerzielle "Begrünungen"

In den Anfängen der sogenannten Skipistenbegrünungen wurde vor allem mit Andecken der planierten Fläche durch **Rasenziegel** und durch **Heublumensaaten** begrünt.

Bei der Rekultivierung durch Rasenziegel wird vor der Planierung die Vegetationsdecke mit dem durchwurzelten Oberboden ausgestochen und an einem geeigneten Ort deponiert. Nach der Planierung wurde auf das Gelände der ebenfalls abgetragene Verwitterungshorizont verteilt, darauf die Humusschicht ausgebracht und darüber die Rasenziegel wieder ausgelegt und befestigt. Nach Ansicht einiger Autoren (SCHIECHTL 1973, SCHÖNTHALER 1979, RUDIN 1985) bietet dieses Vorgehen die besten Chancen für eine standortgerechte Rekultivierung. Aus verschiedenen Gründen wird dieses Verfahren heute kaum mehr angewendet.

In erster Linie dürften dafür finanzielle Gründe verantwortlich sein, da die Flächen sehr gross sind. In zweiter Linie sind viele der Planierungsflächen auch vor der Planierung kaum geeignet um Rasenziegel auszustechen, sollte doch eine geschlossene Rasendecke vorhanden sein. Die Rasenziegel müssten deshalb in benachbarten Gebieten gewonnen werden, was kaum sinnvoll ist (vgl. auch URBANSKA 1986, URBANSKA et al. 1987).

Heublumensaaten bestehen aus Heublumen und Halmen, wie sie als Rückstände in Scheunen anfallen. Heute ist die Heublumensaat kaum mehr anwendbar, einerseits weil viel weniger Heu in höheren Lagen gewonnen wird und die Samenmenge deshalb relativ klein ist, andererseits weil die Fläche, die man begrünen sollte, massiv zugenommen hat. Durch die Planierungen mit schweren Maschinen entstehen meist skelettreiche, humusarme Böden. Der Zustand des Oberbodens entscheidet aber sowohl über die Kosten der Be-

grünung wie auch über ihren Erfolg. Der Erhaltung des Oberbodens ist deshalb grösstes Augenmerk zu schenken. Der Mutterboden darf unter keinen Umständen durch mineralischen Boden verschüttet werden, sondern muss zur Abdeckung der planierten Fläche verwendet werden.

Die Saatverfahren, die heute kommerziell angewendet werden, sind hauptsächlich **Hydrosaat** und **Mulchsaat**. Im allgemeinen werden für diese Aussaaten Samen von Tieflandpflanzen verwendet, da gegenwärtig nur diese in grösseren Mengen im Handel erhältlich sind. Bei der Hydrosaat wird das Saatgut mit Dünger, Kleber, Festiger und Wasser maschinell als Gemisch auf die zu "begrünende" Fläche aufgespritzt. Die Mulchsaat stellt eine Erweiterung dar. Nach erfolgter Nasssaat wird noch zusätzlich eine Schicht aus zerkleinertem Stroh mit Bindemittel auf Bitumenbasis als Erosions- und Witterschutz ausgebracht.

In Untersuchungen, die von MOSIMANN (1983) auf dem Grap Sogn Gion in Graubünden auf Skipisten vorgenommen wurden, konnte gezeigt werden, dass auf planierten Flächen das Angebot von Stickstoff rund zehnmal geringer, das Angebot von Phosphor rund fünfmal geringer ist als auf ungestörten Flächen. In den besten Böden von Planierungen stehen den Pflanzen jährlich höchstens 10 kg/ha Stickstoff zur Verfügung, in 40% aller Böden aber nur etwa 1 kg Stickstoff/ha.

In den kommerziellen Begrünungsverfahren wird meistens versucht, dieses Nährstoffdefizit mit dem Einsatz verschiedener Düngemittel wieder auszugleichen, brauchen doch besonders die verwendeten Tieflandpflanzen einen hohen Nährstoffgehalt im Boden. Dies ist aber sehr problematisch. Bei zu guter Nährstoffversorgung wird der Boden nämlich nur noch mangelhaft durchwurzelt. Die Wurzeln breiten sich nur in den oberen, gedüngten Bodenschichten aus, tiefere Schichten werden nicht mehr durchwurzelt. Der Boden wird so nur mangelhaft stabilisiert (MEISTERHANS 1988).

Besonders problematisch sind Dünger auf Basis von Klärschlamm, wie einige Schwermetallmessungen auf verschiedenen Flächen deutlich zeigen (URBANSKA 1989). Eine ökologisch einwandfreie Möglichkeit zur begrenzten Düngung und Stickstoffkreislaufstimulierung kann durch das Aussäen oder Auspflanzen von Leguminosen erzielt werden. Nach BRADSHAW und CHADWICK (1980) können Leguminosen bei einer Rekultivierung Düngergaben unnötig machen.

1.2.3. Standortgerechte Renaturierungen

Alpine Ökosysteme zeichnen sich durch extreme Verhältnisse aus, die wohl zu den extremsten auf der Welt zu rechnen sind. Die Vegetationsperiode ist äusserst kurz, in der Nacht kann die Temperatur während des ganzen Jahres unter 0°C fallen. Die Strahlung ist äusserst intensiv, starke Winde entziehen den Pflanzen Wasser, und auch der Boden trocknet rasch aus. Die Nährstoffversorgung ist wegen der schlechten Bodenentwicklung oftmals gering.

Es scheint deshalb selbstverständlich, dass bei einer Wiederbegrünung **nur Pflanzenarten, die auch natürlicherweise oberhalb der Waldgrenze gedeihen können, auf lange Sicht erfolgreich sind**. Dabei ist auch darauf zu achten, dass nur genetisch auf alpine Verhältnisse adaptiertes Material benutzt wird (URBANSKA 1986, 1988, URBANSKA und SCHÜTZ 1986, URBANSKA et al. 1987, 1988). Auch die Anpassung an die verschiedenen Bodenverhältnisse ist wichtig und sollte in Rechnung gestellt werden. Untersuchungen an verschiedenen Arten zeigen das sehr deutlich. So sind bei der *Ranunculus montanus*-Gruppe (DICKENMANN 1982) oder bei *Biscutella levigata* (GASSER 1986) deutliche Adaptierungen an das jeweilige Substrat nachgewiesen worden. Die Bedingungen können aber, gerade in den Alpen, recht kleinflächig ändern. Es ist deshalb wichtig, eine Samenmischung mit einem relativ grossen Spektrum zusammenzustellen. Hier ist allerdings anzumerken, dass zur Zeit so gut wie kein geeignetes alpines Material auf dem Markt in Europa zu erwerben ist (FLORINETH 1982).

Erste Versuche mit Verpflanzungen und Aussaaten von natürlich vorkommenden Pflanzenarten in Hochlagen wurden in den Rocky Mountains vor 50 Jahren erstmals ausgeführt (HARRINGTON 1946). Beim Strassenbau wurden hier grössere Geländekorrekturen vorgenommen. Die Begrünungsversuche verliefen erfolgreich. Seit dieser Zeit wurde in Amerika sehr viel Forschungsarbeit geleistet. So wurden beispielsweise in einem Forschungszentrum in Colorado bis jetzt schon über 3000 verschiedene Arten auf ihre Eignung zur Renaturierung getestet (HASSEL 1980). Solche Versuche mit standortgerechten Arten wurden in unserem Hause für die biologische Erosionsbekämpfung in den Skipistenplanierungen konsequent weitergeführt und weiterentwickelt. Ein Teil der vorliegenden Arbeit beschäftigt sich mit Aussaatverfahren. Die Aussaat von Samen stellt eine wichtige Möglichkeit für die Renaturierung dar. Für die Beurteilung der Eignung einer Pflanze ist nicht nur ihr Vorkommen in der alpinen bzw. subnivalen Stufe, sondern auch das Verhalten ihrer Samen wichtig. Die Keimung und die Etablierung der Jungpflanze ist der ge-

fahrvollste Teil eines Pflanzenlebens und die Verluste in dieser Periode sind dann auch entsprechend gross. Diese Verluste sind allerdings nicht nur auf die Qualität der Samen und die Pflanzenart zurückzuführen, sondern auch auf das Fehlen geeigneter Schutzstellen. Es ist aus diesem Grund äusserst wichtig auf einer Renaturierungsfläche auch neue Schutzstellen zu schaffen, z.B. durch Verwendung geeigneter Geotextilien.

In unserem bisherigen Forschungsprogramm wurde bereits eine grosse Anzahl alpiner Arten geprüft und zwar sowohl Pionierarten, wie auch Arten aus Dauer- und Klimaxgesellschaften. Nicht alle alpinen Arten sind für die Erosionsbekämpfung geeignet. Entscheidend sind bestimmte Lebensstrategien, die nicht immer gleich sind. Im Labor wurden Keimung, Keimruhemechanismen und Methoden zum Durchbrechen der Keimruhe untersucht. Dieser Aspekt wird in dieser Arbeit ebenfalls behandelt werden. In Feldversuchen wurde das Verhalten unter natürlichen Bedingungen festgehalten. Die Ergebnisse sind recht vielversprechend (vgl. z.B. FOSSATI 1976, 1980, WEILENMANN 1981, ZUUR-ISLER 1982, SCHÜTZ 1983, 1988).

2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die Gegend von Davos liegt in den östlichen Zentralalpen. Das Untersuchungsgebiet liegt oberhalb von Davos in der alpinen Stufe auf über 2400 m. über Meer auf beiden Seiten des Landwassers (Fig. 1).

Das Haupttal ist ein alpines Längstal von 17 km Länge mit etwa 500 m breiter Sohle und nur geringem Gefälle. Auffallend ist die ungleiche Länge der Seitentäler, nimmt doch das Landwasser von Nordwesten nur kurze, steile Seitenbäche auf, während von Südosten her bis 11 km lange Nebentäler, nämlich Flüela-, Dischma- und Sertigtal, einmünden. Der spätglaziale Totalbergsturz riegelt das Tal gegen Klosters ab und bildet heute auch die Wasserscheide bei Davos-Wolfgang.

Die Geologie um Davos ist sehr komplex. Vor allem die Gebirgskette, die das Gebiet von Davos nach Norden abschliesst, ist geologisch vielfältig (CADISCH et al. 1929 und CADISCH 1953). Die obersten sechs Kilometer des Tales sind durch drei grundverschiedene Gesteinsschichten geschnitten. Das Bergsturzgebiet bei Davos-Wolfgang und das dahinterliegende Totalphorn bestehen aus Serpentin. Talabwärts schliesst das Salezerhorn an, das aus altkristallinem Silikat gebildet wurde. Über der Ortschaft Davos erhebt sich schliesslich das Schiahorn, ein Gipfel aus Dolomit. Südwestlich des Schiahorns und auf der gesamten Gegenseite des Tales besteht das Muttergestein hauptsächlich aus Silikat.

Die Flora im Untersuchungsgebiet wurde schon von SCHRÖTER (1926) beschrieben. Sehr hilfreich sind Angaben zur Flora von Davos in SCHIBLER (1937), welcher kurz vor dem Abschluss der Arbeit verstarb. Erste Angaben zur Vegetation von Graubünden machte BRAUN-BLANQUET (1948-1949). Neuere Arbeiten befassten sich mit alpinen Rasengesellschaften auf Silikat (VETTERLI 1982) und mit der Vegetationskartierungen des Gebietes Parsenn und Dischma vom Talboden bis in die alpine Stufe (ZUMBÜHL 1986). Arbeiten über das Keimverhalten alpiner Pflanzen von Davos wurden von FOSSATI (1980), WEILENMANN (1981), ZUUR-ISLER (1982) und SCHÜTZ (1988) veröffentlicht. Mit alpinen Skipisten von Davos haben sich MEISTERHANS (1988) und mit subalpinen Pisten MEISTERHANS-KRONENBERG (1988) beschäftigt.

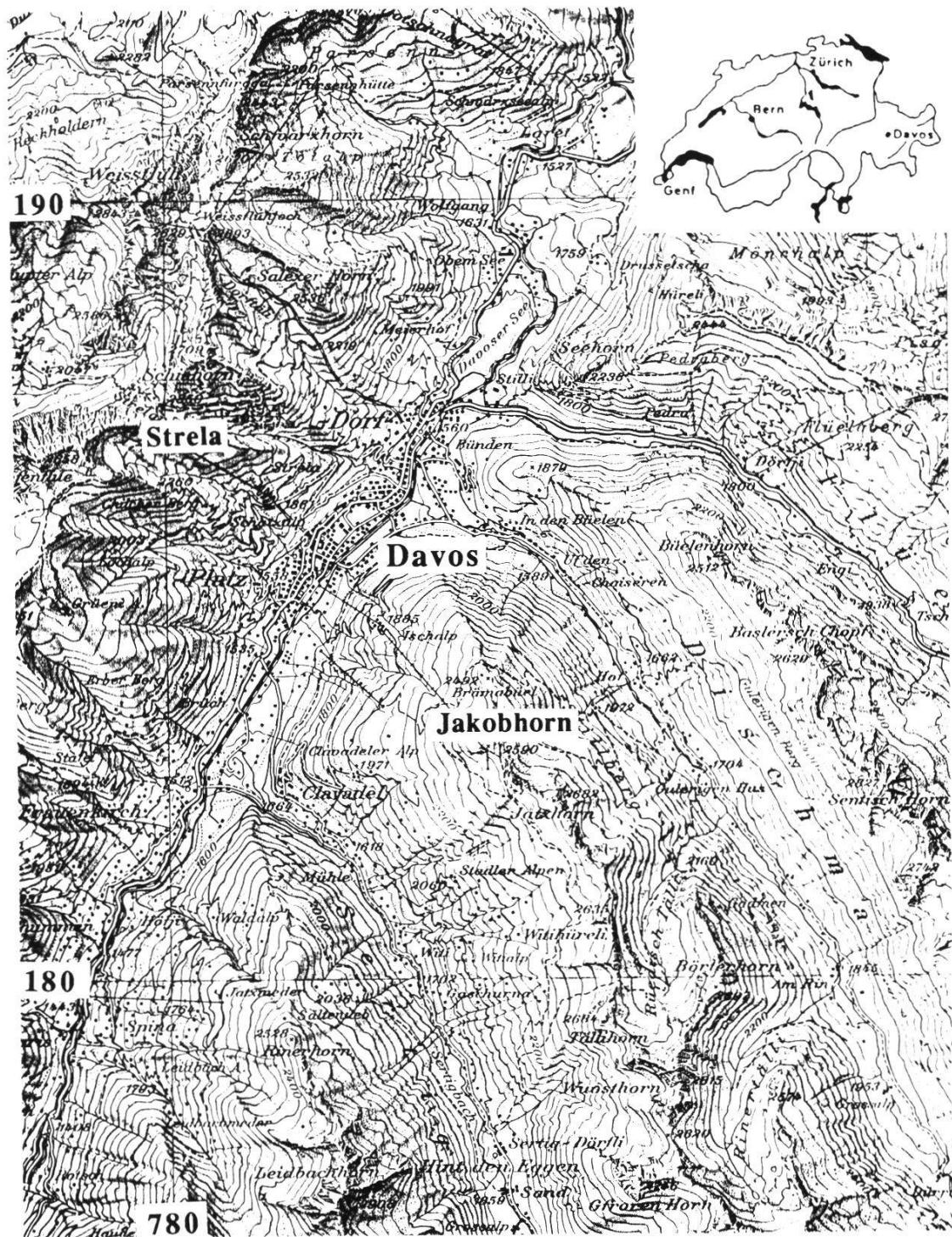


Fig. 1. Lage des Untersuchungsgebietes. (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 8.1.1992)
Location of the study area.

2.1. DAS KLIMA IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

2.1.1. Allgemeines

Das Klima kann aufgrund der Klimadiagramme von Davos und Schatzalp (WALTER und LIETH 1960/67) und vom Weissfluhjoch (GIGON 1971) charakterisiert werden. Das Diagramm vom Weissfluhjoch widerspiegelt die Bedingungen in unserem engeren Untersuchungsgebiet am Besten. Die Jahresmitteltemperaturen dürften zwischen -1 und -3°C liegen. Jährlich fallen um die 1200 mm Niederschlag mit einem Maximum in den Sommermonaten. Allgemein ist das Klima im Gebiet von Davos durch die Lage zwischen den Gebirgsmassiven im Norden und Süden und durch den Verlauf des Tales von Nordost nach Südwest schon deutlich kontinental getönt. Ein Vergleich zwischen dem Klimadiagramm von Davos und demjenigen von Klosters macht das deutlich. Obwohl Davos (1560 m ü.M.) rund 300 m höher liegt als Klosters (1207 m ü.M.) fallen nur etwa 3/4 soviel Niederschläge.

Messungen auf den Skipisten selber zeigen die extremen klimatischen Bedingungen, die auf dieser Höhe herrschen. In allen drei Sommermonaten des Jahres 1989 wurden beispielsweise Temperaturen um den Gefrierpunkt gemessen (Fig. 2).

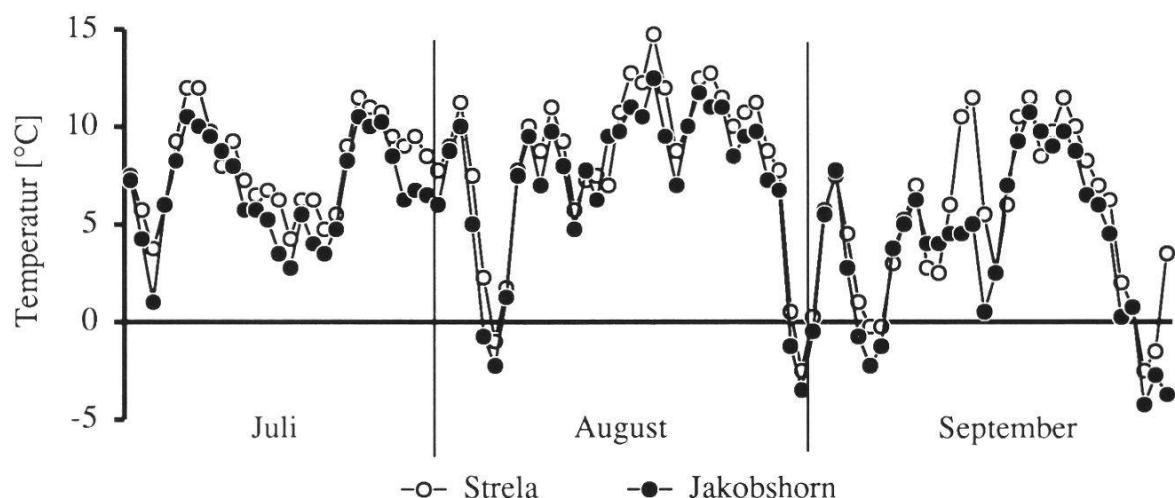


Fig. 2. Schwankungen der Tagesmitteltemperaturen auf den Skipisten Strela und Jakobshorn im Sommer 1989.

Fluctuations of the average daily temperatures on the ski runs Strela and Jakobshorn in summer 1989.

2.1.2. Das Klima im Sommer 1987-1991

Das Samenmaterial, das in Keimungsversuchen Verwendung fand, ist in den Jahren 1987-1990 geerntet worden. In dieser Zeit wurde jedes Jahr eine Frühsommer- und eine Herbstaussaat vorgenommen. Das Klima hat auf den Erfolg der Feldaussaaten erheblichen Einfluss und beeinflusst auch die Keimungsversuche im Labor durch die unterschiedliche Ausbildung der Samen in den verschiedenen Jahren. Aus diesem Grund sollen im Folgenden kurz die Klimadaten vom Weissfluhjoch der Sommer dieser Jahre aufgelistet werden (Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt 1987-1991). Angaben zur Länge der Vegetationsperioden (Tab. 1) beziehen sich auf die schneefreie Zeit auf den Versuchsflächen.

1987: In der ersten Hälfte des Julis lagen die Temperaturen weit über dem langjährigen Durchschnitt. In der zweiten Hälfte folgte ein markanter Temperatursturz, gefolgt von lang andauernden Niederschlägen, die teilweise als Schnee fielen. Es resultierte insgesamt ein leichter Temperaturüberschuss von 0.8°C und ein Niederschlagsüberschuss von 174% der Norm. Die Niederschlagsmengen des Monats August bewegte sich im langjährigen Durchschnitt. Besonders sonnige Tage in der zweiten Monatshälfte brachten wiederum einen leichten Temperaturüberschuss. Der September war vorwiegend hochdruckbestimmt mit einer zwölfägigen, hochsommerlichen Wärmeperiode. Der Temperaturüberschuss betrug auf dem Weissfluhjoch 3.7°C gegenüber dem langjährigen Mittel. Niederschläge wurden weniger verzeichnet (94%).

Insgesamt waren die drei Sommermonate überdurchschnittlich warm. Total fielen 529 mm Niederschlag. Die Vegetationsperiode dauerte bis Mitte November.

1988: Der Juli war deutlich wärmer und trockener als im langjährigen Mittel (Temperaturüberschuss: 1.5°C, Niederschlag: 64% des Mittelwertes). Nach dem Juli brachte auch der August überdurchschnittliche Wärme (Temperaturüberschuss: 1.7°C). Häufige und teilweise ergiebige Gewitterregen führten zu

Tab.1. Länge der Vegetationsperioden 1987-1991 (in Wochen).
Duration of the growth periods in 1987-1991 (in weeks).

Jahr	1987	1988	1989	1990	1991
Anzahl Wochen	15	14	14	13	16

erheblichem Niederschlag (132%). Trotz mehrheitlich kühlem und regnerischem Wetter wurde im September ein leichter Temperaturüberschuss und ein Niederschlagsdefizit gemessen (Temperatur 0.8°C, Niederschlag 71%). Die drei Sommermonate waren überdurchschnittlich warm. Total fiel dagegen nur 379 mm Niederschlag. Die Vegetationsperiode dauerte von Anfang Juli bis Anfang November.

1989: Im Juli wurden durchschnittliche Werte gemessen, mit einem leichtem Wärmeüberschuss (0.8°C) und ebenfalls einem leichten Niederschlagsüberschuss (111%). Trotz mehreren Kälteeinbrüchen mit Schneefall war der August deutlich wärmer als im Durchschnitt (Temperaturüberschuss: 1.0°C). Niederschläge fielen mit 93% etwas weniger als im langjährigen Mittel. Im September wurden wieder ganz leicht überdurchschnittliche Werte gemessen (Temperatur 0.6°C, Niederschlag 117%).

Die drei Sommermonate waren überdurchschnittlich warm. Total fiel 440 mm Niederschlag. Die Vegetationsperiode dauerte etwa 14 Wochen.

1990: Der Juli begann kühl und mit häufigen Niederschlägen. Der zweite Teil des Monats war dagegen meist sonnig und hochsommerlich warm. Insgesamt resultierte ein Temperaturüberschuss (1.8°C) und ein leichtes Niederschlagsdefizit (96%). Der August war überwiegend hochsommerlich warm mit einer ausgeprägten Trockenheitsperiode (Temperaturüberschuss: 2.4%, Niederschlag: 58%). Im September wechselten sich kühle und warme Witterungsabschnitte ab, so dass insgesamt etwa normale Werte resultierten (Temperaturüberschuss: -0.3%, Niederschlag: 89%).

Der Sommer war mit Ausnahme des Septembers überdurchschnittlich warm. Total fiel 351 mm Niederschlag. Die Vegetationsperiode dauerte bis Anfang November.

1991: Die erste Hälfte des Julis war hochdruckbestimmt und dank Warmluft aus Südwesten sehr warm. Es folgten einige Gewitterstörungen gegen Ende des Monats. Es resultierte ein beträchtlicher Wärmeüberschuss (2.7°C) und ein Niederschlagsüberschuss von 137% gegenüber dem langjährigen Mittel. Auch der August war weitgehend hochdruckbestimmt, sehr warm, sonnig und trocken. Der Wärmeüberschuss betrug 3.1°C und die Niederschlagswerte erreichten an vielen Messstellen die tiefsten Werte des Jahrhunderts (Weissfluhjoch: 48%). Der September war wiederum zu warm und sonnig. Niederschläge traten vor allem zu Beginn des Monats als Gewitterregen auf. Insgesamt wurde ein Temperaturüberschuss von 2.8°C gemessen und ein Niederschlagsüberschuss von 148%.

Der Sommer 1991 gehört zu den wärmsten des Jahrhunderts. Es fielen 446

mm Regen. Die Vegetationsperiode dauerte von Ende Juni bis Mitte November.

Die Sommer der fünf Jahr waren also alle überdurchschnittlich warm. 1987 war ein niederschlagsreiches Jahr. Die Niederschläge in den Jahren 1989 und 1991 bewegten sich im Rahmen des langjährigen Durchschnittes, wobei im Jahre 1991 im August ein starkes Defizit verzeichnet wurde. Die Jahre 1988 und 1990 waren deutlich zu trocken.

2.2. SKIPISTEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die planierten Skipisten sind im Gebiet Jakobshorn grösser und auffälliger als im Strela-Schiahorngebiet, wo sie vor allem in der subalpinen Stufe liegen.

Auf der Strela gibt es Planierungen entlang des Skiliftes Strelagrat und entlang der Alpstrasse zum Restaurant Strelapass. Diese Planierungen sind älter, eher kleinflächig und wurden dem Gelände einigermassen angepasst. Beim Bau der Verbindungsbahn ins Parsenngebiet sind neue Schuttflächen entstanden. Auffällig sind die Planierungen am Rande des engeren Untersuchungsgebietes im Haupter Tälli nordwestlich des Schiahorns. Hier wurde eine grössere Schuttfläche auf dem pflanzenfeindlichen Serpentingestein geschaffen. Mit einer Wiederbesiedlung durch Pflanzen ist hier nicht mehr zu rechnen.

Auf dem Jakobshorn sind sowohl am Nordhang wie auch am Südwest- und Westhang bedeutende Flächen in Mitleidenschaft gezogen worden. Die Planierungen stammen aus den Siebzigerjahren. Zu nennen wären vor allem die Nordabfahrtplanierungen vom Jakobshorn in Richtung Usser Isch, die Planierungen im oberen Teil des Jatzhorn-Skiliftes und des Lifts von der Clavadeler Alp und die Schuttablagerungen um das Bergrestaurant Jakobshorn und entlang des Weges zur Bergstation des Jatzhorn-Skiliftes. Diese vom Menschen geschaffenen Flächen nehmen auf dem Jakobshorn eine ebensogrosse Fläche ein wie die natürlichen Schutthalden. Sie heben sich durch ihre Grösse, die fehlende Mikrotopographie und die nicht vorhandene Pflanzendecke stark von der Umgebung ab.

2.3. DIE UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN AUF DEN SKIPISTEN

Die Feldversuche wurden einerseits auf Dolomit, andererseits auf saurem Silikat ausgeführt.

Das Untersuchungsgebiet auf Dolomit liegt auf der Strela auf 2440 m ü.M. mit südöstlicher Exposition neben dem Skilift Strelapass-Strelagrat (Koord. 779650/187025) (Fig. 3 und 4). Hier wurden 1967 kleinflächige Planierungen vorgenommen, die sich einigermassen in die Landschaft einfügen. Zum Teil kann eine natürliche Wiederbegrünung festgestellt werden. Einige Teile wurden 1975 mit kommerziellen Methoden begrünt. Dabei wurde ein Strohdeck-saat verwendet (MEISTERHANS 1988).

Das Untersuchungsgebiet auf Silikat liegt auf dem Jakobshorn auf 2450 m



Fig. 3. Die Versuchsflächen auf der Skipiste Strela (2440 m ü.M.) im Sommer.
Trial plots on the graded ski run at Strela (2440 m a.s.l.) in summer.

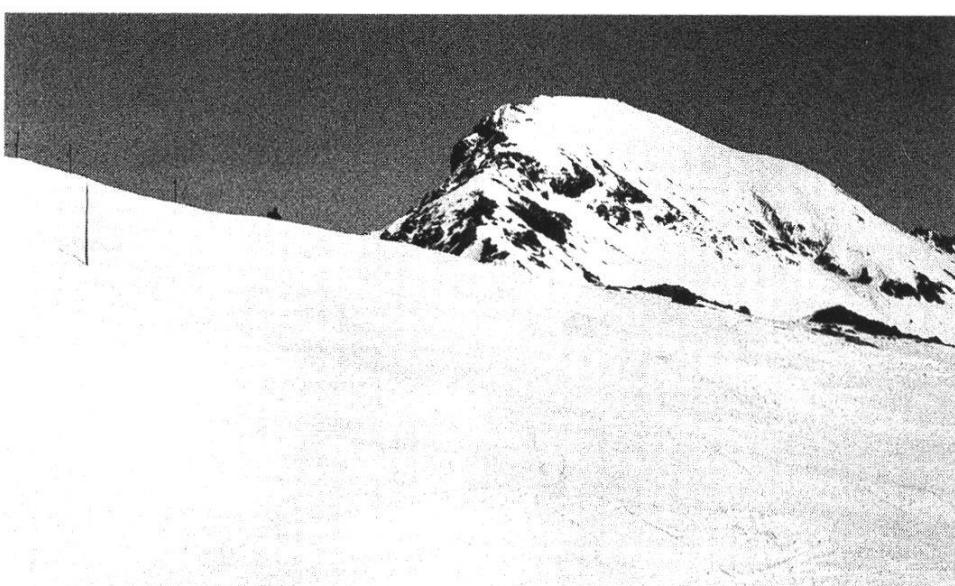


Fig. 4. Die Skipiste auf der Strela (2440 m ü.M.) im Winter.
The graded ski run Strela (2440 m a.s.l.) in winter.

ü.M. mit nordwestlicher Exposition auf der planierten Skipiste Jatzhorn (Ko-
ord. 784745/182475) (Fig. 5 und 6). Hier wurden 1970 grössere und auffällig-
ere Planierungen vorgenommen. Die planierten Flächen sind praktisch vege-
tationslos, eine natürliche Wiederbegrünung kann kaum festgestellt werden.
Eine kommerzielle Skipistenbegrünung wurde hier nicht durchgeführt (MEI-
STERHANS 1988).



Fig. 5. Die Versuchsflächen auf der Skipiste Jakobshorn (2450 m ü.M.) im Sommer.
Trial plots on the graded ski run at Jakobshorn (2450 m a.s.l.) in summer.



Fig. 6. Die Skipiste auf dem Jakobshorn (2450 m ü.M.) im Winter.
The graded ski run at Jakobshorn (2450 m a.s.l.) in winter.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. ERNTE UND AUFBEWAHREN DES SAMENMATERIALS, SAMMELN VON PFLANZENMATERIAL

Die Samen der untersuchten Arten stammen von verschiedenem Muttergestein, von Karbonat und von Silikat. Das Sammelgebiet erstreckte sich an der nordwestlichen Talflanke vom Gotschnagrat bis zum Chörbsch Horn, an der südöstlichen Talflanke vom Dischmatal über das Jakobshorn bis ins Sertig- und Ducantal. Die Artbestimmung erfolgte nach HESS et al. (1967-1972). Jeweils von Anfang September bis Mitte Oktober wurden Populationsproben von reifen Samen und Früchten gesammelt, getrocknet und im getrockneten Zustand bis zur Verwendung im Kühlschrank bei 4°C aufbewahrt.

Von **Karbonat** wurden von folgenden Arten und aus folgenden Populationen Samen entnommen (Koordinaten nach Landeskarte 1:25000 Blatt 1197 und 1217):

<i>Anthyllis alpestris</i> :	Schiawang (780650/187400), 2360 m ü.M., Rasen. Strela (779600/187080), 2400 m ü.M., Rasen, Weide. Sertig (784600/176650), 1880 m ü.M., Bachufer, Weide. Bodmen (781200/174650), 2420 m ü.M., Rasen.
<i>Astragalus alpinus</i> :	Bodmen (781600/174230), 2440 m ü.M., Weide.
<i>Astragalus frigidus</i> :	Sertig (784600/176650), 1880 m ü.M., Bachufer. Gotschnagrat (783500/192550), 2280 m ü.M., Schutthalde. Bodmen (781200/174650), 2420 m ü.M., Rasen.
<i>Hedysarum obscurum</i> :	Gotschnagrat (783500/192550), 2280 m ü.M., Schutthalde. Bodmen (781200/174650), 2420 m ü.M., Rasen.
<i>Hippocrepis comosa</i> :	Sertig (784600/176650), 1880 m ü.M., Bachufer.
<i>Lotus alpinus</i> :	Gotschnagrat (783500/192550), 2280 m ü.M., Schutthalde. Ducantal (784050/17 050), 2280 m ü.M., Rasen.
<i>Oxytropis campestris</i> :	Sertig (784600/176650), 1880 m ü.M., Bachufer, Weide.
<i>Oxytropis jacquinii</i> :	Sertig (784600/176650), 1880 m ü.M., Bachufer. Grüenhorn (783100/192450), 2320 m ü.M., Weide. Gotschnagrat (783500/192550), 2280 m ü.M., Schutthalde. Sertig (784600/176650), 1880 m ü.M., Bachufer, Weide.
<i>Trifolium badium</i> :	Strela (779950/187280), 2350 m ü.M., Rasen. Gotschnagrat (783500/192450), 2200 m ü.M., Rasen, Weide. Bodmen (781200/174650), 2420 m ü.M., Rasen.
<i>Trifolium nivale</i> :	Strela (779750/186950), 2400 m ü.M., Rasen. Gotschnagrat (783500/192450), 2200 m ü.M., Rasen, Weide.
<i>Trifolium thalii</i> :	Bodmen (781200/174650), 2420 m ü.M., Rasen. Strela (779400/187150), 2520 m ü.M., exponierter Rasen. Gotschnagrat (783500/192550), 2280 m ü.M., Schutthalde. Bodmen (781200/174650), 2420 m ü.M., Wiese, Weide.

Von **Silikat** (z.T. basenhaltig) wurden von folgenden Arten und aus folgenden Populationen Samen entnommen (Koordinaten nach Landeskarte 1:25000 Blatt 1196, 1197 und 1217):

<i>Anthyllis alpestris:</i>	Grünturm (781200/188050), 2320 m ü.M., Rasen.
<i>Astragalus alpinus:</i>	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Rasen.
<i>Astragalus frigidus:</i>	Fanezmäder (780080/175180), 2080 m ü.M., Mäder.
<i>Hedysarum obscurum:</i>	Fanezmäder (780080/175180), 2080 m ü.M., Mäder.
<i>Hippocrepis comosa:</i>	Ducantal (784050/174980), 2200 m ü.M., Weide.
<i>Lotus alpinus:</i>	Fanezmäder (780080/175180), 2080 m ü.M., Mäder.
	Strela (779100/186950), 2560 m ü.M., Rasen.
	Fanezmäder (780080/175180), 2080 m ü.M., Mäder.
	Jakobshorn (784080/182990), 2570 m ü.M., Schutthalde.
	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Rasen, Weide.
	Vorder Latschüel (778910/186460), 2430 m ü.M., Rasen, Weide.
	Dürrboden (790100/176870), 2060 m ü.M., Rasen, Weide.
<i>Oxytropis campestris:</i>	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Fels.
	Schafläger (780550/188560), 2650 m ü.M., Fels.
	Chörbsch Horn (777580/184800), 2600 m ü.M., Fels.
<i>Oxytropis jacquinii:</i>	Schafläger (788550/188450), 2600 m ü.M., Schutthalde.
	Dorftälli (781100/188750), 2410 m ü.M., Schutthalde.
<i>Trifolium alpinum:</i>	Steintälli (779350/186900), 2420 m ü.M., Rasen.
	Dürrboden (790100/176870), 2060 m ü.M., Rasen, Weide.
	Jakobshorn (783920/182900), 2480 m ü.M., Rasen, Weide.
	Vorder Latschüel (778910/186460), 2430 m ü.M., Rasen, Weide.
	Chummerhüreli (776800/182820), 2580 m ü.M., Rasen.
	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Rasen.
<i>Trifolium badium:</i>	Felsenweg (780200/188250), 2380 m ü.M., Schutthalde.
	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Rasen, Weide.
	Dürrboden (790100/176870), 2060 m ü.M., Rasen, Weide.
<i>Trifolium nivale:</i>	Chummerhüreli (776800/182820), 2580 m ü.M., Rasen.
	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Rasen, Weide.
	Dürrboden (790100/176870), 2060 m ü.M., Rasen, Weide.
<i>Trifolium pallescens:</i>	Dürrboden (790100/176870), 2060 m ü.M., Rasen, Weide.
	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Rasen, Weide.
	Schafläger (780280/188230), 2650 m ü.M., Rasen, Weide.
<i>Trifolium repens:</i>	Fanezmäder (780000/175300), 2005 m ü.M., Weide.
	Clavadeler Alp (782150/182800), 1920 m ü.M., Rasen, Weide.
	Chummerhüreli (776800/182820), 2580 m ü.M., Rasen.
<i>Trifolium thalii:</i>	Strelaberg (778950/186900), 2600 m ü.M., Rasen.
	Schafläger (788550/188450), 2600 m ü.M., Schutthalde.
	Grünturm (781000/188000), 2440 m ü.M., Rasen, Weide.

Individuen von mehreren Arten wurden zur Samenproduktion aus den natürlichen Populationen in die Versuchsgärten nach Clavadel und nach Zürich gebracht und unter konkurrenzfreien Bedingungen kultiviert. Die Pflanzen wurden während langen Schönwetterperioden begossen und mit schattenspendenden Rolladen abgedeckt. Im Winter wurden sie mit Treibhausglas geschützt.

3.2. ÜBERBLICK ÜBER DIE DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE

Die gesammelten Samen der verschiedenen Leguminosenpopulationen wurden im Labor auf Gewicht und Anatomie untersucht.

In der Klimakammer wurden Keimversuche durchgeführt und Jungpflanzen über einige Zeit beobachtet.

In Feldversuchen wurden verschiedene Populationen auf den Skipisten ausgesät und Jungpflanzen ausgepflanzt. Der Boden und das Klima auf den Versuchsflächen wurde untersucht.

Die meisten Untersuchungen wurden während drei Jahren jährlich wiederholt (Tab. 2).

Tab. 2. Übersicht über die durchgeführten Versuche - *Trial series - an overview*.

	Versuchs-durchführung	Untersuchungsgegenstand
Untersuchungen im Labor		
Samengewicht	1988-1991	alle Populationen
Samenanatomie	1989	alle Arten
Untersuchungen in der Klimakammer		
Keimverhalten von unbehandelten und skarifizierten Samen	1988-1991	alle Populationen
Verschiedene Vorbehandlungen	1989	ausgewählte Arten
Tetrazoliumtest	1990	ausgewählte Arten
Keimung und Licht	1990	ausgewählte Arten
Keimung und Temperatur	1990	ausgewählte Arten
Keimung und Lagerung	1988-1991	ausgewählte Arten
Jungpflanzenentwicklung	1989	ausgewählte Arten
Jungpflanzenentwicklung mit Substratzugaben	1990	alle Arten
Untersuchungen im Feld		
Bodenuntersuchungen	1990	ausgewählte Arten
Nährstoffuntersuchungen	1989	planierte und unplanierte Skipiste auf Strela und Jakobshorn
Klimamessung	Sommer, 1989	planierte und unplanierte Skipiste auf Strela und Jakobshorn
Mikroklimamessung	18./19.7.1989	Strela und Jakobshorn
Aussaaten mit unbehandelten Samen	1987-1991	Strela
Aussaaten mit skarifizierten Samen	1988-1991	alle Arten, Strela und Jakobshorn
Aussaaten mit Curlex	1987-1988	alle Arten, Strela und Jakobshorn
Aussaaten mit Substrat	1989-1990	alle Arten, Strela und Jakobshorn
Screening-Versuch mit Substrat, Dünger und Abdeckungen	1989	ausgewählte Arten, auf dem Jakobshorn
Auspflanzungen	1989	ausgewählte Arten, Jakobshorn
Demographische Untersuchung	1990	ausgewählte Arten

3.3. UNTERSUCHUNGEN IM LABOR

3.3.1. Samengewicht

Das Gewicht von 100 Samen wurde genau bestimmt. In allen durchgeföhrten Untersuchungen wurde das Gewicht der Samen festgehalten. So standen bei Abschluss der Versuche 10-120 Wägungen pro Population zur Verfügung.

3.3.2. Samenanatomie

Um die Samenanatomie näher zu beschreiben, wurden von den Samen aller untersuchten Arten Dünnschnitte hergestellt. Dazu wurden die Samen in Harz eingegossen und auf dem Handmikrotomtisch geschnitten. Die 20-30 µm dicken Schnitte wurden anschliessend unter dem Mikroskop abgezeichnet.

3.4. UNTERSUCHUNGEN IN DER KLIMAKAMMER

3.4.1. Kontrollierte Bedingungen bei den Keimungsversuchen

Die Keimungsversuche wurden in Petrischalen von 5 cm Durchmesser durchgeföhr. Auf einer Schicht Filterpapier wurden pro Petrischale je 25 Samen verteilt. Von jeder Art wurden zwei Petrischalen mit Samen beobachtet. Für die Versuche wurden nur einwandfreie Samen verwendet. Die Petrischalen wurden in der Klimakammer während 100 Tagen mindestens zweimal pro Woche auf neue Keimlinge untersucht. Bei der Zählung wurden die Samen belüftet und mit entionisiertem Wasser versorgt.

In der Klimakammer herrschten während der ganzen Versuchsdauer folgende Bedingungen:

Trockentemperatur :	Tag 20°C, Nacht 10°C
Feuchttemperatur :	Tag 17,3°C, Nacht 8,7°C
Feuchtigkeit :	80%
Licht :	16 Stunden

Von allen Arten, die im Kapitel 3.1. aufgeföhr sind, wurden Versuche mit skarifizierten Samen und unbehandelten Samen durchgeföhr. Die Samen waren zum Zeitpunkt des ersten Versuchsbeginns rund drei Monate alt. Die Versuche wurden jährlich wiederholt.

Als Mass für den Keimungsverlauf wurde der Wert t_{75} verwendet (SCHÜTZ 1988). Dieser Wert bezeichnet den Tag, an welchem 75% der Samen gekeimt hatten, die am Versuchsende nach 100 Tagen insgesamt gekeimt haben. Beispiel: Keimungsrate nach 100 Tagen = 80%, $t_{75} = 22$ Tage bedeutet, dass am 22. Tag nach Versuchsbeginn bereits 60% der Samen gekeimt haben.

3.4.2. Verschiedene Methoden der Samenvorbehandlung

Da die Samen von Leguminosen in der Regel schlecht oder auch gar nicht keimen, wurden sie mit verschiedenen Methoden vorbehandelt, um die angeborene Keimruhe zu brechen. Folgende Vorbehandlungen wurden angewendet:

Heisses Wasser: Samen wurden zur Sprengung der Samenschale während weniger Sekunden in kochendes Wasser gehalten.

Schwefelsäure: Um die Samenschale aufzuweichen, wurden die Samen kurz in konzentrierte Schwefelsäure getaucht und anschliessend einige Minuten gewässert.

Mechanische Skarifikation: Mit dem Skalpell wurde jeweils ein Stück der Samenschale weggeschnitten oder weggeschält. Um den Embryo möglichst nicht zu verletzen, wurde jeweils ein Stück Samenschale auf dem Samenrücken (Fig. 7) entfernt.

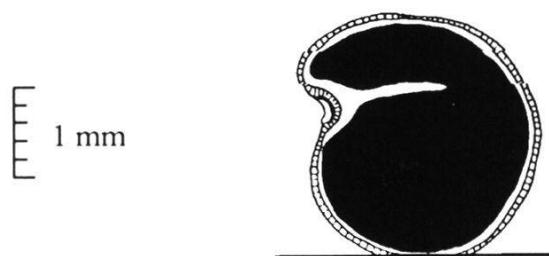


Fig. 7. *Trifolium alpinum*: Schnittstelle bei der Skarifikation mit dem Skalpell.
Trifolium alpinum: scarification carried out with a scalpel.

Gibberellinsäure (GA₃): Die Samen wurden in der Klimakammer mit in Wasser gelöster Gibberellinsäure (GA₃ Fluka 48880) vorinkubiert. In jede Petrischale wurde 10 ml 10⁻³ molare Gibberellinsäurelösung gegeben. Die Samen wurden während drei Tagen inkubiert. Anschliessend wurden die Samen in eine neue Petrischale überführt und wie die übrigen mit entionisiertem Wasser versorgt.

Kombinierte Faktoren (Skarifikation und Gibberellinsäure): Die Samen wurden mit dem Skalpell skarifiziert und anschliessend mit 10^{-3} M Gibberellinsäurelösung inkubiert. Nach drei Tagen wurde die Lösung durch Leitungswasser ersetzt.

3.4.3. Der Tetrazoliumtest

Durch einen Keimungstest nach einer mechanischen Skarifikation der Samenschale, lässt sich die Keimungsfähigkeit einer Samenprobe von Leguminosensamen sicher nachweisen (SCHÜTZ 1988, FLÜELER 1989). Durch den Tetrazoliumtest lässt sich dagegen die Lebensfähigkeit der Samen bestimmen. Eine Reihe von Arten wurde nun einerseits mit Tetrazolium getestet, andererseits wurden Keimversuche durchgeführt. Der Tetrazoliumtest ermöglicht eine Unterscheidung von lebenden und toten Samen: Die Samen müssen für einige Stunden in eine farblose Tetrazolium-Lösung (0.5 g 2,3,5-triphenyltetrazoliumchlorid in 200 ml Wasser) gelegt werden. Alle lebenden und aktiven Gewebe färben sich in dieser Zeit rot (MOORE 1973).

3.4.4. Einfluss des Lichtes und der Temperatur auf die Keimung

Bei Leguminosen scheint die harte Samenschale die hauptsächliche Ursache für die zum Teil recht ausgeprägte Keimruhe zu sein (SCHÜTZ 1988). Um die Wirkung der anderen, für die Keimung wichtigen Faktoren näher zu prüfen, insbesondere der Temperatur und des Lichtes, wurden an einigen ausgewählten Arten vielfältige Versuche durchgeführt. Die Keimung von skarifizierten Samen von *Trifolium badium*, *T. nivale*, *Astragalus frigidus* und *Oxytropis jacquinii* wurde bei verschiedenen Temperaturen und unterschiedlichen Lichtverhältnissen über 100 Tage geprüft.

Folgende Bedingungen wurden berücksichtigt:

1. Temperatur: Tag 20°C, Nacht 10°C, Licht :16 Stunden
2. Temperatur: Tag 20°C, Nacht 10°C, Dunkelheit
3. Temperatur: Tag 13°C, Nacht 4°C, Licht :16 Stunden
4. Temperatur: Tag 13°C, Nacht 4°C, Dunkelheit
5. Temperatur: 4°C, Dunkelheit
6. Temperatur: 0°C, Dunkelheit

3.4.5. Unterschiedliche Lagerung von Samen

Die Lagerfähigkeit von Samen ist bei einer trockenen Lagerung bei kühlen

Temperaturen am besten (COOK 1980). Im Boden, in feucht-kühler Umgebung, können dagegen Samen am längsten keimfähig bleiben (ROBERTS 1970). Um die Verhältnisse für alpine Leguminosen aufzuzeigen, wurden Samen von vier ausgewählten Leguminosenpopulationen auf unterschiedliche Arten gelagert:

1. Trockene Lagerung im Kühlschrank bei 4°C.
2. Trockene Lagerung von skarifizierten Samen im Kühlschrank bei 4°C.
3. Trockene Lagerung bei Zimmertemperatur von 20°C.
4. Lagerung der Samen, in einen Stoffsack eingenäht, im Boden vergraben.
Die Proben wurden auf der Strela in ca. 10 cm Tiefe eingegraben.

Proben dieser Samen wurden alle sechs Monate entnommen und in der Klimakammer auf die Keimfähigkeit und die Lebensfähigkeit überprüft.

3.4.6. Lebensfähigkeit von skarifizierten Samen

Die oben erwähnten vier Leguminosenarten wurden auch auf die Lebensfähigkeit von skarifizierten Samen geprüft. Die skarifizierten Samen wurden im Kühlschrank bei 4°C und bei Raumtemperatur gelagert. Alle sechs Monate wurde eine Probe in die Klimakammer gebracht und die gekeimten Samen gezählt.

3.4.7. Kontrollierte Bedingungen bei der Entwicklung der Jungpflanzen

Keimlinge aus den Petrischalen wurden zur weiteren Beobachtung in Rootrainer® (Spencer-Lemaire, Edmonton, Alberta) gepflanzt. Folgende Erdmischung wurde verwendet: 70% Torf, 12% Braunerde, 6% Sand und 10% Perlit. Keimlinge, die von Pflanzen abstammen, welche auf Karbonat wuchsen, wurden in Erde eingepflanzt, die mit Kalk auf pH 7 eingestellt wurde.

Die Jungpflanzen wurden in der Klimakammer 100 Tage lang beobachtet.

Folgende konstante Bedingungen herrschten während der ganzen Versuchsdauer in der Klimakammer.

Trockentemperatur: Tag 17°C, Nacht 10°C.
Feuchttemperatur: Tag 13,7°C, Nacht 7,4°C.
Feuchtigkeit: 70%
Licht: 16 Stunden

Nach 10, 25, 50, 75 und 100 Tagen wurde jeweils ein durchschnittlich ent-

wickeltes Individuum zur Dokumentation gepresst. Die Reproduktionen entstanden durch Fotokopien und Retouchierung der Belegexemplare.

3.4.8. Jungpflanzenentwicklung in verschiedenen Substraten

Einige Keimlinge wurden in Schalen mit Feinerde von den Skipisten der Strela und des Jakobshorns aufgezogen. Als Vergleich wurden einige Rootrainer® mit kommerziellen Substraten angereichert: Terraverde® und Triohum®. Es wurde jeweils eine geringe Menge der verschiedenen Substrate oberflächlich in den Schalen verteilt und zwar so, dass die Substratgabe etwa 1 kg Substrat/m² Oberfläche entsprach. (Vgl. Kap. 3.5.2.2.)

Auch diese Jungpflanzen wurden während 100 Tagen genau beobachtet.

3.5. UNTERSUCHUNGEN IM FELDE

3.5.1. Standortsuntersuchungen

3.5.1.1. Bodenuntersuchungen und Nährstoffanalysen

Auf den Skipisten der Strela und dem Jakobshorn wurde je ein Bodenprofil neben den Versuchsflächen gegraben. Als Vergleich wurde in der unplanierten, bewachsenen Skipiste in unmittelbarer Nähe je ein weiteres Bodenprofil angelegt. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Aufnahme des Bodenprofils
- Feinerdeanteil in den verschiedenen Horizonten durch Sieben von luftgetrockneten Proben.
- Schluff- und Tonanteil durch die Sedimentationsanalyse nach Esenwein
- pH- Wert in H₂O und CaCl₂-Suspension
- Phosphatgehalt nach Olsen
- Organischer und anorganischer Kohlenstoffgehalt, Stickstoffgehalt mit dem CNS-Analyser ANA 1500
- Protonengehalt
- Karbonatgehalt mit der Absorptionsmethode

3.5.1.2. Klimamessungen

Um das Klima auf der Strela und dem Jakobshorn besser charakterisieren und miteinander vergleichen zu können, wurden während der Sommermonate im Jahre 1989 je ein Temperaturhygrometer in einem Norm-Wetterhäuschen und

ein Regenmesser installiert. Die Stationen wurden jede Woche kontrolliert.

3.5.1.3. Temperaturmessungen mit der Rohrzucker-Inversionsmethode

Die Wärmesumme, welche einer Pflanze während einer Vegetationsperiode zur Verfügung steht, stellt für ihr Wachstum einen wichtigen Wert dar. Mit Zuckerampullen wurde das exponentielle Temperaturmittel auf der Skipiste und in der Vegetation daneben in verschiedenen Höhen unter und über der Bodenoberfläche gemessen. Für jeden Monat wurden in 10 cm Tiefe, direkt unter der Bodenoberfläche, auf dem Boden, in 30 cm Höhe und in 1 m Höhe je fünf Zuckerampullen ausgelegt bzw. aufgehängt. Das Vorgehen erfolgte nach MARTI (1984). Die Temperaturextreme wurden mit einem Minimum-Maximum-Thermometer festgehalten.

3.5.1.4. Messung des Wassergehaltes

Im weiteren wurde der Wassergehalt der Skipiste auf der Strela, mit und ohne Curlex®-Auflage, und der Flächen unmittelbar daneben gemessen. Für die Pflanzen, speziell für die Keimlinge und Jungpflanzen, ist vor allem der unmittelbare Oberboden als Hauptwurzelraum zugänglich und für die Wasser- aufnahme wichtig. Die Messung des Wassergehaltes wurde mit der Time Domain Reflectometrie Methode gemessen. Dabei wurde nach CERLETTI (1989) vorgegangen, um nur den Wassergehalt des Oberbodens zu erfassen.

3.5.1.5. Messung der Temperatur- und Strahlungswerte

Ein Tagesgang der Temperatur- und Strahlungswerte auf geschützter und ungeschützter Skipiste und der Vegetation daneben soll weitere Vergleichsmöglichkeiten eröffnen. Am 18./19. Juli 1989 wurden die Temperaturen und Strahlungswerte während 24 Stunden aufgezeichnet. Temperaturfühler (Thermistoren) wurden in 20 cm und 10 cm Tiefe, direkt unter der Bodenoberfläche und in 20 cm und 50 cm Höhe vor direkter Sonnenstrahlung geschützt installiert. Die Temperaturen wurden stündlich notiert. Mit einem IR-Messfühler (Infrarot-Oberflächenthermometer IT-330 von Tecam) wurde die Bodenoberflächentemperatur gemessen. Quantenfühler (Quantum Sensor Typ QS von Delta-T Devices Ltd.) messen in der gleichen Zeit die Strahlungswerte auf den drei Flächen und in 1m Höhe (Fig. 8).



Fig. 8. Versuchsanordnung auf der Strela am Messtag 18./19. Juli 1989.
Vordergrund: TDR- und Thermistorengerät; Hintergrund: Gestell mit Zuckerampullen.
Arrangement on Strela at the measuring day 18./19. July 1989.
Foreground: TDR- and thermistor device; background: rack with saccharose filled ampoules.

3.5.2. Feldaussaaten

3.5.2.1. Verwendete Substrate, Dünger und Abdeckmaterialien

In einigen Aussaaten wurde das Saatbeet speziell vorbehandelt, d.h. mit Dünger und/oder Substrat versetzt und zum Teil mit speziellem Abdeckmaterial geschützt.

Die folgenden Produkte kamen zum Einsatz: Triohum® (Tongranulat, organische Masse 70%, ca. 7.5 kg/m² organischer Volldünger) ist ein handelsübliches Blumensubstrat auf Torfbasis. Pistaren® (Organische Masse 70%, 1-2% P, 3-4% K) wird speziell zu Begrünungszwecken hergestellt und besteht aus Pilzmycelen und erheblichen Düngerzusätzen. Terrarverde® (60% Komposterde, 40% Natürliche Faserstoffe, 5 kg/m² organischer Volldünger) wird aus Holzabfällen hergestellt und das Volg-Produkt besteht ebenfalls aus Holzabfällen und Kompost. Certoplant Royal® (8.5% N, 7% P, 10% K, 2% Mg) ist ein wurzelwirksamer Langzeitdünger. Curlex® ist ein Geflecht aus Pappelholzwolle und die Jute-Abdeckung besteht aus einem widerstandsfähigen Geflecht von einzelnen Jutefasern. Die Holzwolle der Curlex®-Decke bildet eine

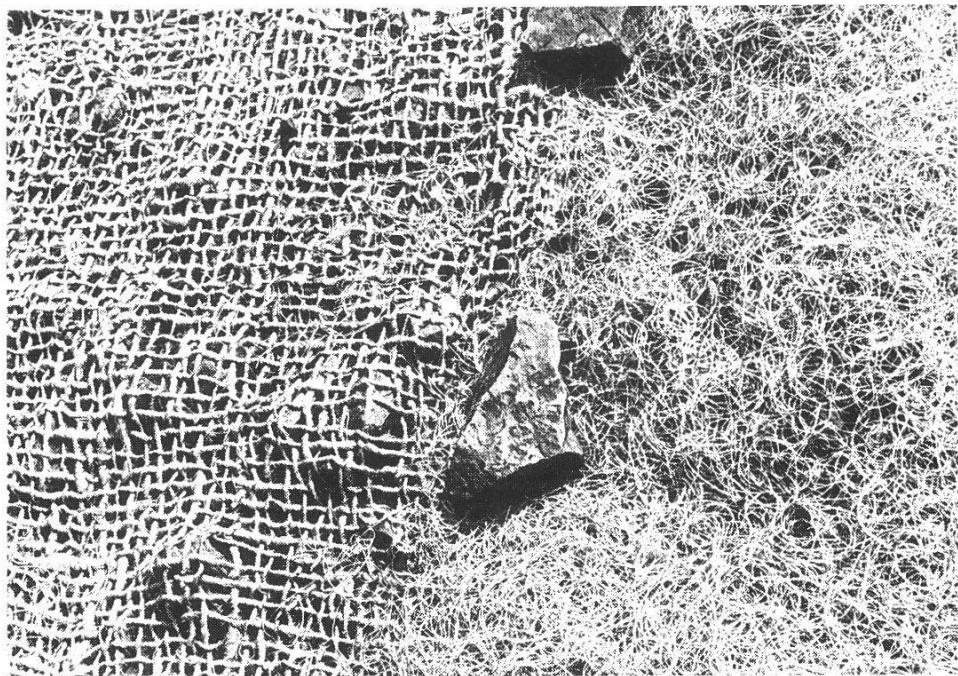


Fig. 9. Geschützte Aussaaten auf dem Jakobshorn.

Links: Jute-Abdeckung; rechts: Curlex®-Abdeckung.

Jakobshorn: Trial plots protected with geotextiles.

Left: jute blanket; right: Curlex® mat.

feine, dreidimensionale Struktur, in der sich ein eigenes Bestandesklima ausbilden kann. Die Jute-Decke ist dagegen widerstandsfähiger und liegt eng auf dem Untergrund auf (Fig. 9).

3.5.2.2. Einzelaussaaten

Die Feldversuche wurden auf Dolomit und auf Silikat durchgeführt. Auf beiden Substraten wurden auf planierten Skipisten Flächen angelegt. Frühsommeraussaaten wurden zwischen dem 4. und 15. Juli in den Jahren 1988, 1989 und 1990 angelegt. Spätsommeraussaaten wurden zwischen dem 15. September und dem 10. Oktober der Jahre 1987, 1988, 1989 und 1990 gemacht. Zur Aussaat gelangten skarifizierte und unbehandelte Leguminosensamen aus verschiedenen Populationen und aus verschiedenen Erntejahren. In den Aussaaten wurden jeweils 100 Samen einer Art ausgesät. Die Aussaaten fanden in Reinsaat statt. Für jede Art wurde innerhalb eines 1 m² grossen Aluminiumgitters Unterteilungen von 25x33 cm aus Kunststoff-Folie angefertigt (Fig. 10). Das Saatbeet wurde im Allgemeinen nicht vorbehandelt.

Nur bei wenigen Aussaaten wurde das Saatbeet vorbehandelt. In verschiedenen Serien wurden die Ansaaten zum Schutz vor intensiver Sonnenstrahlung

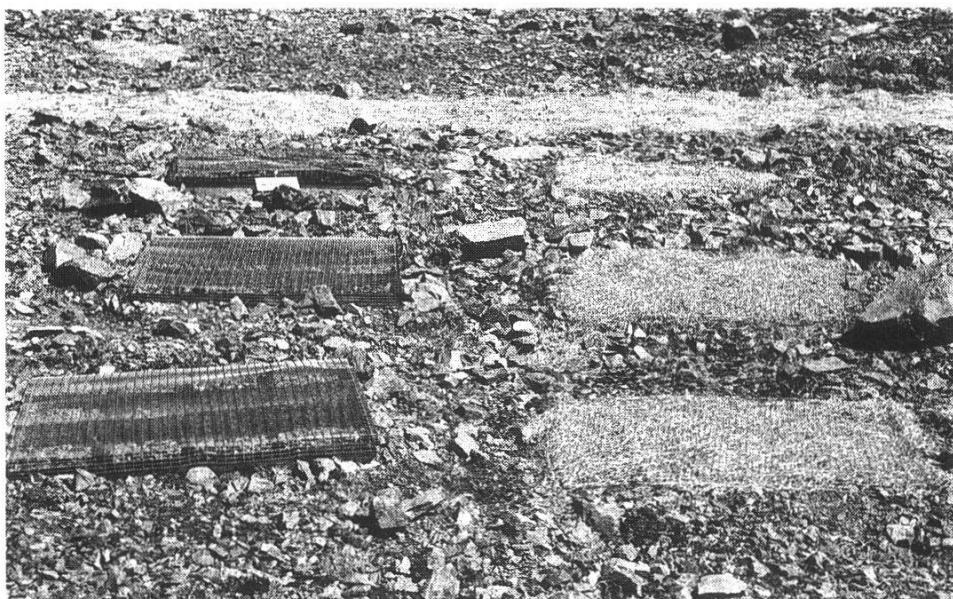


Fig. 10. Versuchsflächen auf dem Jakobshorn.

Links: Einzelaussaatflächen, die mit Aluminiumräumen gesichert wurden. Rechts: Mit Curlex® geschützte Versuchsflächen.

Trial plots at Jakobshorn.

Left: open plot, protected with aluminium frame. Right: plot protected with Curlex® mat.

mit Curlex® abgedeckt (Fig. 10). Zum Vergleich wurden auch einige Flächen mit Substrat und Volldünger versehen. Es wurde jeweils 1 kg Tonsubstrat Triohum® pro m² und 100 g Certoplant Royal® pro m² verwendet.

Alle Flächen wurden zweimal monatlich in den Sommermonaten Juli, August und September auf Vorkommen von neuen Keimlingen, Überleben und Entwicklung der Pflanzen kontrolliert. Belegexemplare wurden erst im Sommer 1991 gesammelt. Sie wurden zur Reproduktion fotokopiert und wenn notwendig retouchiert.

Samen aus 23 Populationen, die im Jahr 1988 gesammelt wurden, fanden in fast allen Aussaaten Verwendung (Tab. 3).

Unbehandelte Samen von all diesen Populationen wurden auf dem Jakobshorn und der Strela ausgesät. Für Versuche mit skarifizierten Samen und mit vorbehandeltem Saatbett wurden nur substratkompatible Populationen verwendet (Tab. 4).

Samen von 48 weiteren Populationen wurden in ergänzenden Einzelaussaaten verwendet. Es kam zum Teil auch älteres Samenmaterial und Material, das im Versuchsgarten Zürich geerntet wurde, zur Aussaat (Tab. 5).

Tab. 3. Herkunft der verwendeten Samen - *Origin of the seeds used in field trials.*

Art	Herkunft der Samen		Bemerkungen
<i>Anthyllis alpestris</i>	Bodmen	Ca	
<i>Astragalus alpinus</i>	Bodmen	Ca	
	Grünturm	Si	keine Herbstaussaat 1988
<i>Astragalus frigidus</i>	Gotschna	Ca	keine Herbstaussaat 1990
	Fanezmäder	Si	keine Herbstaussaat 1990
<i>Hedysarum obscurum</i>	Gotschna	Ca	keine Herbstaussaat 1990
	Fanezmäder	Si	keine Herbstaussaat 1990
<i>Hippocrepis comosa</i>	Fanezmäder	Si	keine Herbstaussaat 1988, 1990
<i>Lotus alpinus</i>	Sertig, H. d. Eggen	Ca	
	Dürrboden	Si	
<i>Oxytropis campestris</i>	Sertig, H. d. Eggen	Ca	
	Chörbsch Horn	Si	keine Herbstaussaat 1988
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Gotschna	Ca	keine Herbstaussaat 1988
	Schafläger	Si	
<i>Trifolium alpinum</i>	Jakobshorn	Si	keine Herbstaussaat 1988
<i>Trifolium badium</i>	Bodmen	Ca	keine Herbstaussaat 1988
	Grünturm	Si	keine Herbstaussaat 1988
<i>Trifolium nivale</i>	Gotschna	Ca	
	Grünturm	Si	keine Herbstaussaat 1988
<i>Trifolium pallescens</i>	Dürrboden	Si	
<i>Trifolium repens</i>	Clavadeler Alp	Si	keine Herbstaussaat 1988
<i>Trifolium thalii</i>	Bodmen	Ca	keine Herbstaussaat 1988
	Grünturm	Si	

Tab. 4. Muster der Aussaaten der Proben von Karbonat- und Silikatpopulationen.

Seeding patterns in trial plots.

Samenvorbehandlung - *pretreatments*: un = unbehandelte Samen - *untreated seeds*,, sk = skarifizierte Samen - *scarified seeds*.

Saatbeetbehandlung - *treatment of the soil*: Ob = ohne Behandlung - *no treatment*, Cu = Abdeckung mit Curlex® - *covered with Curlex® blankets*, S/D = Substrat und Düngerzuge-
be - *addition of substrate and fertilizer*.

Aussaat	Karbonatpopulationen				Silikatpopulationen		
	Aussaatort	Samen	Saatbeet	Aussaatort	Samen	Saatbeet	
Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob	Strela, Jakobshorn	un	Ob	
Juli 1989	Strela	sk, un	Ob, Cu	Jakobshorn	sk, un	Ob, Cu	
	Jakobshorn	sk, un	Ob	Strela	sk, un	Ob	
Sep. 1989	Strela	un	S/D, Ob	Jakobshorn	un	S/D, Ob	
	Jakobshorn	un	Ob	Strela	un	S/D	
Juli 1990	Strela	sk	S/D, Ob	Jakobshorn	sk	S/D, Ob	
	Jakobshorn	sk	S/D	Strela	sk	S/D	
Okt. 1990	Strela, Jakobshorn	sk	S/D	Strela, Jakobshorn	sk	S/D	

Tab. 5. Ergänzende Einzelaussaaten - *Supplementary seeding*.

Samenvorbehandlung - *seed pretreatment*: un = unbehandelte Samen - *untreated seeds*, sk = skarifzierte Samen - *scarified seeds*.

Saatbeetbehandlung - *treatment of the soil*: Ob = ohne Behandlung - *no treatment*, Cu = Abdeckung mit Curlex® - *covered with Curlex® blankets*, S/D = Substrat- und Düngerzuge - *addition of substrate and fertilizer*.

Art	Herkunft	Ernte	Aussaat	Ort	Samen	Saatbeet	
<i>Anthyllis alpestris</i>	Schiawang	Ca	1986	Sep. 1987	Strela	un	Ob
<i>Anthyllis alpestris</i>	Strela	Ca	1987	Juli 1988	Strela	un, sk	Ob
				Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Anthyllis alpestris</i>	Zürich	-	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Astragalus alpinus</i>	Grünturm	Si	1987	Sep. 1987	Jakobshorn	un	Ob
				Juli 1988	Jakobshorn	un, sk	Ob
				Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Astragalus frigidus</i>	Sertig	Ca	1987	Sep. 1987	Strela	un	Ob
<i>Astragalus frigidus</i>	Gotschna	Ca	1987	Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
<i>Hedysarum obscurum</i>	Gotschna	Ca	1987	Sep. 1987	Strela	ob	Ob
<i>Hippocrepis comosa</i>	Sertig	Ca	1987	Sep. 1987	Strela	un	Ob
				Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
<i>Hippocrepis comosa</i>	Gotschna	Ca	1988	Juli 1989	Strela	sk, un	Cu, Ob
				Jakobshorn	sk, un	Ob	
<i>Lotus alpinus</i>	Ducantal	Ca	1985	Sep. 1987	Strela	un	Ob
				Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Lotus alpinus</i>	Sertig	Ca	1987	Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
<i>Lotus alpinus</i>	Zürich	-	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Lotus alpinus</i>	Strelaberg	Si	1985	Sep. 1987	Jakobshorn	un	Ob
				Juli 1988	Jakobshorn	sk, un	Ob
				Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Oxytropis campestris</i>	Sertig	Ca	1985	Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Oxytropis campestris</i>	Sertig	Ca	1987	Sep. 1987	Strela	un	Ob
				Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
<i>Oxytropis campestris</i>	Grünturm	Si	1986	Sep. 1987	Jakobshorn	un	Ob
<i>Oxytropis campestris</i>	Grünturm	Si	1987	Juli 1988	Jakobshorn	sk, un	Ob
<i>Oxytropis campestris</i>	Grünturm	Si	1988	Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Grünenhorn	Ca	1985	Sep. 1987	Strela	un	Ob
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Gotschna	Ca	1987	Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
				Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Sertig	Ca	1988	Juli 1989	Strela	sk, un	Cu, Ob
				Juli 1989	Jakobshorn	sk, un	Ob
				Sep. 1989	Strela, Jakobshorn	un	S/D
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Schafläger	Si	1987	Sep. 1987	Jakobshorn	un	Ob
				Juli 1988	Jakobshorn	sk, un	Ob
				Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Schafläger	Si	1988	Juli 1989	Jakobshorn	sk, un	Cu, Ob
				Juli 1989	Strela	sk, un	Ob
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Zürich	-	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium alpinum</i>	Steintälli	Si	1985	Sep. 1987	Jakobshorn	un	Ob
				Juli 1988	Jakobshorn	sk, un	Ob
<i>Trifolium alpinum</i>	Dürrboden	Si	1988	Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Trifolium badium</i>	Felsenweg	Si	1985	Sep. 1987	Jakobshorn	un	Ob
<i>Trifolium badium</i>	Gotschna	Ca	1987	Sep. 1987	Strela	un	Ob
				Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
				Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob

Tab. 5 (Forts. - *continued*)

Art	Herkunft	Ernte	Aussaat	Ort	Samen	Saatbeet	
<i>Trifolium badium</i>	Grünturm	Si	1987	Juli 1988 Sep. 1988	Jakobshorn Strela, Jakobshorn	sk, un un	Ob Ob
<i>Trifolium badium</i>	Zürich	Si	1987	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium badium</i>	Dürrboden	Si	1988	Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Trifolium nivale</i>	Strela	Ca	1985	Sep. 1987	Strela	un	Ob
<i>Trifolium nivale</i>	Gotschna	Ca	1987	Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
<i>Trifolium nivale</i>	Zürich	-	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium nivale</i>	Chummerh.	Si	1987	Sep. 1987	Jakobshorn	un	Ob
<i>Trifolium nivale</i>	Grünturm	Si	1987	Juli 1988	Jakobshorn	sk, un	Ob
<i>Trifolium nivale</i>	Dürrboden	Si	1988	Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Trifolium nivale</i>	Clavadel	Si	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium pallescens</i>	Grünturm	Si	1987	Sep. 1987 Juli 1988 Sep. 1988	Jakobshorn Jakobshorn Strela, Jakobshorn	un sk, un un	Ob Ob Ob
<i>Trifolium pallescens</i>	Schafläger	Si	1987	Sep. 1988	Strela, Jakobshorn	un	Ob
<i>Trifolium pallescens</i>	Zürich	-	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium repens</i>	Clavadel	Si	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium repens</i>	Zürich	-	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium thalii</i>	Strela	Ca	1985	Sep. 1987	Strela	un	Ob
<i>Trifolium thalii</i>	Gotschna	Ca	1987	Juli 1988	Strela	sk, un	Ob
<i>Trifolium thalii</i>	Fanez	Ca	1988	Sep. 1988 Sep. 1989	Strela, Jakobshorn Strela, Jakobshorn	un un	Ob S/D, Ob
<i>Trifolium thalii</i>	Zürich	-	1989	Juli/Okt.'90	Strela, Jakobshorn	sk	S/D
<i>Trifolium thalii</i>	Strelaberg	Si	1987	Sep. 1987 Juli 1988	Jakobshorn Jakobshorn	un sk, un	Ob Ob

3.5.2.3. Mischaussaaten

1989 wurden auf dem Jakobshorn einige Mischsaatflächen angelegt, die mit verschiedenen kommerziellen Substraten, Dünger und Abdeckmaterialien behandelt wurden (Tab. 6). Auf 19 Quadratmeterflächen wurde je 3 g einer einheitlichen Saatmischung aus verschiedenen *Trifolium*-Arten (*T. alpinum*, *T. badium*, *T. nivale*, *T. pallescens*, *T. repens* und *T. thalii*) ausgesät. Dies entspricht etwa einer Menge von 1800 Samen. Von den verschiedenen Substraten wurde jeweils 1kg und 5 kg/m² oberflächlich ausgestreut. Zur Anwendung kamen die Substrate Pistaren®, Terraverde®, Triohum® und das Begrünungssubstrat der Volg. Wo zusätzlich Dünger verwendet wurde, wurde 100 g Certoplant Royal®/m² ausgestreut. Zur Abdeckung wurde teilweise Curlex® und Jute verwendet. (Beschreibung dieser Materialien siehe Kap. 3.5.2.2).

Die aufgelaufenen Keimlinge und überlebenden Jungpflanzen wurden einmal pro Monat im Sommer 1990 und 1991 ausgezählt.

Tab. 6. Muster der verschiedenen Saatbeetvorbehandlungen in den Mischsaatflächen. Mengenangaben in Kilogramm pro m².

Pretreatments of the experimental plots seeded with mixed material. Quantities given in kilogram per m².

Fläche Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Triohum	-	-	1	-	-	-	-	5	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	
Terraverde	-	-	-	1	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
Pistaren	-	-	-	-	1	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	1	-	
Volg	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	1	
Certoplant	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Curlex	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	
Jute	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	

3.5.2.4. Auswertung und Definitionen

Die statistischen Berechnungen und Auswertungen erfolgten mit dem Softwarepaket Stat View™ auf Apple Macintosh.

Folgende Daten wurden in den Feldbeobachtungen berücksichtigt:

Saataufgang % = Anzahl beobachteter Keimlinge in % der Anzahl ausgesäter Samen.

Sterblichkeit % = Anzahl abgestorbenener Keimlinge und Jungpflanzen in % der gesamten Anzahl beobachteter Keimlinge.

Überleben % = Anzahl vorhandener Individuen in % der Anzahl potentiell möglichen Individuen zur Zeit der Kontrolle. Beispiel: Bei 100 ausgesäten Samen und einer Überlebensrate von 36%, sind von potentiell möglichen 100 Individuen, 36 zur Zeit der Kontrolle auf der Fläche vorhanden.

3.5.3. Auspflanzungen

Um die Auswirkung des Untergrundes auf die Jungpflanzen verschiedener Populationen charakterisieren zu können wurde einige Jungpflanzen die aus Samen von Silikat- und Karbonatpopulationen hervorgegangen waren, im Jahr 1989 auf dem Jakobshorn ausgepflanzt. Die Jungpflanzen waren im Frühjahr aus Samen in der Klimakammer gekeimt und waren zum Zeitpunkt der Auspflanzung rund 100 Tage alt. Sie wurden in Rootrainers® mit Gartenerde aufgezogen. Von jeder Population wurden zwei Flächen von 1 m² mit insgesamt 40 Individuen angelegt und mit Curlex® geschützt (Tab. 7). In einer Hälfte der Flächen wurde im Juli des Jahres 1990 100 g Certoplant Royal®/m² zugegeben.

Die ausgepflanzten Individuen wurden monatlich auf Überleben, Entwicklung neuer Triebe (Ramets) und Blütenbildung geprüft.

Tab. 7. Auspflanzung September 1989 auf dem Jakobshorn auf Silikat. Herkunft des Samenmaterial.

Planting in September 1989 at Jakobshorn, on silicate. Origin of the seed material

Art	Herkunft der Samen	Substrat
<i>Lotus alpinus</i>	Sertig, Hinter den Eggen	Kalk
<i>Lotus alpinus</i>	Dürrboden	Silikat
<i>Trifolium badium</i>	Bodmen	Kalk
<i>Trifolium badium</i>	Grünturm	basenhaltiger Silikat
<i>Trifolium nivale</i>	Gotschna	Kalk
<i>Trifolium nivale</i>	Grünturm	basenhaltiger Silikat
<i>Trifolium pallescens</i>	Dürrboden	Silikat
<i>Trifolium repens</i>	Clavadeler Alp	Silikat
<i>Trifolium thalii</i>	Bodmen	Kalk
<i>Trifolium thalii</i>	Grünturm	basenhaltiger Silikat

3.5.4. Zur Untersuchung der Populationsdynamik, Demographie

Vier Leguminosenpopulationen (*Trifolium badium* auf dem Grünturm, *Trifolium thalii* auf den Fanezmädern, *Astragalus frigidus* auf dem Gotschnagrat und *Oxytropis jacquinii* im Sertig) wurden in Bezug auf die Populationsdichte, Blühintensität, Samenproduktion und die Samenbank im Boden untersucht. Im Areal der Population wurden je 10 m^2 zufällig ausgewählt. In diesen Quadratmetern wurden die folgenden Daten aus dem Lebenszyklus der Populationen erhoben:

- Populationsdichte (Pflanzen pro m^2)
- Dichte der Blütenstände pro m^2 (Anzahl Blütenstände pro Pflanze)
- Anzahl der produzierten Samen pro m^2 (tote/lebensfähige Samen)
- Anzahl der Samen im Boden pro m^2

Die Anzahl der Samen im Boden wurde durch das Ausstechen einer Probe von 5 cm Durchmesser innerhalb des untersuchten Quadratmeters bestimmt. Die Bodenprobe wurde ausgesiebt und die gefundenen Samen auf die Fläche von einem Quadratmeter hochgerechnet. Diese Untersuchungen wurden Ende September 1990 durchgeführt. Die Resultate stellen eine Momentaufnahme dar. Das Verhalten der vier Arten kann in den verschiedenen Jahren sicherlich stark schwanken. Genauere Untersuchungen wären hier äusserst interessant.

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.

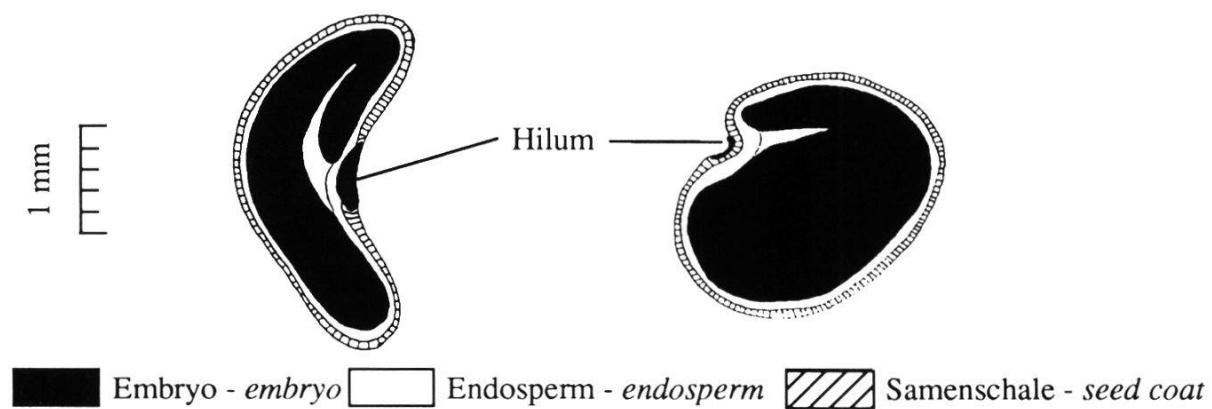


Fig. 11. Querschnitte durch Samen von zwei verschiedenen Leguminosenarten.

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

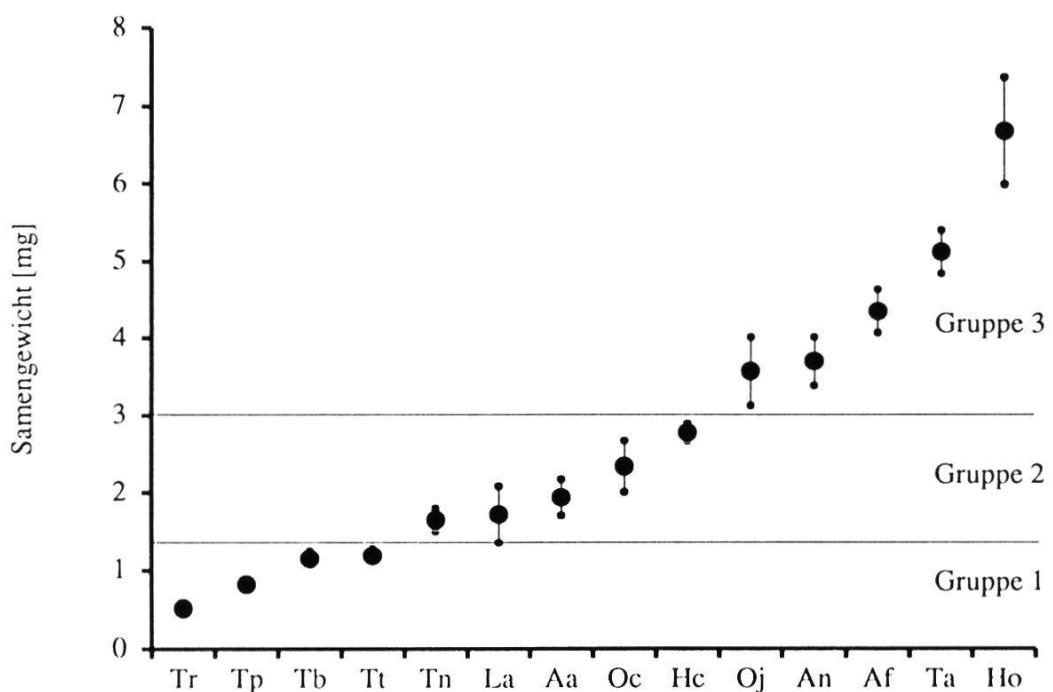


Fig. 12. Durchschnittliches Samengewicht mit Standardabweichungen der verschiedenen Leguminosenarten. Abkürzungen der Artnamen (Akkronyme) siehe Tab. 8.
Mean value and standard deviation of the seed weight of the different Leguminosae species. Acronyms see Table 8.

1. Arten mit sehr kleinen und leichten Samen (0.5-1.3 mg): *Trifolium repens*, *T. pallens*, *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* mittelgrossen 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).

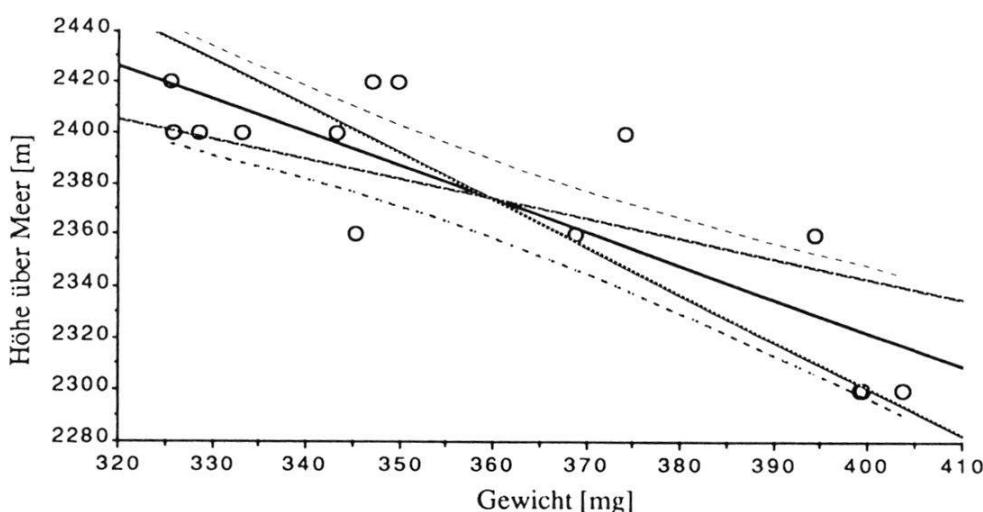


Fig. 13. *Anthyllis alpestris*: Samengewicht in Abhängigkeit von der Höhe ü.M. der verschiedenen Populationen. Regression und Standardabweichungen.
Anthyllis alpestris: Seed weight related to the elevation a.s.l. of various populations. Regression and standard deviation.

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 vorliegenden 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.

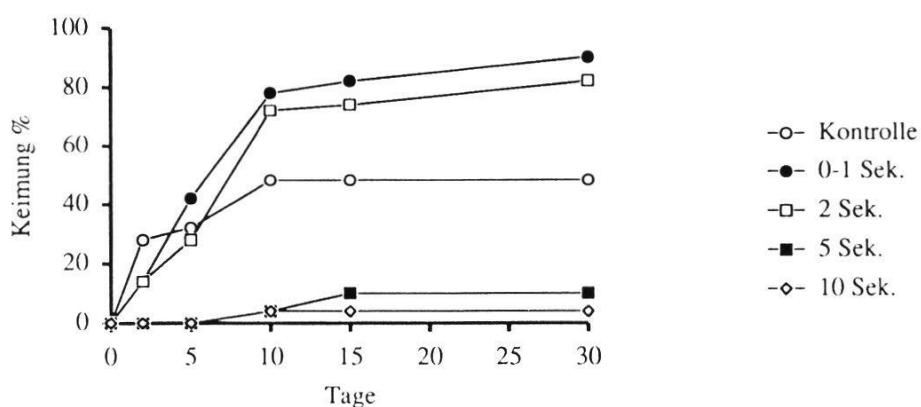


Fig. 14. *Trifolium nivale*: Keimung nach Tauchen in kochendem Wasser.
Trifolium nivale: Germination after dipping in boiling water.

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.

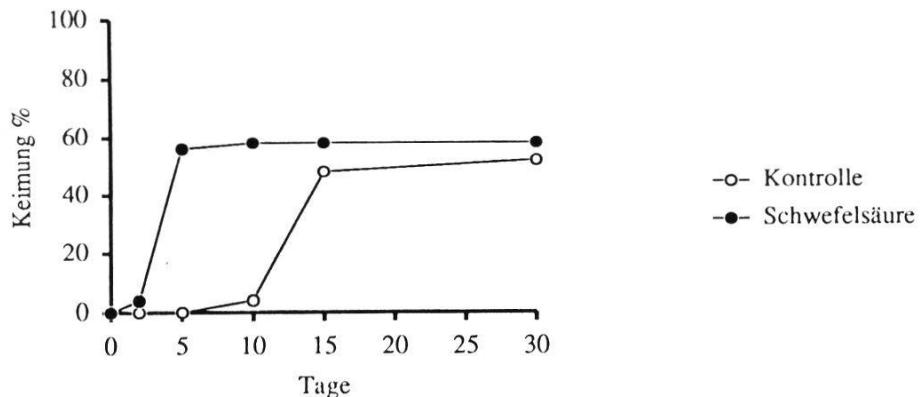


Fig. 15. *Oxytropis jacquinii*: Keimung nach kurzem Tauchen in konzentrierter Schwefelsäure.

Oxytropis jacquinii: Germination after a brief dipping in concentrated sulphuric acid.

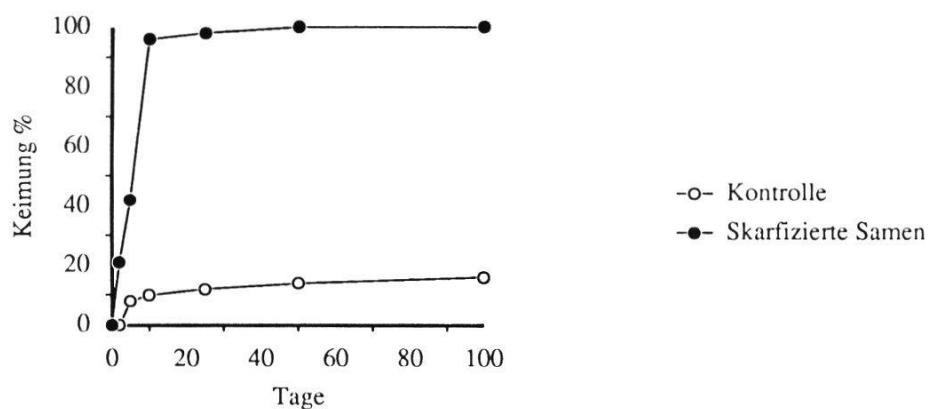


Fig. 16. Keimung nach Skarifikation mit dem Skalpell.

Trifolium alpinum: Germination after scarification with a scalpel.

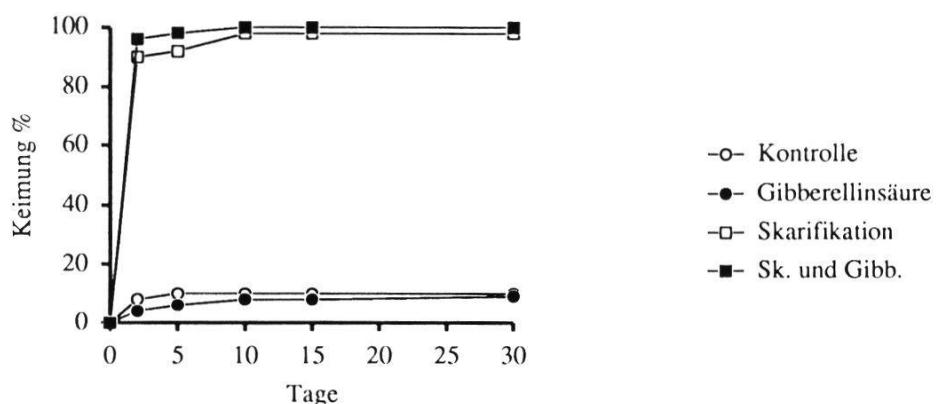


Fig. 17. *Trifolium badium*: Keimung nach Skarifikation, nach Behandlung mit Gibberellinsäure und bei kombinierter Vorbehandlung.

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 Leguminosen-samen sicher nachweisen. Die Skarifikation macht die Samenschale wasser-durchlässig, die angeborene Keimruhe ist damit vollständig gebrochen. Durch den 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 insgesamt 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

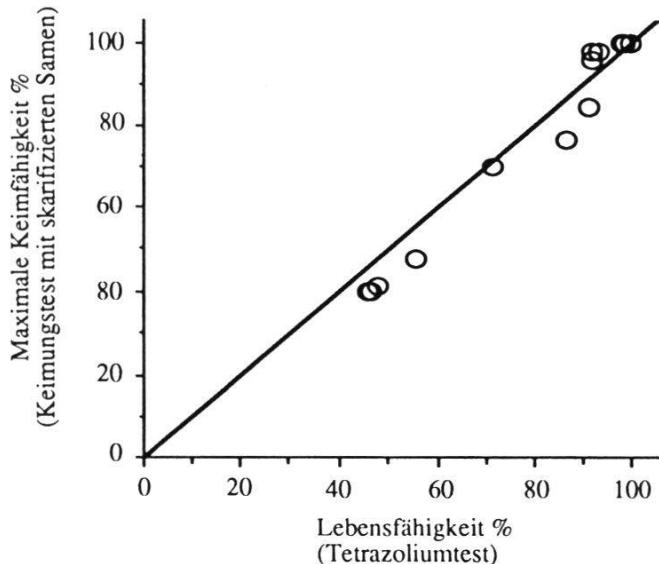


Fig. 18. Lebensfähigkeit und maximale Keimfähigkeit: Die Ergebnisse von zwölf Versuchsserien.

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 wenig höher als derjenige der Keimfähigkeit erwies (Fig. 19).

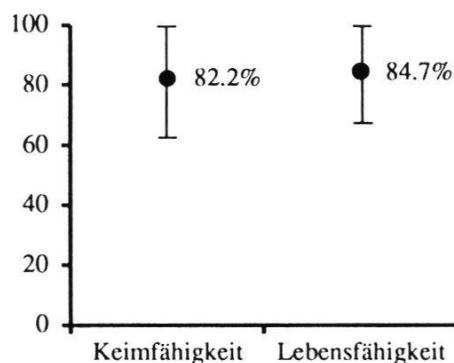


Fig. 19. Mittelwerte und Standardabweichung der maximalen Keimfähigkeit und Lebensfähigkeit der zwölf Versuchsserien.

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	
<i>Anthyllis alpestris</i>	x Max-Min	2.0 8	4.7 8	5.3 12	8.0 12	12.0 4	15.3 4	23.3 12	45.3 20	62.7 16
<i>Astragalus frigidus</i>	x Max-Min	0.7 4	4.7 12	25.3 16	42.0 20	50.7 8	56.0 16	58.0 20	58.7 20	58.7 20
<i>Hippocrepis comosa</i>	x Max-Min	3.3 4	12.7 12	22.7 12	30.7 24	42.0 24	48.7 16	54.7 16	72.0 12	77.3 8
<i>Oxytropis jacquinii</i>	x Max-Min	16.0 8	44.0 16	58.7 16	68.7 12	72.0 16	76.7 12	76.7 12	79.3 12	81.3 16
<i>Trifolium alpinum</i>	x Max-Min	2.0 8	4.7 8	5.3 12	8.0 12	12.0 4	15.3 4	23.3 12	45.3 20	62.7 16
<i>Trifolium nivale</i>	x Max-Min	2.0 4	8.0 8	12.7 12	24.0 12	32.0 20	40.7 8	49.3 8	60.0 12	70.0 8
<i>Trifolium thalii</i>	x Max-Min	1.3 4	4.7 4	8.7 8	14.7 8	20.7 16	24.0 16	31.3 24	47.3 28	52.0 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 Klimakamversuche 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				1990			
				t75 un.	t75 sk.	Keimung un.	Keimung sk.	t75 un.	t75 sk.	Keimung un.	Keimung sk.
<i>Anthyllis alpestris</i>	Grünturm	Si	1988	18	2	62	96				
<i>Anthyllis alpestris</i>	Bodmen	Ca	1988	6	2	72	100	5.5	1	74	96
<i>Anthyllis alpestris</i>	Sertig	Ca	1987	2	2	18	100	3.5	1	30	100
<i>Anthyllis alpestris</i>	Schiawang	Ca	1986	40	1	18	100	1.5	1	50	98
<i>Anthyllis alpestris</i>	Schiawang	Ca	1988	40	2	86	100	65	1	62	90
<i>Anthyllis alpestris</i>	Strela	Ca	1988	53	2	64	100	48	1	68	100
<i>Anthyllis alpestris</i>	Clavadel Garten		1990							43	1
<i>Anthyllis alpestris</i>	Zürich Garten		1989					23	1	10	96
<i>Anthyllis alpestris</i>										3	1
<i>Astragalus alpinus</i>	Grünturm	Si	1988	65	2	73	100	80	1	58	98
<i>Astragalus alpinus</i>	Grünturm	Si	1988	75	2	64	100	70	1.5	62	98
<i>Astragalus alpinus</i>	Grünturm	Si	1988	60	2	54	100	68	1.5	62	100
<i>Astragalus alpinus</i>	Bodmen	Ca	1988	30	2	82	96	30	1	90	96
<i>Astragalus alpinus</i>	Bodmen	Ca	1988	45	2	88	100	55	1.5	88	100
<i>Astragalus alpinus</i>	Zürich Garten		1989					78	1.5	22	98
<i>Astragalus alpinus</i>										60	1
<i>Astragalus frigidus</i>	Fanezmäder	Si	1988	78	2	60	100	73	2	54	100
<i>Astragalus frigidus</i>	Fanezmäder	Si	1988	63	2	64	100	73	2	58	100
<i>Astragalus frigidus</i>	Bodmen	Ca	1988	15	5	76	86	20	5	58	80
<i>Astragalus frigidus</i>	Bodmen	Ca	1988	63	3.5	54	100	75	5	44	98
<i>Astragalus frigidus</i>	Gotschna	Ca	1988	38	3.5	10	14	75	6	12	22
<i>Astragalus frigidus</i>	Gotschna	Ca	1988	55	1.5	80	94	55	5	86	98
<i>Astragalus frigidus</i>	Gotschna	Ca	1988	40	1.5	64	98			30	1
<i>Astragalus frigidus</i>	Gotschna	Ca	1990							5.5	1
<i>Hedysarum obscurum</i>	Fanezmäder	Si	1988	40	2	100	100	33	1.5	96	100
<i>Hedysarum obscurum</i>	Bodmen	Ca	1988	7.5	5	56	92			7.5	1
<i>Hedysarum obscurum</i>	Gotschna	Ca	1987	25	2	95	95			78	74
<i>Hedysarum obscurum</i>	Gotschna	Ca	1988	5	2	100	98	10	1	90	96
<i>Hedysarum obscurum</i>	Gotschna	Ca	1988	18	3.5	98	100	33	1	100	96
<i>Hippocrepis comosa</i>	Ducantal	Si	1988	50	3.5	90	96	50	2	72	98
<i>Hippocrepis comosa</i>	Fanezmäder	Si	1988	33	3.5	100	100	40	1.5	76	94
<i>Hippocrepis comosa</i>	Gotschna	Ca	1987	38	5	40	75			33	2
<i>Hippocrepis comosa</i>	Gotschna	Ca	1988	28	5	66	84	35	2	76	86
<i>Hippocrepis comosa</i>	Clavadel Garten		1989							23	6
<i>Hippocrepis comosa</i>	Clavadel Garten		1990					83	1	28	94
<i>Lotus alpinus</i>	Dürrboden	Si	1988	45	2	44	100	48	1	46	98
<i>Lotus alpinus</i>	Dürrboden	Si	1988	73	2	62	100	55	1.5	66	100
<i>Lotus alpinus</i>	Fanezmäder	Si	1988	33	2	74	96	45	1.5	66	100
<i>Lotus alpinus</i>	Grünturm	Si	1988	58	2	60	100	63	1	68	100
<i>Lotus alpinus</i>	Jakobshorn	Si	1988	28	2	80	95	30	2	70	90
<i>Lotus alpinus</i>	Latschüel	Si	1988	58	2	58	100	60	1	62	100
<i>Lotus alpinus</i>	Strelaberg	Si	1985	28	2	32	100	35	1	28	100
<i>Lotus alpinus</i>	Ducantal	Ca	1985	18	2	36	100			43	2
<i>Lotus alpinus</i>	Ducantal	Ca	1985	8.5	2	32	96	2	2	56	96
<i>Lotus alpinus</i>	Ducantal	Ca	1988	65	2	56	100	58	1.5	48	100
<i>Lotus alpinus</i>	Sertig	Ca	1988	63	2	36	100	60	1	34	100
<i>Lotus alpinus</i>	Zürich Garten		1989					25	1	16	96
<i>Oxytropis campestris</i>	Chörbschhorn	Si	1988	30	2	82	98	38	1	88	100
<i>Oxytropis campestris</i>	Chörbschhorn	Si	1988	40	2	38	98	38	1	58	98
<i>Oxytropis campestris</i>	Grünturm	Si	1986	43	2	56	100			53	1
<i>Oxytropis campestris</i>	Grünturm	Si	1986	10	2	66	100	30	1	60	100
<i>Oxytropis campestris</i>	Grünturm	Si	1988	50	2	80	100	43	1	80	98
<i>Oxytropis campestris</i>	Grünturm	Si	1988	55	2	60	92	63	1	62	100
<i>Oxytropis campestris</i>	Schafläger	Si	1988	10	2	66	96	35	1	62	94
<i>Oxytropis campestris</i>	Sertig	Ca	1985	30	1	88	98	20	1.5	72	90

Tab. 10. (Fortsetzung - *continued*)

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

Tab. 10. (Fortsetzung - *continued*)

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

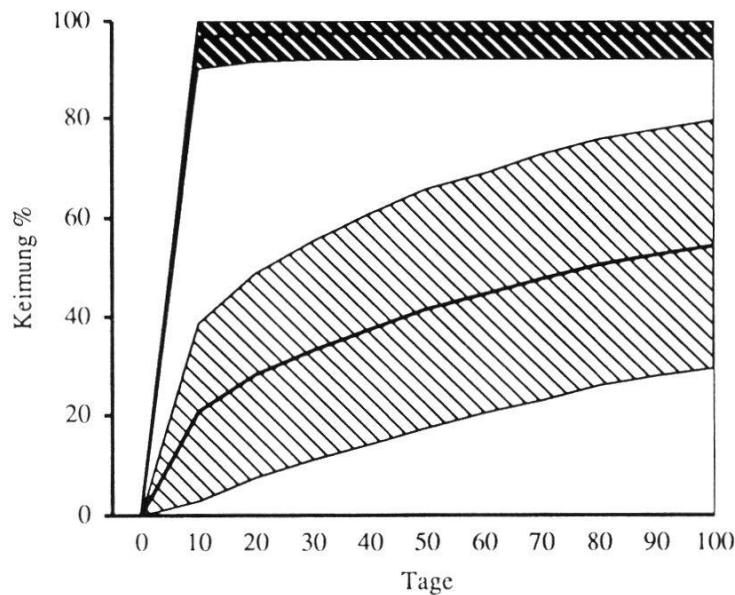


Fig. 20. Keimungsverhalten von skarifizierten und unbehandelten Leguminosensamen. Mittelwerte und Standardabweichungen von 14 Leguminosarten aus 65 Populationen in insgesamt 3184 Versuchsserien à 25 Samen.

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 t_{75} -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 Leguminosengattungen.

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

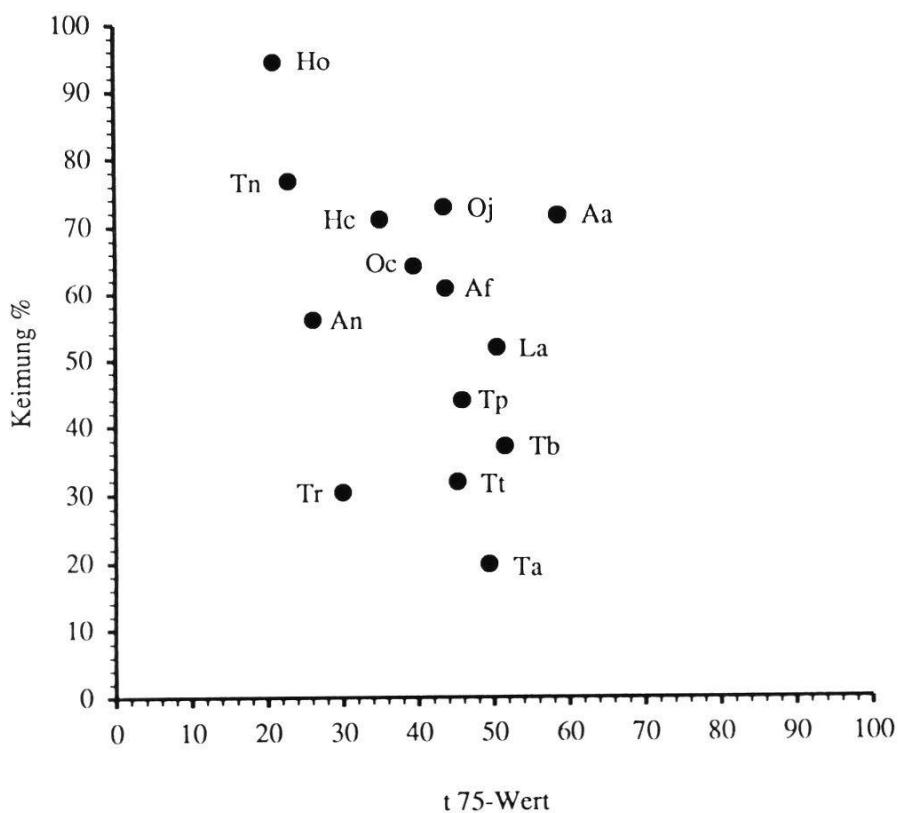


Fig. 21. Keimverhalten von unbehandeltem Samenmaterial unter kontrollierten Bedingungen. Mittelwerte. (Akronyme siehe Tab. 11).

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*, *Hippocratea 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.

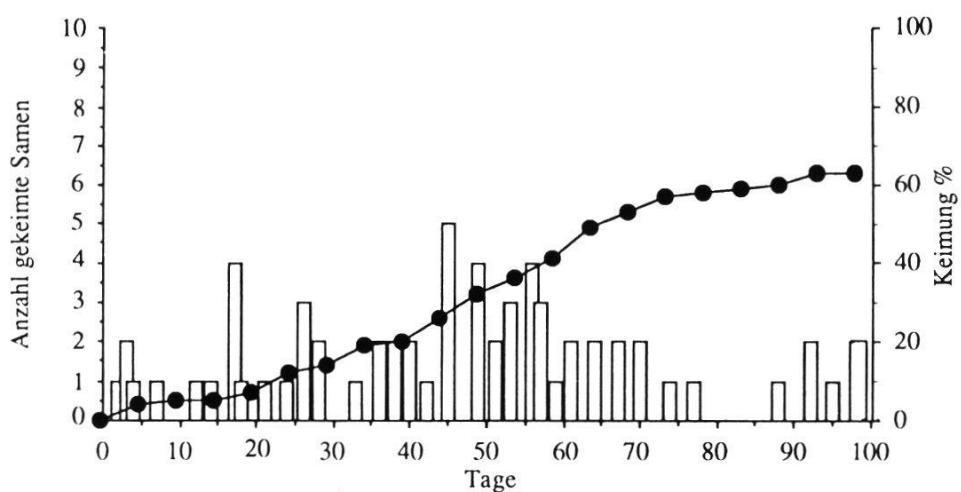


Fig. 22. *Trifolium badium* von Karbonat, Ernte 1987: Keimungsverlauf von 100 Samen. Säulen: Anzahl pro Tag gekeimte Samen, Linie: Summe der gekeimten Samen in Prozent. *Trifolium badium* from carbonate, harvested in 1987: Germination of 100 seeds. Bars: number of germinated seeds per day, line: total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

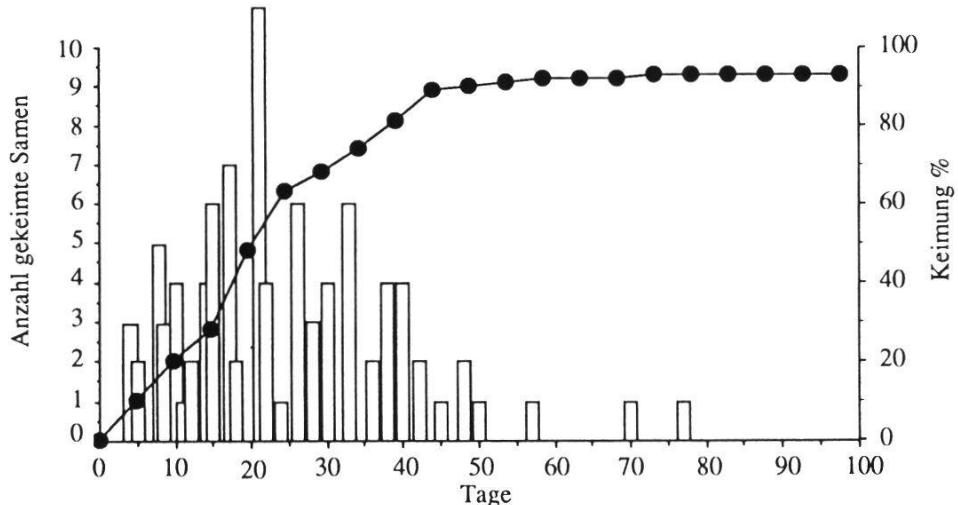


Fig. 23. *Oxytropis jacquinii* von Silikat, Ernte 1987: Keimungsverlauf von 100 Samen. Säulen: Anzahl pro Tag gekeimte Samen, Linie: Summe der gekeimten Samen in Prozent. *Oxytropis jacquinii* from silicate, harvested in 1987: Germination of 100 seeds. Bars: number of germinated seeds per day, line: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

4.2.4. Lichtverhältnisse und Keimung

Die Keimungsverläufe und die Keimungsrate der skarifizierten Samen nach

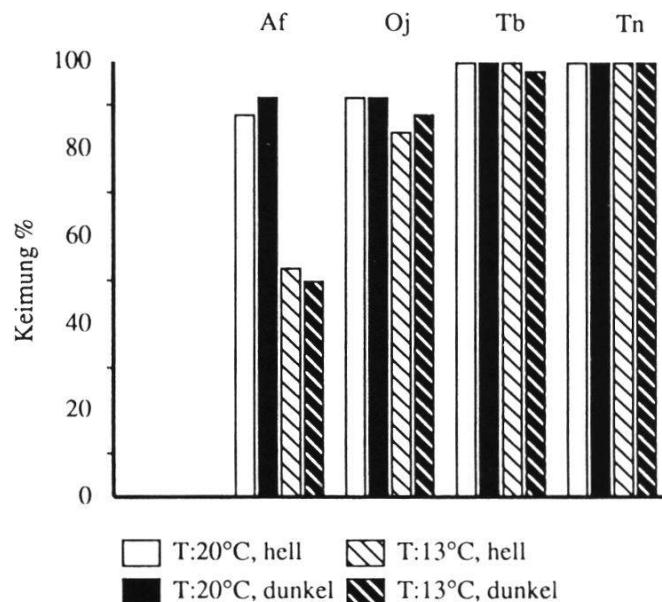


Fig. 24. Keimungsprozente nach 100 Tagen bei vier Leguminosenarten in Langtagverhältnissen und Dunkelheit bei verschiedenen Temperaturen.

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.

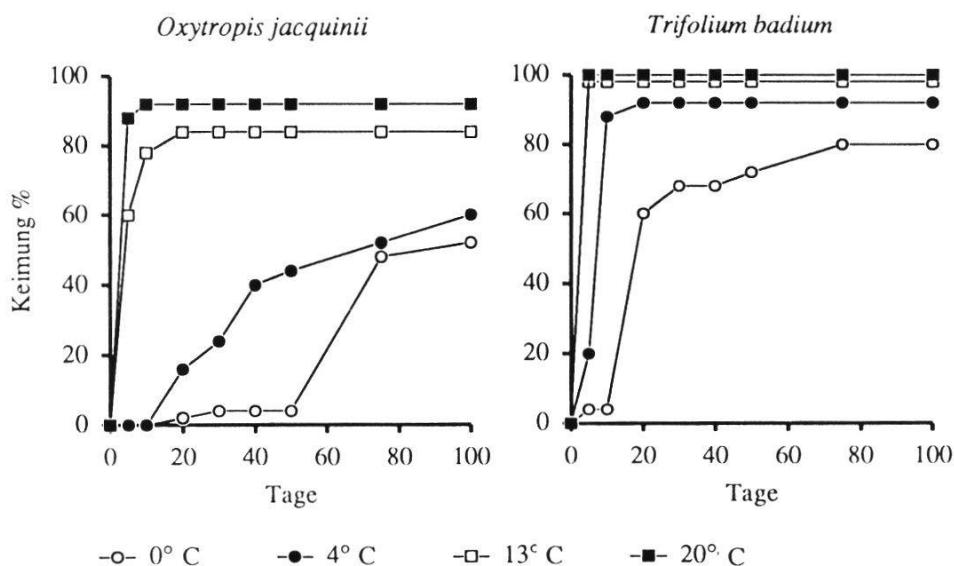


Fig. 25. Keimverhalten von zwei Leguminosarten bei unterschiedlichen Temperaturen.
Germinating behaviour of two Leguminosae species at different temperatures.

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.

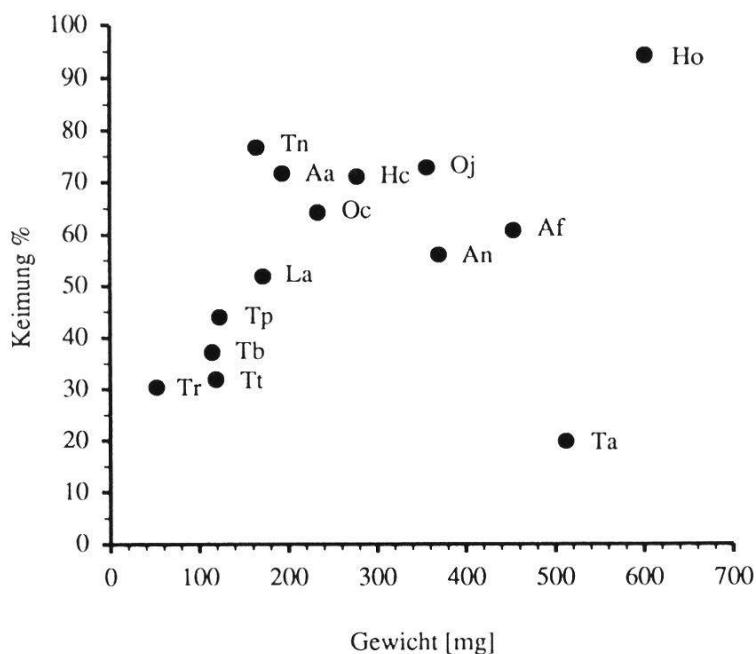


Fig. 26. Keimung und Samengewicht der verschiedenen Leguminosenarten.

(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*,

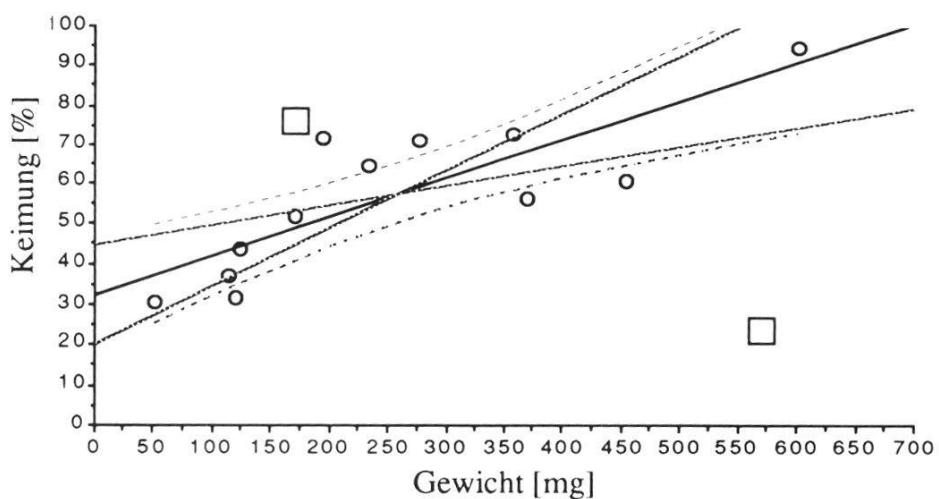


Fig. 27. Regression zwischen Gewicht und Keimung. Standardabweichungen.

Regression between weight and germination. Standard deviation.

(O) Werte, die zur Berechnung verwendet wurden - *values used for calculations*,

(□) Ausreisser - *values, excepted*.

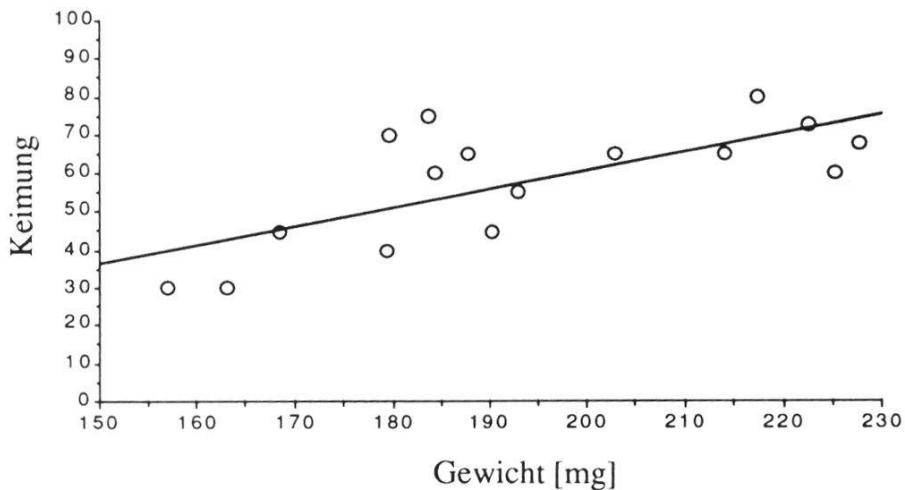


Fig. 28. *Astragalus alpinus*: Keimung in Abhängigkeit vom Samengewicht.

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).

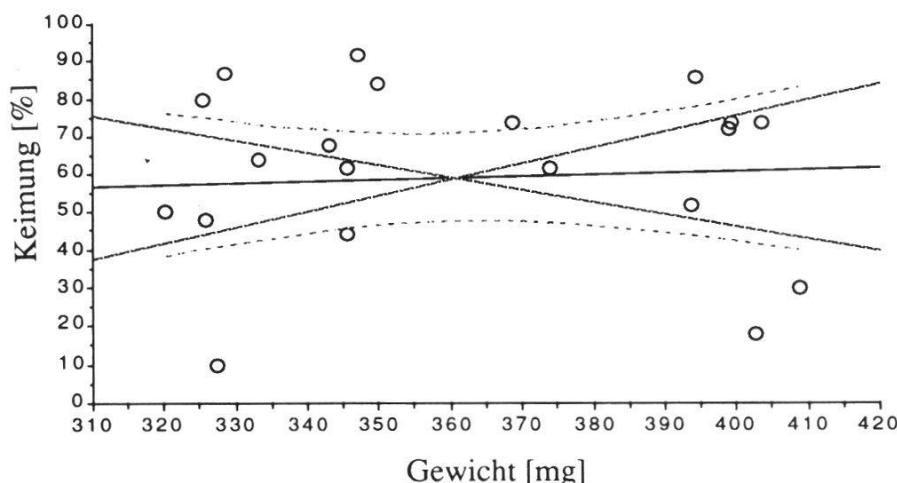


Fig. 29. *Anthyllis alpestris*: Keimung in Abhängigkeit vom Samengewicht. Regression mit Standardabweichungen.
Anthyllis alpestris: Germination compared with seed weight. Regression with standard deviation.

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)
<i>Anthyllis alpestris</i>			
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
<i>Oxytropis campestris</i>			
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
<i>Oxytropis jacquinii</i>			
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
<i>Trifolium pallescens</i>			
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 wenig besser keimten als die jeweiligen Karbonatpopulationen. Deutlich war dies bei *Lotus alpinus* zu be-

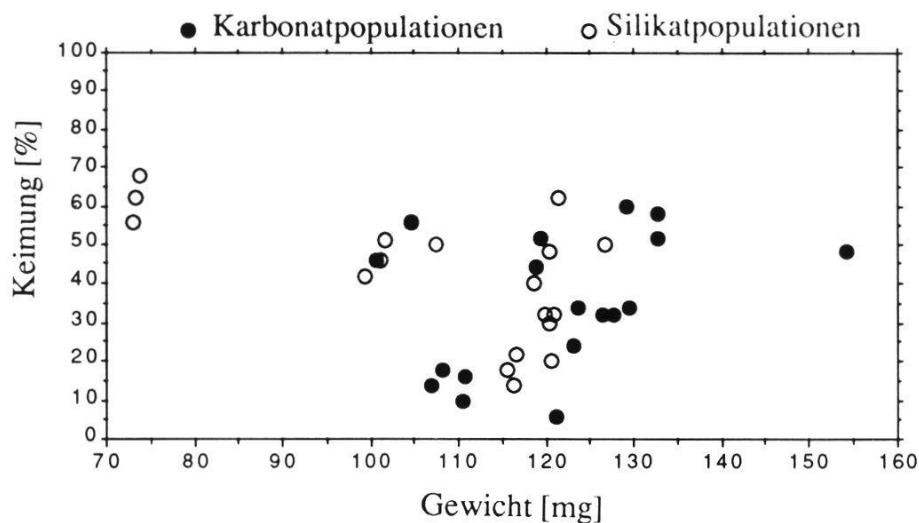


Fig. 30. *Trifolium thalii*: Samengewicht und Keimung der Samen von Silikat- und Karbonatpopulationen.

Trifolium thalii: Seed weight and germination of samples from silicate and carbonate populations.

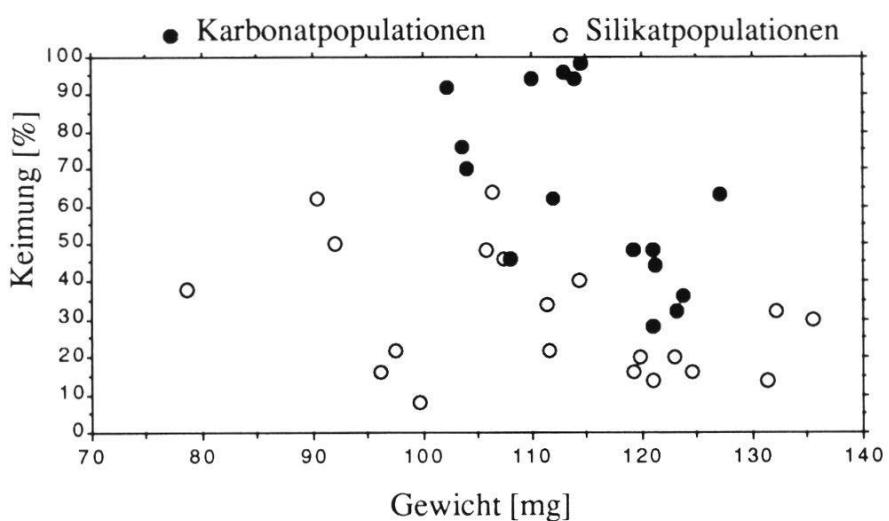


Fig. 31. *Trifolium badium*: Gewicht und Keimung der Samen von Silikat- und Karbonatpopulationen.

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.

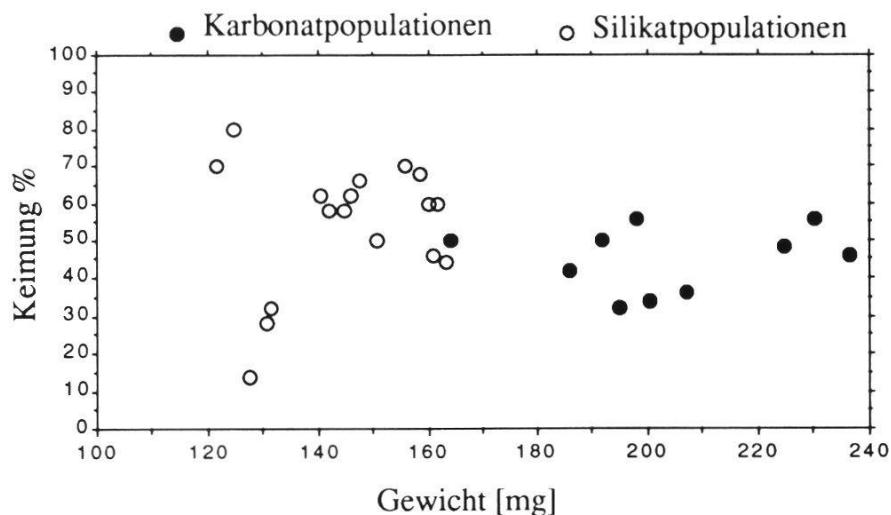


Fig. 32. *Lotus alpinus*: Gewicht und Keimung der Samen von Silikat- und Karbonatpopulationen.

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 Versuchsreihen 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.

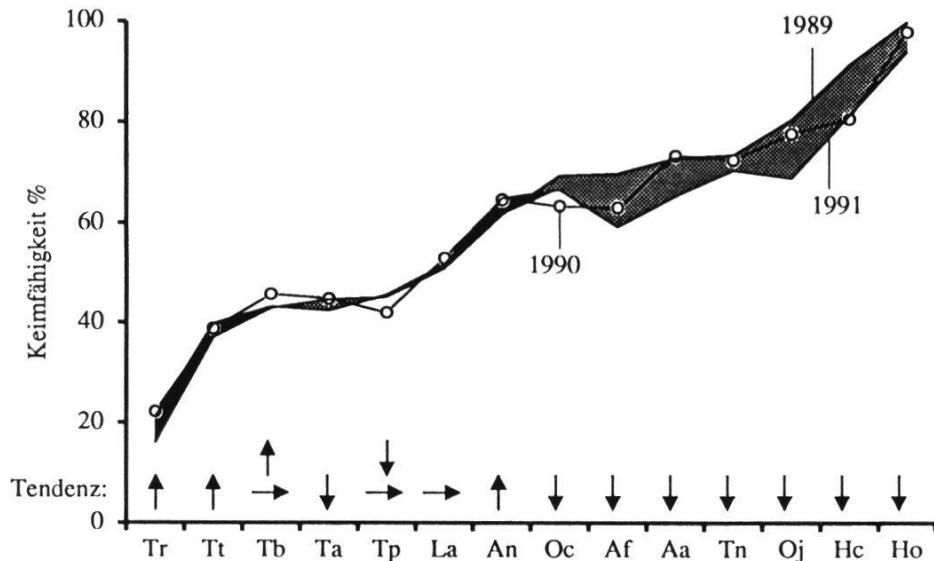


Fig. 33. Keimfähigkeit im Verlaufe der Zeit. Mittelwerte der Daten aus den jährlichen Wiederholungen verschiedenster Populationen aller untersuchten Leguminosenarten.

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

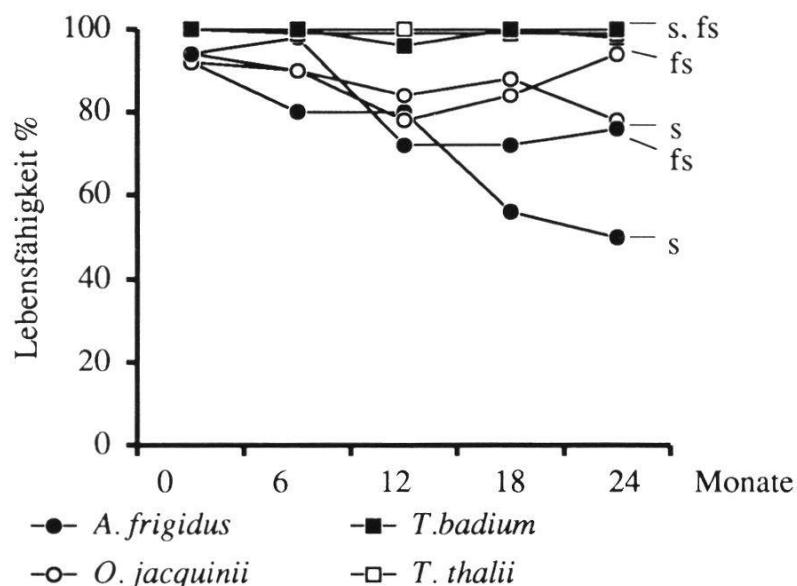


Fig. 34. Lebensfähigkeit von frisch skarifizierten (fs) und skarifiziert gelagerteren (s) Samen.

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.

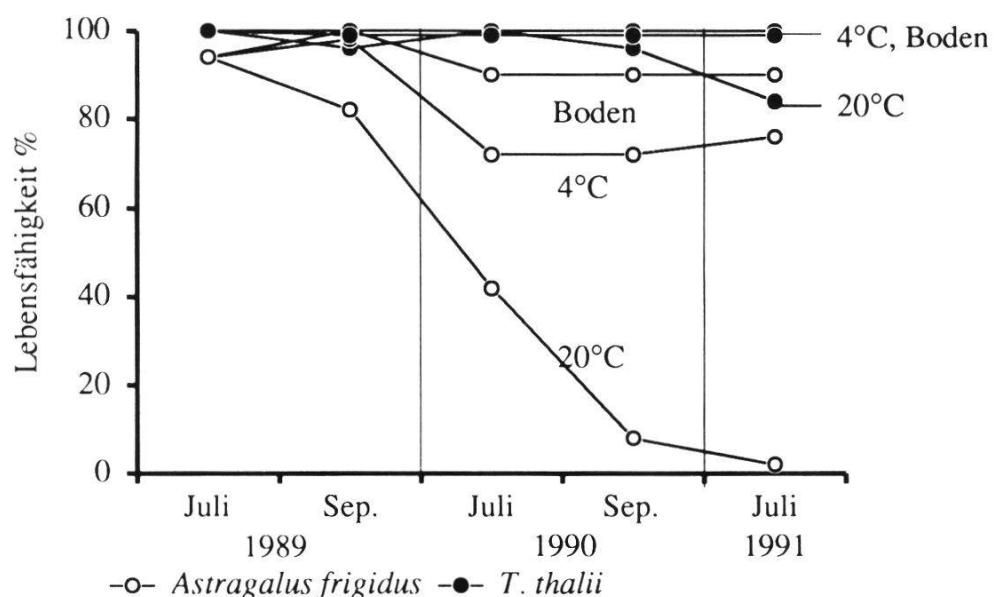


Fig. 35. Lebensfähigkeit verschieden gelagerter Samen von *Astragalus frigidus* und *Trifolium thalii* im Boden, im Kühlschrank und bei Zimmertemperatur.
Seed viability of Astragalus frigidus and Trifolium thalii in different storages in the soil, in a refrigerator and at normal room temperature.

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 2 $\frac{1}{2}$ Jahren zu hundert Prozent lebensfähig. Die Keimfähigkeit der Samen schwankte um ein wenig im Laufe der Vegeta-

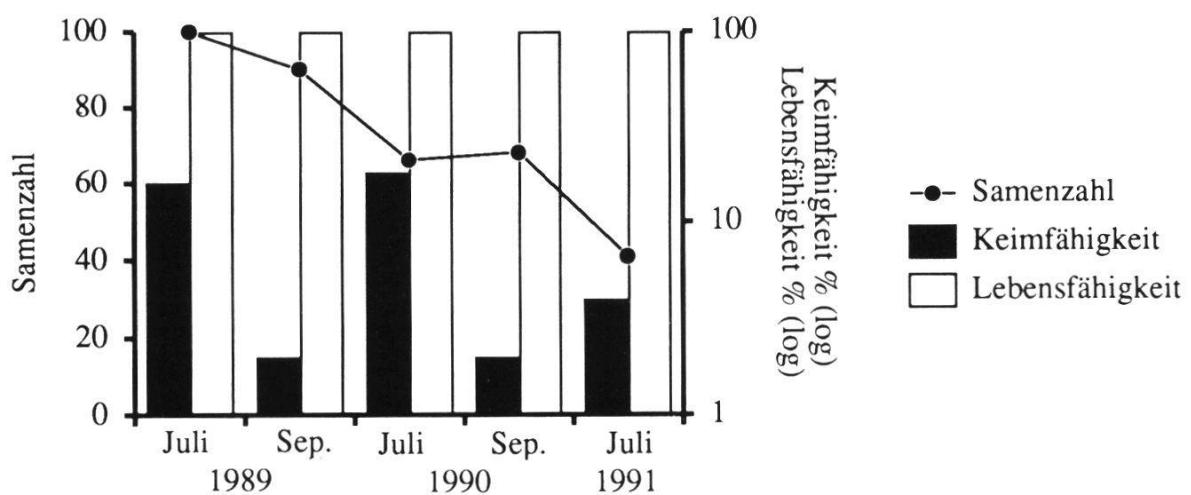


Fig. 36. *Oxytropis jacquinii*: Verhalten der im Boden der Skipiste vergrabenen Samen.
Oxytropis jacquinii: Behaviour of seeds buried in the soil of a ski run.

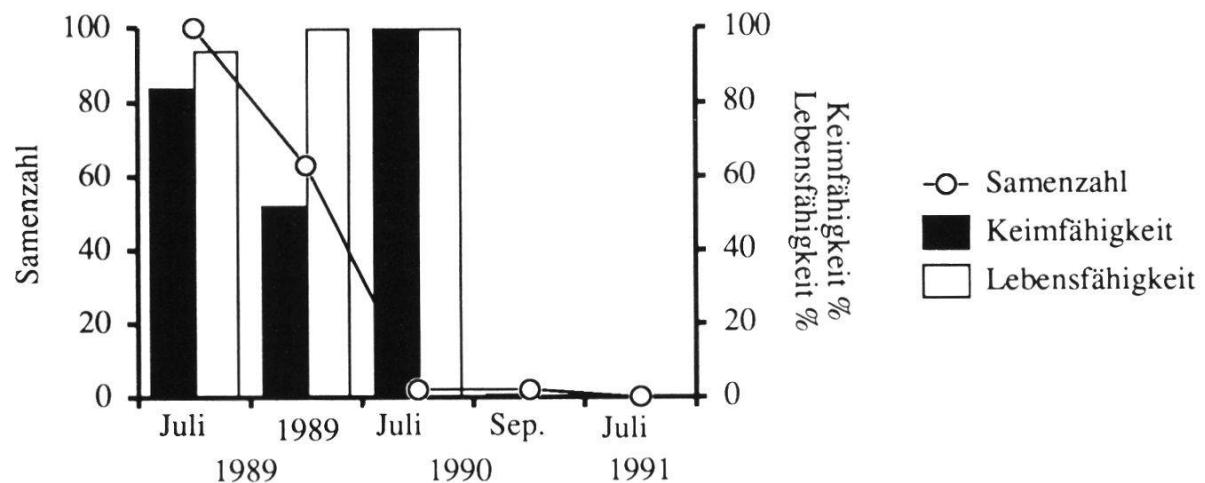


Fig. 37. *Trifolium badium*: Verhalten der im Boden der Skipiste vergrabenen Samen.
Trifolium badium: Behaviour of seeds buried in the soil of a ski run.



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 dieser 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
<i>Anthyllis alpestris</i>	Ca	100	426	532
<i>Astragalus alpinus</i>	Ca	100	194	755
<i>Astragalus alpinus</i>	Si	113	177	690
<i>Astragalus frigidus</i>	Ca	100	104	107
<i>Astragalus frigidus</i>	Si	100	113	115
<i>Hedysarum obscurum</i>	Ca	100	172	212
<i>Hippocrepis comosa</i>	Ca	100	224	378
<i>Lotus alpinus</i>	Ca	269	544	842
<i>Lotus alpinus</i>	Si	302	598	935
<i>Oxytropis campestris</i>	Ca	100	100	101
<i>Oxytropis campestris</i>	Si	100	101	102
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Ca	100	100	100
<i>Oxytropis jacquinii</i>	Si	100	100	105
<i>Trifolium alpinum</i>	Si	100	100	100
<i>Trifolium badium</i>	Ca	100	152	343
<i>Trifolium badium</i>	Si	100	109	211
<i>Trifolium nivale</i>	Ca	100	104	185
<i>Trifolium nivale</i>	Si	100	102	161
<i>Trifolium pallescens</i>	Si	100	195	452
<i>Trifolium repens</i>	Si	179	357	472
<i>Trifolium thalii</i>	Ca	100	159	251
<i>Trifolium thalii</i>	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 alle 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 oberirdischen 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).

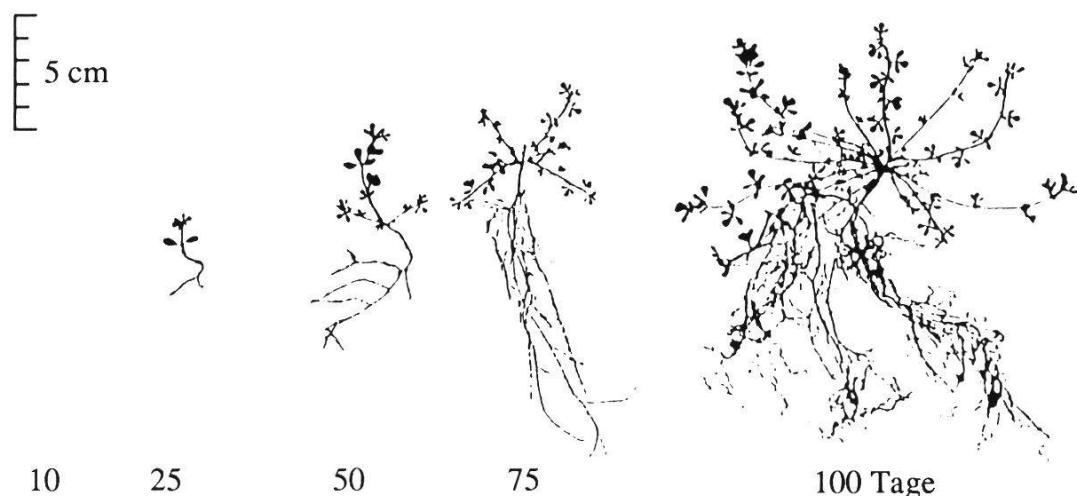


Fig. 39. *Lotus alpinus*: Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen.
Lotus alpinus: Development of young plants under controlled conditions.

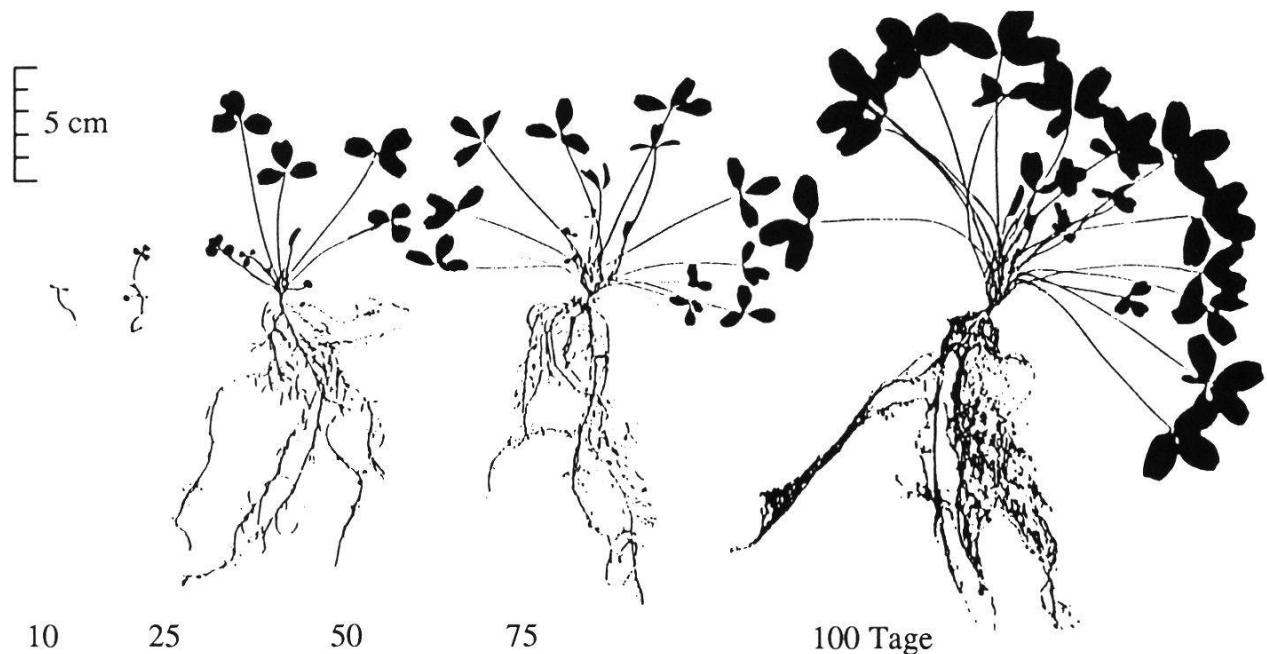


Fig. 40. *Trifolium badium*: Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen.
Trifolium badium: Development of young plants under controlled conditions.

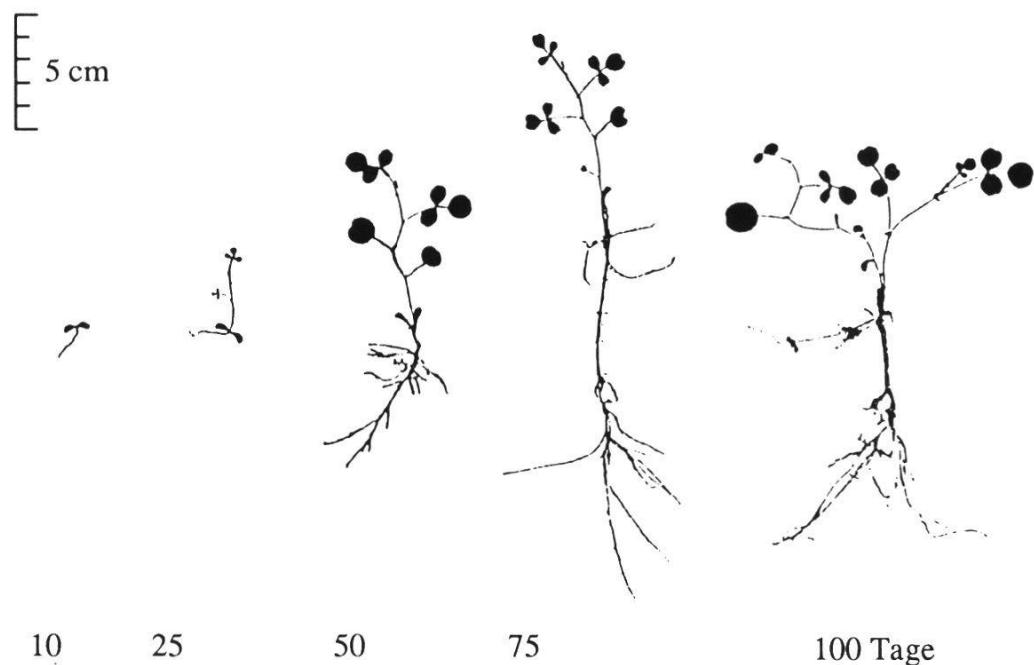


Fig. 41. *Astragalus frigidus*: Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen.
Astragalus frigidus: Development of young plants under controlled conditions.

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, gedüngter Gartenerde (Fig. 42).

Obwohl die Graphik (Fig. 42) den Schluss nahelegt, dass eine Düngung bzw.

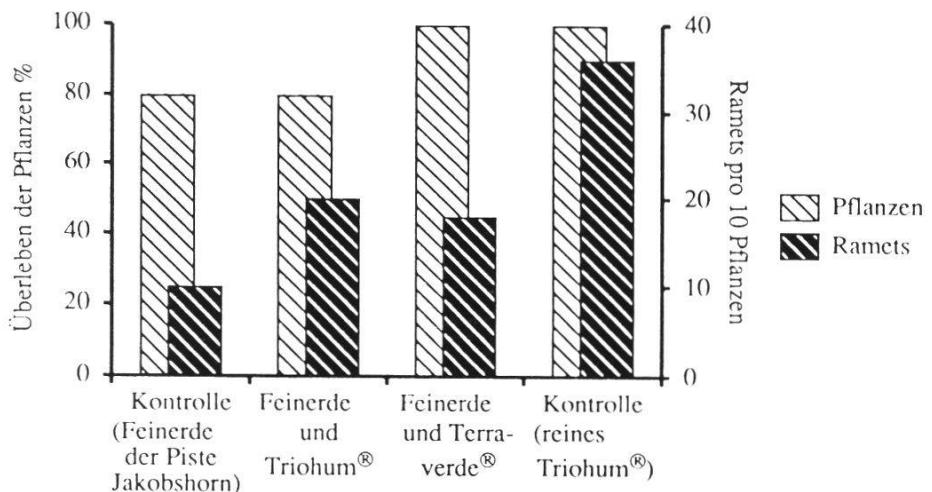


Fig. 42. *Trifolium thalii*: Überleben und Rametzuwachs bei Zugabe von unterschiedlichen Substraten nach 100 Tagen.

Trifolium thalii: Survival and growth of new ramets in 100 days with different soils added.

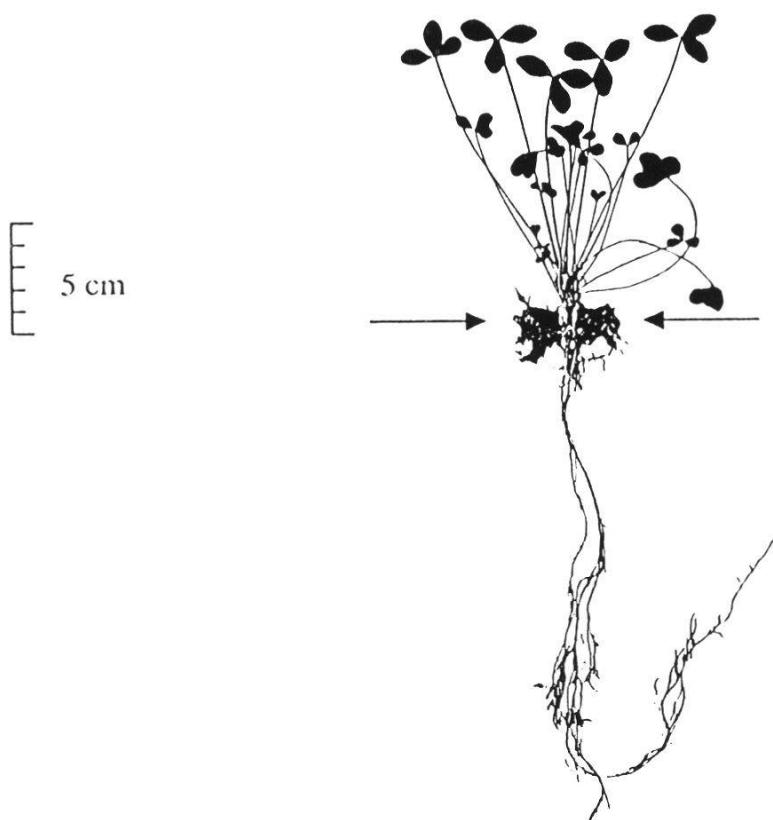


Fig. 43. *Trifolium badium*: Jungpflanze nach 100 Tagen in Versuchen mit oberflächlicher Zugabe von Gartenerde (Triohum®). Starke Wurzelbildung im obersten Teil.

Trifolium badium: Young plant after 100 days in trials with addition of garden soil (Triohum®) on the surface. Many roots in the upper part.

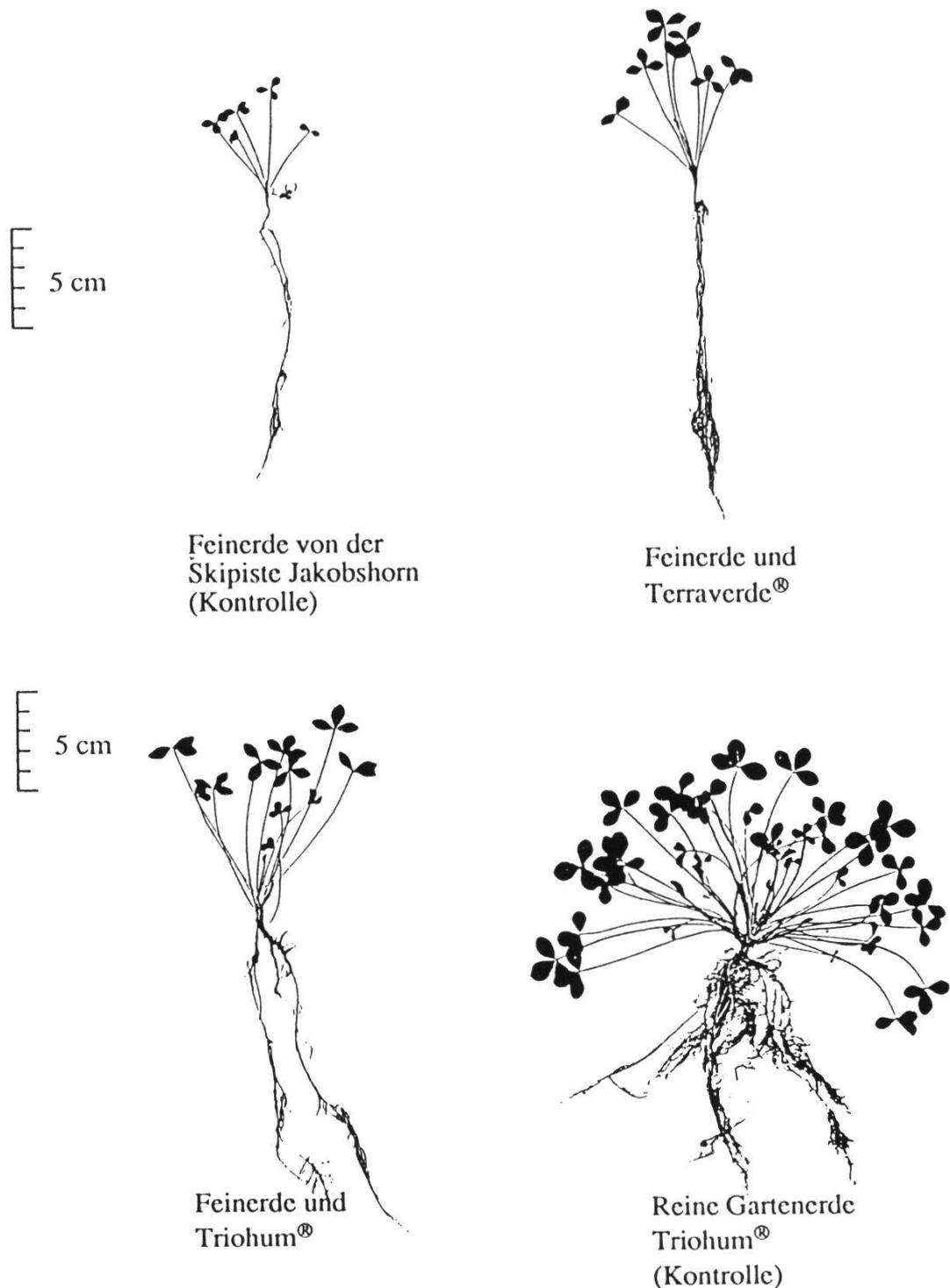


Fig. 44. *Trifolium thalii*: Jungpflanzen nach 100 Tagen in Versuchen mit oberflächlicher Zugabe von Substrat (Triohum®, Terraverde®) auf gesiebte Skipistenerde des Jakobshorns und in Gartenerde (Triohum®).

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 feinerdreich. 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 Bodenoberfläche 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

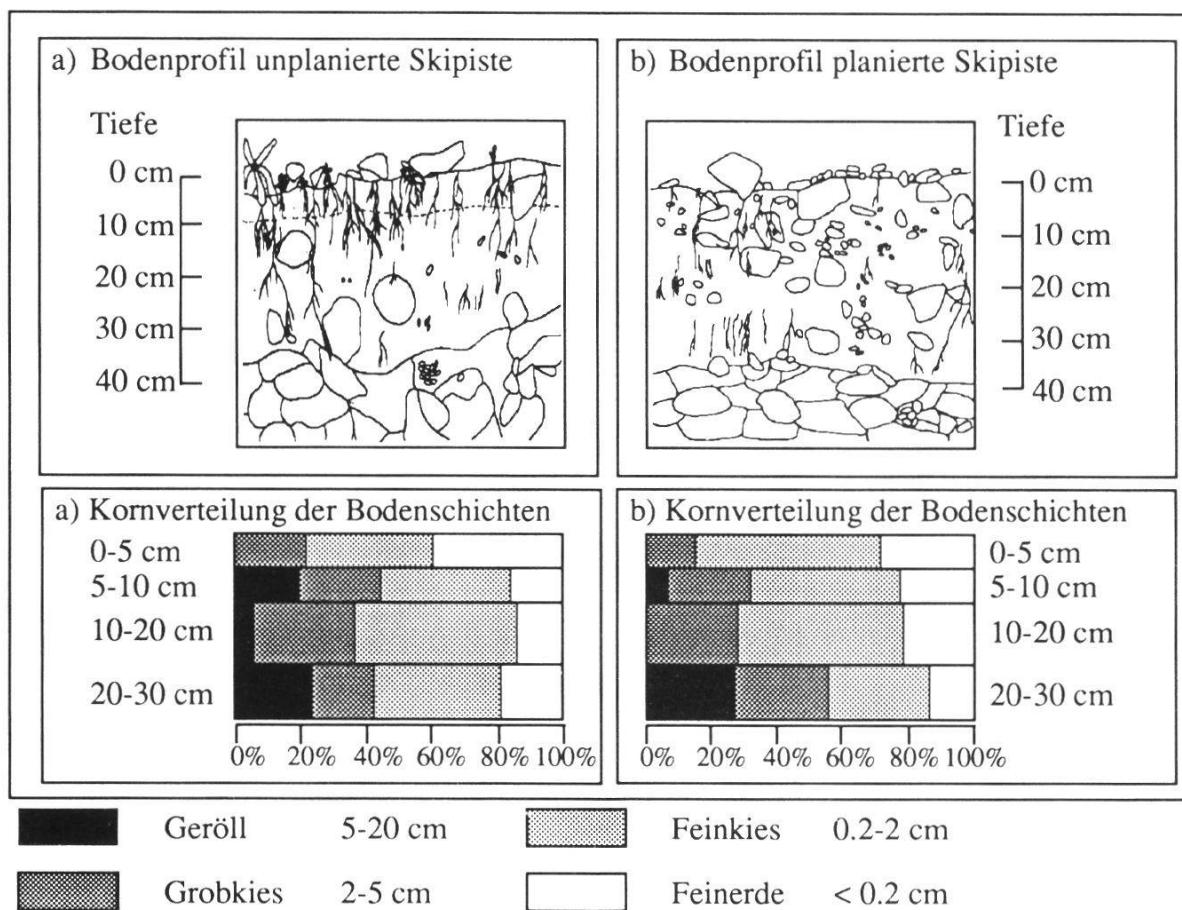


Fig. 45. Der Bodenaufbau einer unplanierten (a) und einer planierten (b) Skipistenfläche auf Dolomit der Strela.

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

Tab. 16. Bodenanalysen auf der planierten Skipistenfläche auf der Strela.

Soil analysis on the graded ski run at Strela.

Tiefe	Skelett % >2 mm	Feinerde				PO ₄ [mg/100 g]	%	H	% org.	%
		% Sand 2-0.002 mm	% Schluff 10-20 μm	% Schluff 2-10 μm	% Ton < 2 μm					
1 cm	73	13.5	4.3	3.6	5.6	7.9	7.4	1.68	0.5	0.6
5 cm	76	5.6	4.4	7	7	7.6	7.2	3.08	1.2	3.0
20 cm	78.5	4.3	4.1	5.6	7.4	7.7	7.3	2.56	1.1	2.5
40 cm	86	7.3	1.9	1.8	3	7.8	7.4	1.48	0.5	1.8

(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).

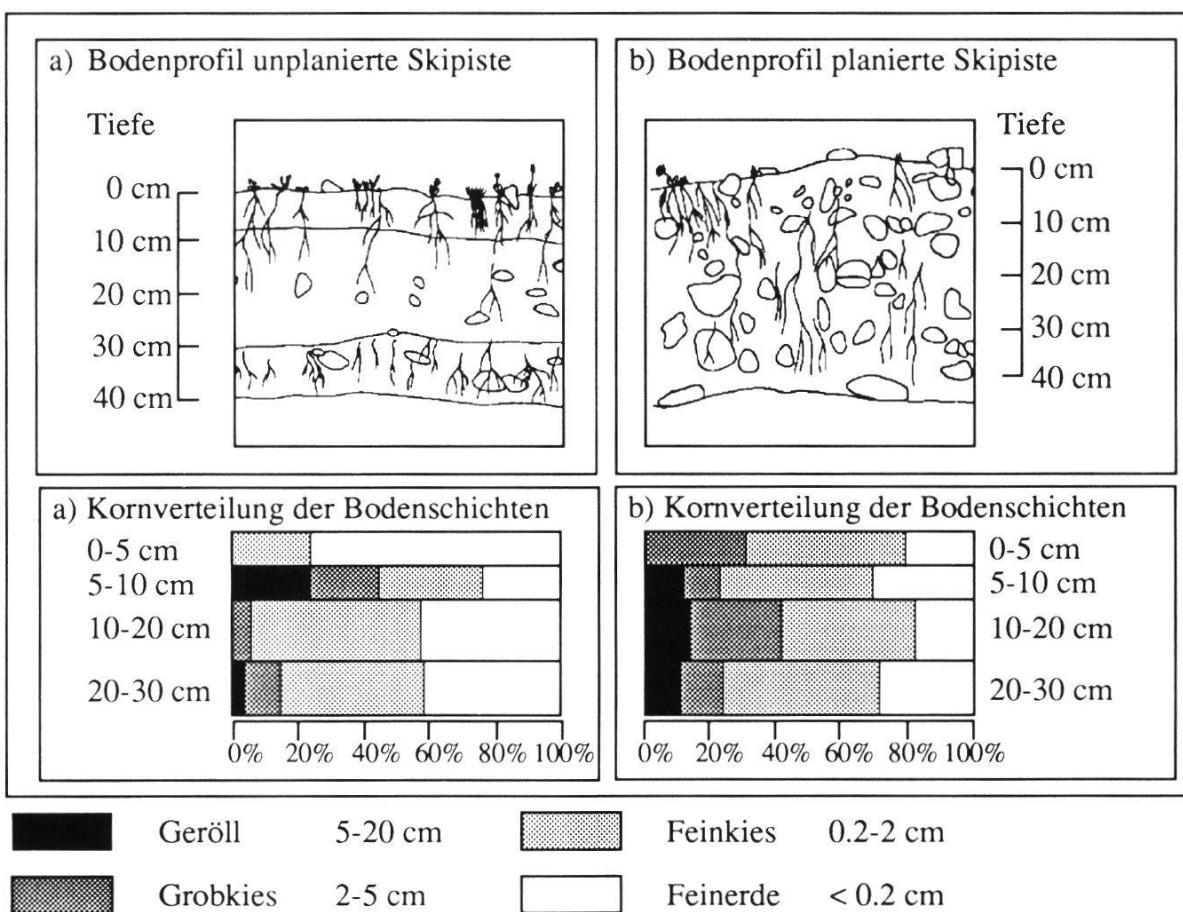


Fig. 46. Der Bodenaufbau einer unplanierten (a) und einer planierten (b) Skipistenfläche auf Silikat des Jakobshornes.
Soil profiles of a non-graded plot (a) and of a graded plot (b) on silicate at Jakobshorn.

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				pH (H ₂ O)	pH(CaCl ₂)	PO ₄ [mg/100g]	% H	% org.	% CaCO ₃	% N
		% Sand 2-0.002 mm	% Schluff 10-20 μm	2-10 μm	% Ton < 2 μm							
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				pH (H ₂ O)	pH(CaCl ₂)	PO ₄ [mg/100g]	% H	% org. C	% CaCO ₃	% N
		% Sand 2-0.002 mm	% Schluff 10-20 μm	2-10 μm	% Ton < 2 μm							
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).

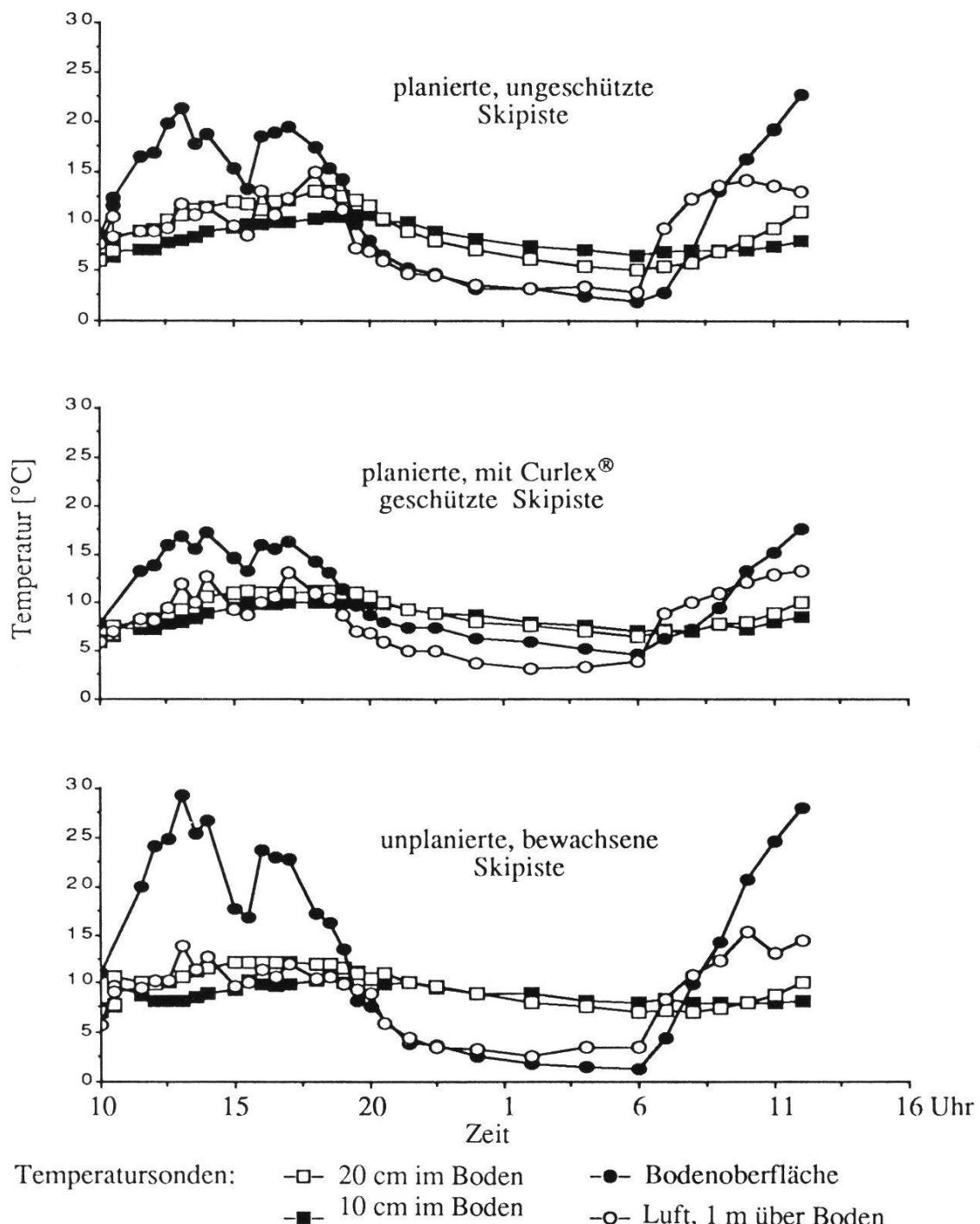


Fig. 47. Temperaturverlauf auf der Strela; geplante Skipiste, mit Curlex® geschützte Versuchsfelder und Vegetation daneben.

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).

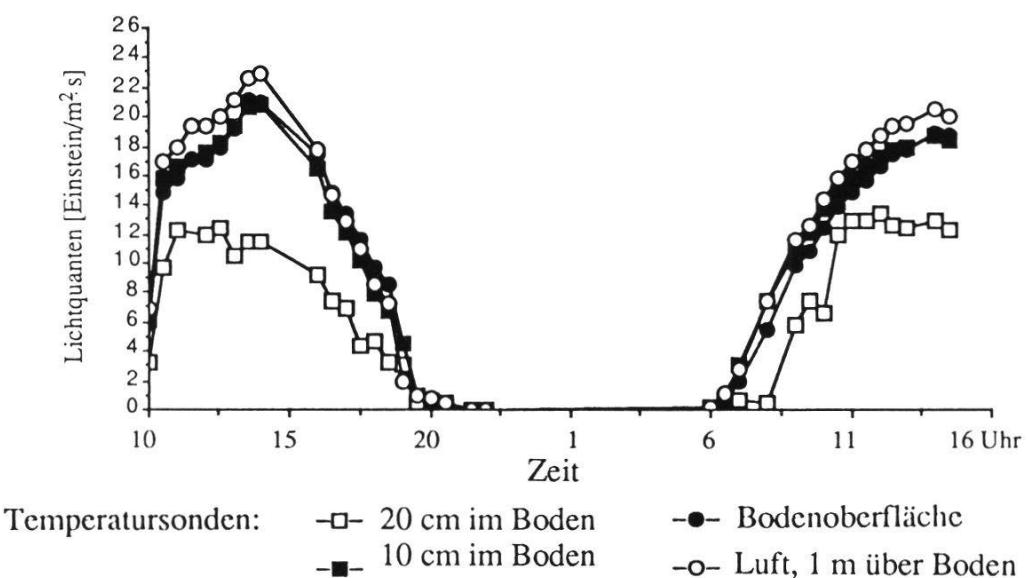


Fig. 48. Momentanwerte der Quantenfühler auf verschiedenen Flächen im Tagesverlauf.
Momentary values of the quantum sensors in different plots within one day.

4.3.1.5. Bodenfeuchtigkeit

Der Wassergehalt des Oberbodens, mit der Time Domain Reflectometry (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).

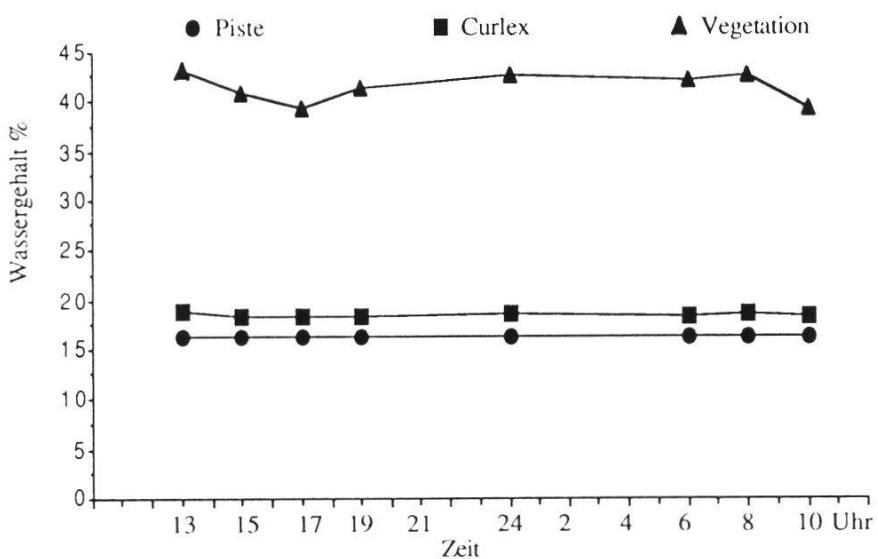
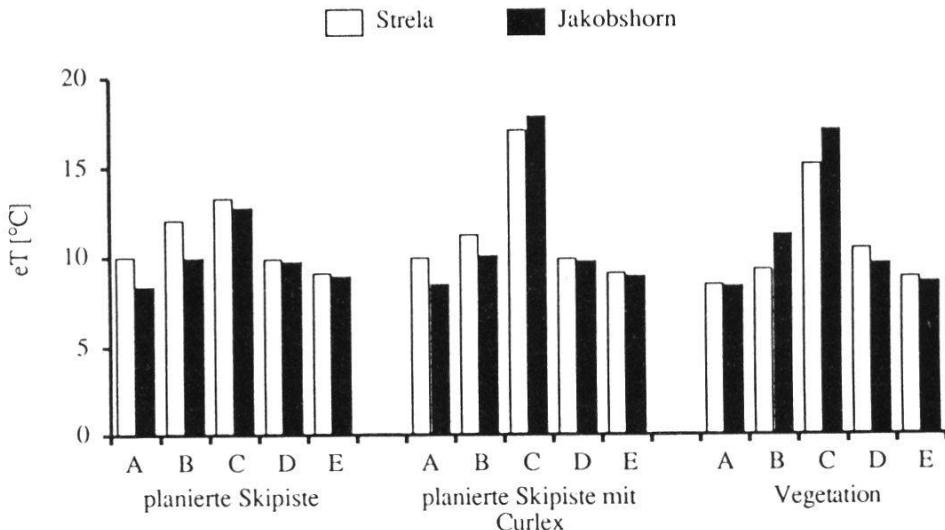


Fig. 49. Verlauf des Bodenwassergehaltes während eines Tages.
Fluctuations in soil water content within one day.

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

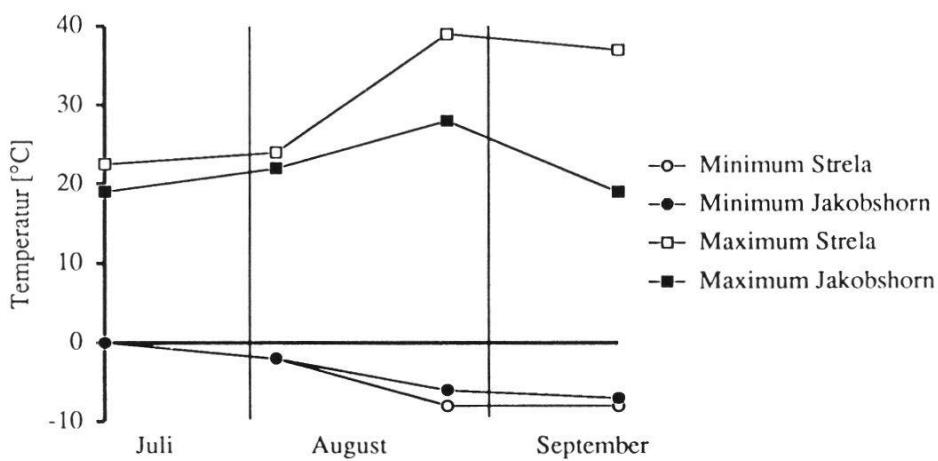


Fig. 51. Maximum- und Minimum-Temperaturen auf der Strela und dem Jakobshorn im Sommer 1989.
Maximum and minimum temperatures at Strela and Jakobshorn in summer 1989.

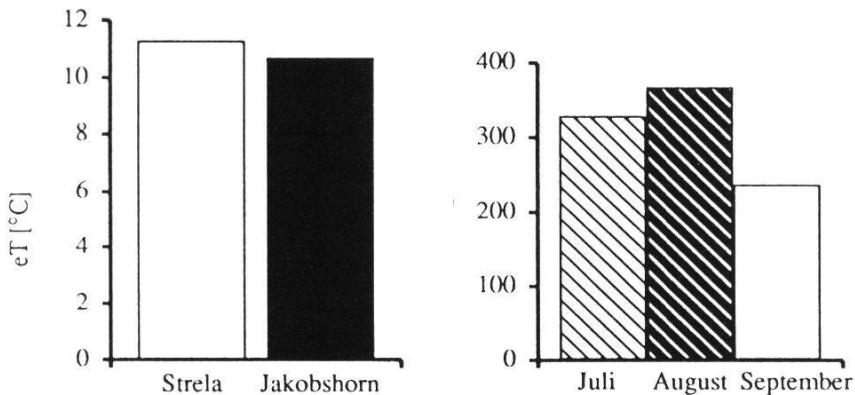


Fig. 52. Durchschnitt der exponentiellen Temperaturmittel (Wärmesummen) aus allen Zuckerampullen auf der Strela und dem Jakobshorn. (Links).

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 verschiedenen 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 seedlings in the years 1988-1990.

Germination (S) and survival (\bar{U}) of 100 seeds sown at the end of each year at Strela. Un-pretreated (un) and scarified (sk) seeds used in plots untreated (Ob), with Curlex® protected (Cu) or with soil and fertilizer added (S/D).

Tab. 19 (Fortsetzung - *continued*)

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

Tab. 19 (Fortsetzung - *continued*)

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

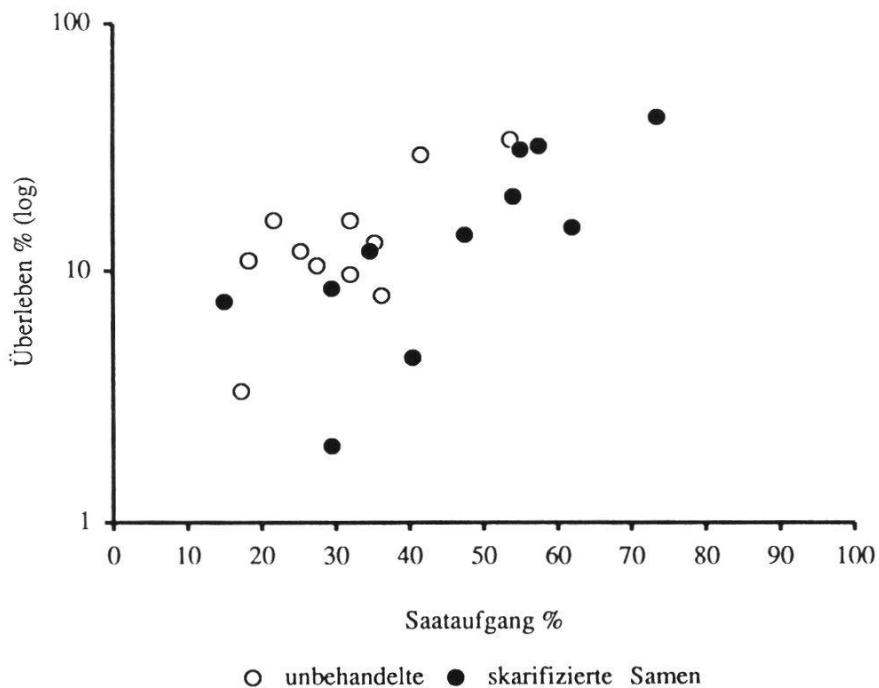


Fig. 53. Verhalten von elf Leguminosenarten von verschiedenen Karbonatpopulationen in Aussaaten auf der Strela. Saataufgang und Überleben am Ende von zwei Vegetationsperioden. Mittelwerte aus 2-5 Aussaaten.

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

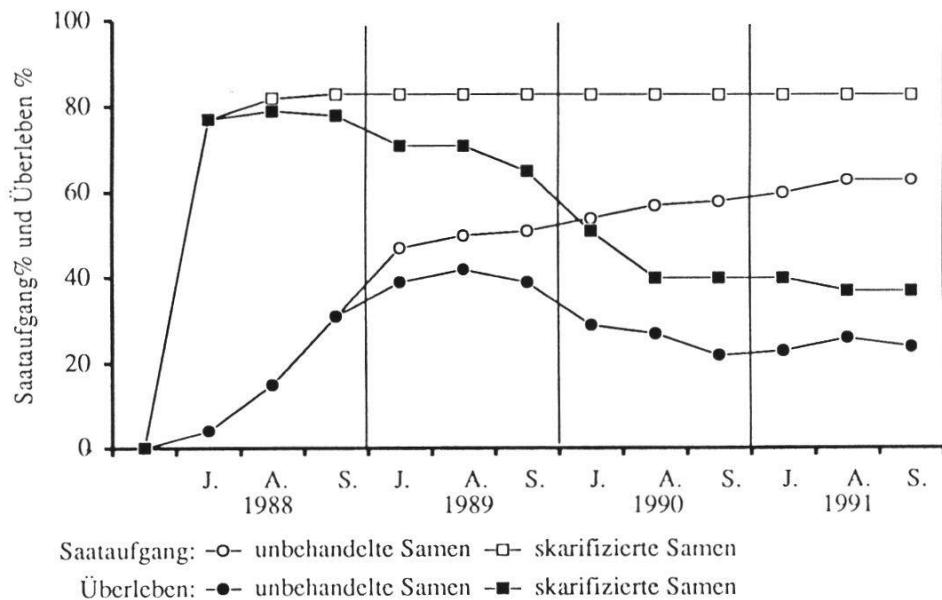


Fig. 54. *Anthyllis alpestris*: Saataufgang und Überleben der Frühsommeraussaat 1988 während drei Jahren.

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 ungerimpelten Samen: Während sich das Niveau bei den ungerimpelten 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 ungerimpeltem 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 Ansäaten war dann auch recht gut, wobei die Pflanzen ziemlich klein blieben und in den vier Jahren keine Blüten beobachtet werden

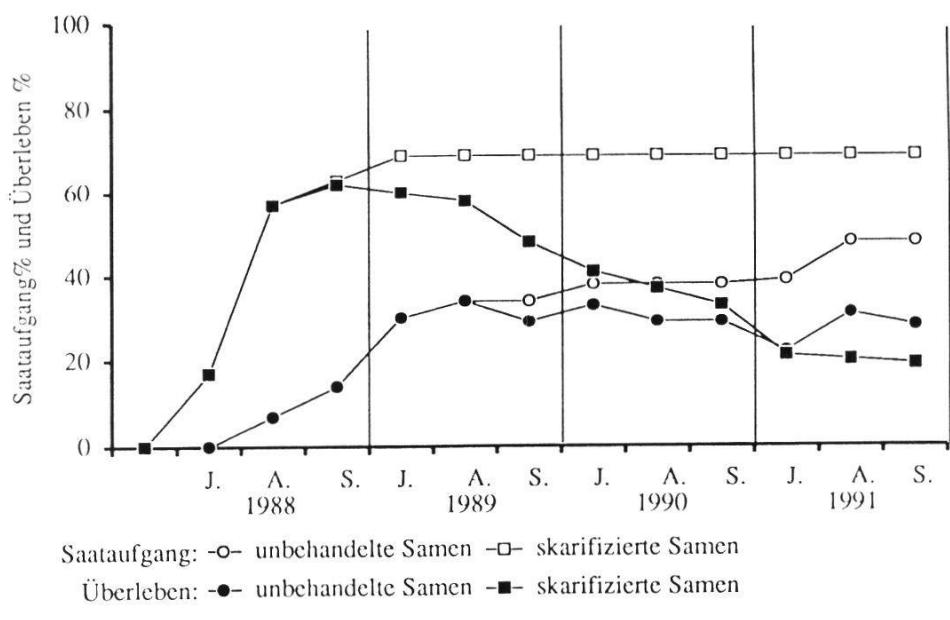


Fig. 55. *Hippocrepis comosa*: Saataufgang und Überleben der Frühsommeraussaat 1988 während drei Jahren.

Hippocrepis comosa: Seedling emergence and survival of the sowing in early summer 1988 in three years.

A: August, J: Juli, S: September

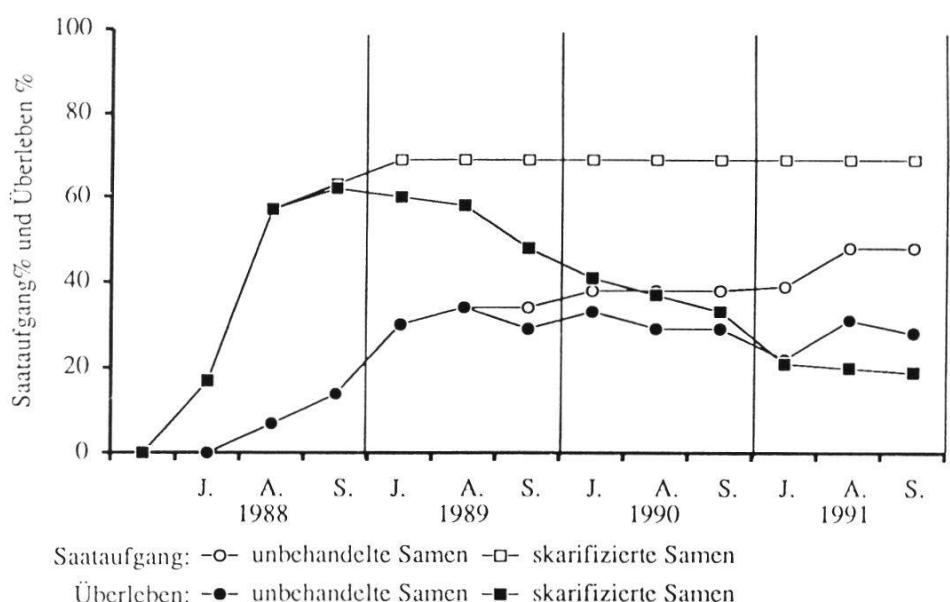


Fig. 56. *Oxytropis jacquinii*: Saataufgang und Überleben der Frühsommeraussaat 1988 während drei Jahren.

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 Aussaaten 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 übertrffen. 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 allgemeinen 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 (\bar{U}) 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).

Tab. 21 (Fortsetzung - *continued*)

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

Tab. 21 (Fortsetzung - *continued*)

Saatbeetbehandlung		AUSSAAT																	
		Sep. 1988			Juli 1989			Sep. 1989		Juli 1990									
ART	Fundort	1989	1990	1991	1989	1990	1991	1990	1991	1990	1991								
		S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.	S.	Ü.								
<i>Trifolium nivale</i>	un	Ob			13	8	25	2	25	0	14	7	21	6					
	sk	Ob			55	41	68	0	68	0			29	15	43	0			
	un	Cu			17	12	41	5	49	5									
	sk	Cu			67	56	91	1	91	0									
	un	S/D									16	16	19	4					
	sk	S/D											20	18	30	0			
<i>Trifolium pallescens</i>	un	Ob	12	10	16	3	19	1	8	6	15	1	15	0	16	6	17	0	
	sk	Ob			37	23	42	0	42	0					26	15	39	0	
	un	Cu			14	12	20	0	21	1									
	sk	Cu			61	53	82	12	82	0									
	un	S/D												20	19	22	11		
	sk	S/D														13	13	20	2
<i>Trifolium repens</i>	un	Ob			1	0	2	0	2	0	5	2	7	1	15	9	23	0	
	sk	Ob			46	27	58	0	58	0									
	un	Cu			4	1	6	0	8	1									
	sk	Cu			49	41	65	1	66	0									
	un	S/D												4	3	5	1		
	sk	S/D														23	23	39	3
<i>Trifolium thalii</i>	un	Ob	5	3	7	1	8	0	11	8	16	0	16	0					
	sk	Ob			64	46	79	0	79	0					8	4	10	2	
	un	S/D																	
	sk	S/D														25	25	38	2
<i>Trifolium thalii</i>	un	Ob			4	2	11	0	12	1	2	1	5	3	33	21	50	0	
	sk	Ob			65	47	82	0	82	0									
	un	Cu			6	4	11	0	12	1									
	sk	Cu													7	6	16	7	
	un	S/D																	
	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
<i>Astragalus alpinus</i>	11.5±3.5	35.0±32.5	0.5±0.7	0±0
<i>Astragalus frigidus</i>	25.5±27.9	60.0±31.1	1.8±2.2	0±0
<i>Hedysarum obscurum</i>	35.0±4.6	75.0±28.3	0.3±0.6	11.0±15.6
<i>Hippocrepis comosa</i>	16.0±9.9	58.5±21.9	0.5±0.7	0±0
<i>Lotus alpinus</i>	18.7±6.4	56.5±26.2	1.7±1.5	0±0
<i>Oxytropis campestris</i>	19.0±9.9	64.0±8.5	1.0±1.4	0±0
<i>Oxytropis jacquinii</i>	26.7±10.7	45.0±29.3	0±0	1.3±1.5
<i>Trifolium alpinum</i>	17.5±3.5	73.0±22.6	1.5±2.1	8.5±10.6
<i>Trifolium badium</i>	31.0±24.0	73.0±21.2	2.0±2.8	0±0
<i>Trifolium nivale</i>	23.0±2.8	55.5±17.7	3.0±4.2	0±0
<i>Trifolium pallescens</i>	16.7±1.5	40.5±2.1	1.3±2.3	0±0
<i>Trifolium repens</i>	4.5±3.5	42.0±24.7	0±0	0±0
<i>Trifolium thalii</i>	8.5±3.5	66.0±22.6	1.5±2.1	0±0

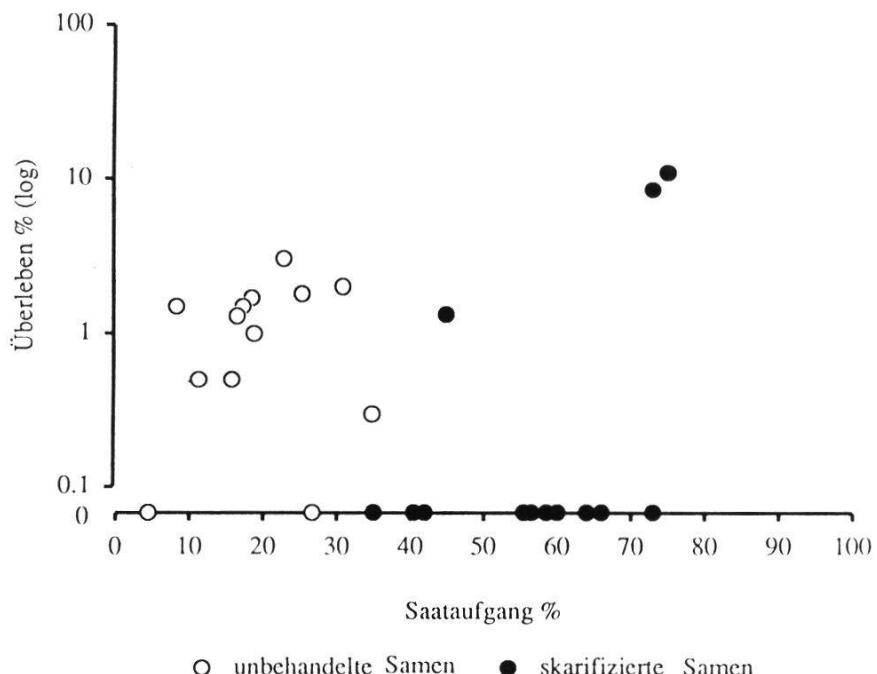


Fig. 57. Verhalten von dreizehn Leguminosenarten von verschiedenen Silikatpopulationen in Aussaaten auf dem Jakobshorn. Saataufgang und Überleben am Ende von zwei Vegetationsperioden. Mittelwerte aus 2-5 Aussaaten.

Behaviour of 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.

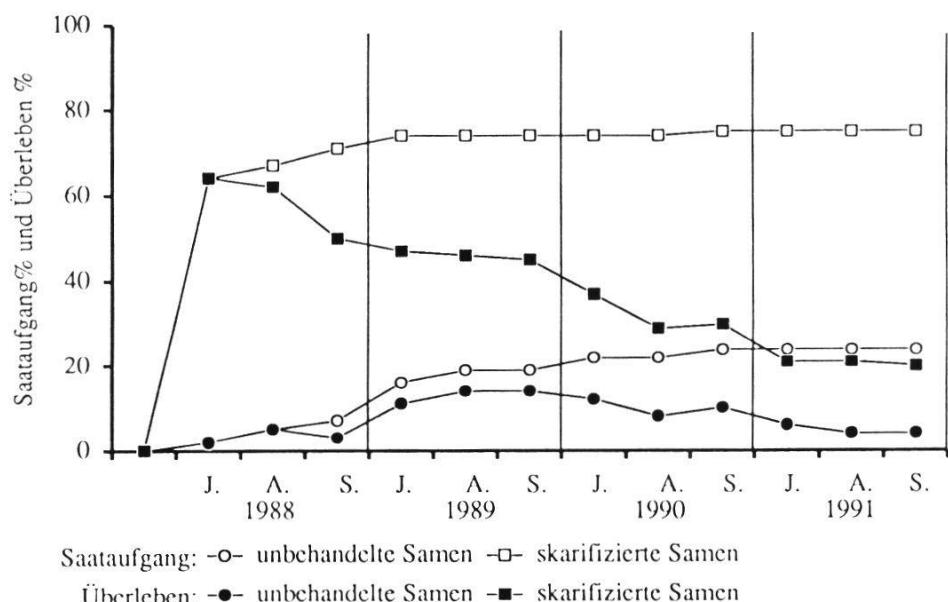


Fig. 58. *Trifolium alpinum*: Saataufgang und Überleben in der Frühsommeraussaat 1988 während vier Jahren.

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).

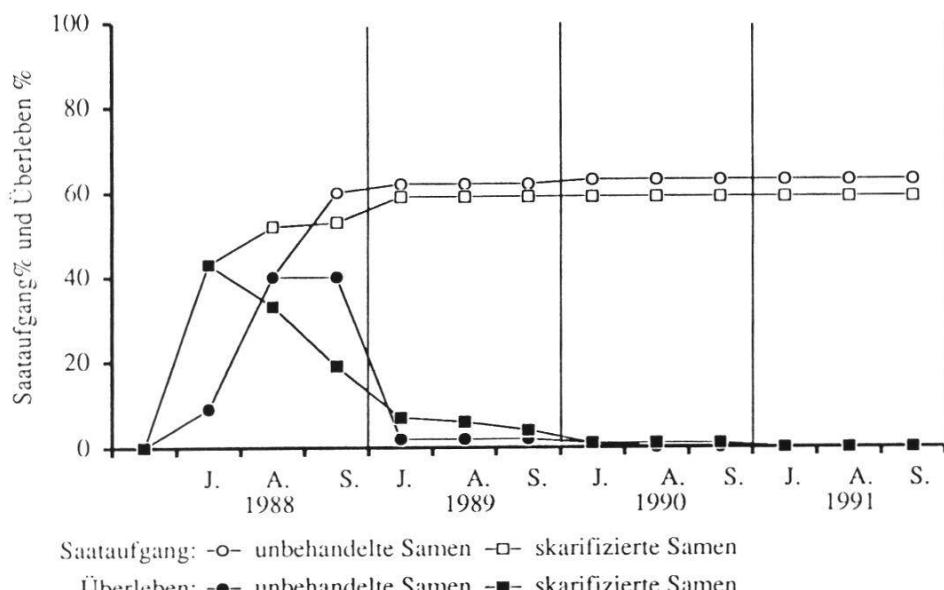


Fig. 59. *Trifolium nivale*: Saataufgang und Überleben in der Frühsommeraussaat 1988 während vier Jahren.

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).

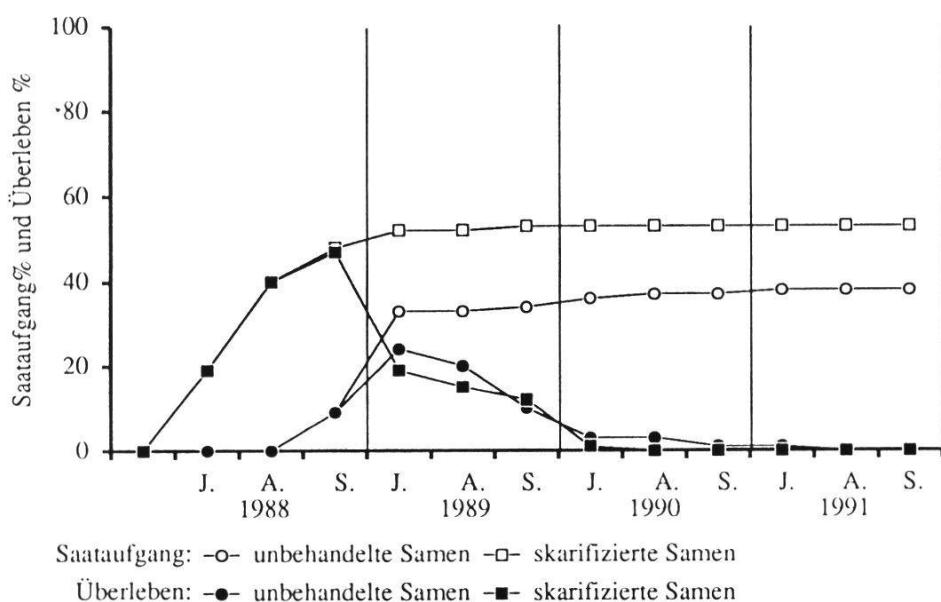


Fig. 60. *Astragalus alpinus*: Saataufgang und Überleben in der Frühsommeraussaat 1988 während vier Jahren.

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-

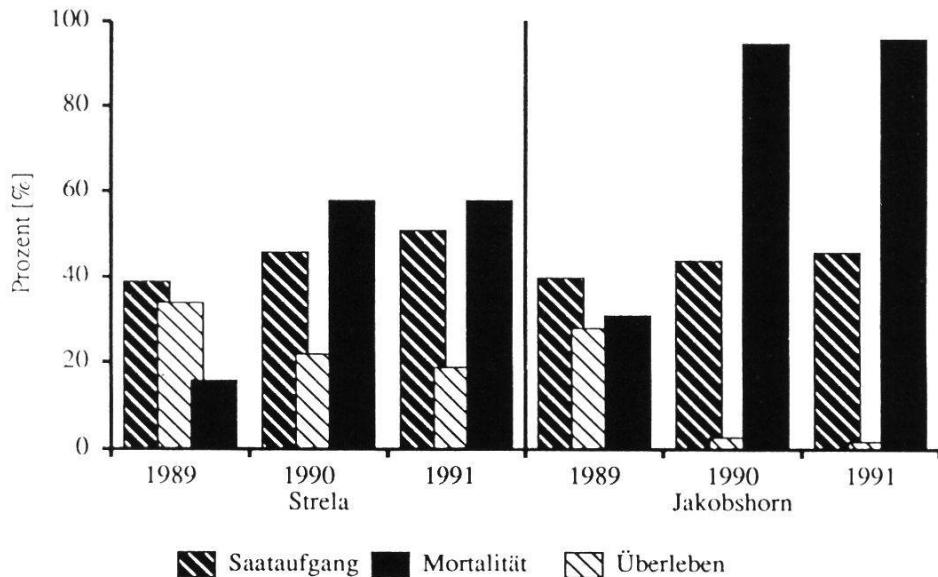


Fig. 61. Saataufgang, Überleben und Mortalität der Frühsommeraussaat 1989 auf der Strela und dem Jakobshorn während drei Jahren. Mittelwerte aus Aussaaten mit unbehandelten und skarifizierten Samen am Ende der jeweiligen Vegetationsperiode.

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 .

Behaviour of 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

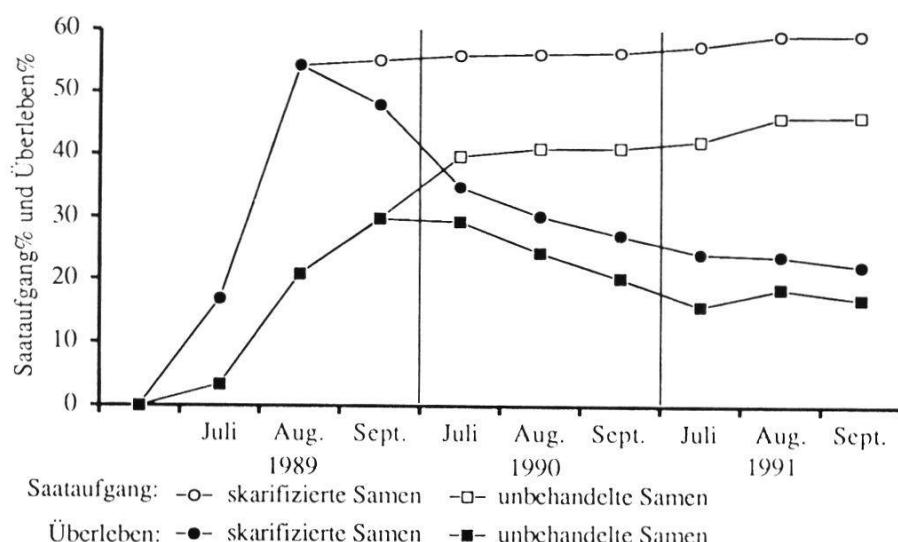


Fig. 62. Verhalten von zehn Leguminosenarten in Aussaaten auf der Strela mit unbehandelten und skarifizierten Samen in der Frühsommeraussaat 1989. Mittelwerte.

Behaviour of ten Leguminosae species in sowings in early summer at Strela with unpre-treated 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			1990			1991		
	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	Sept.	Juli	Aug.	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-

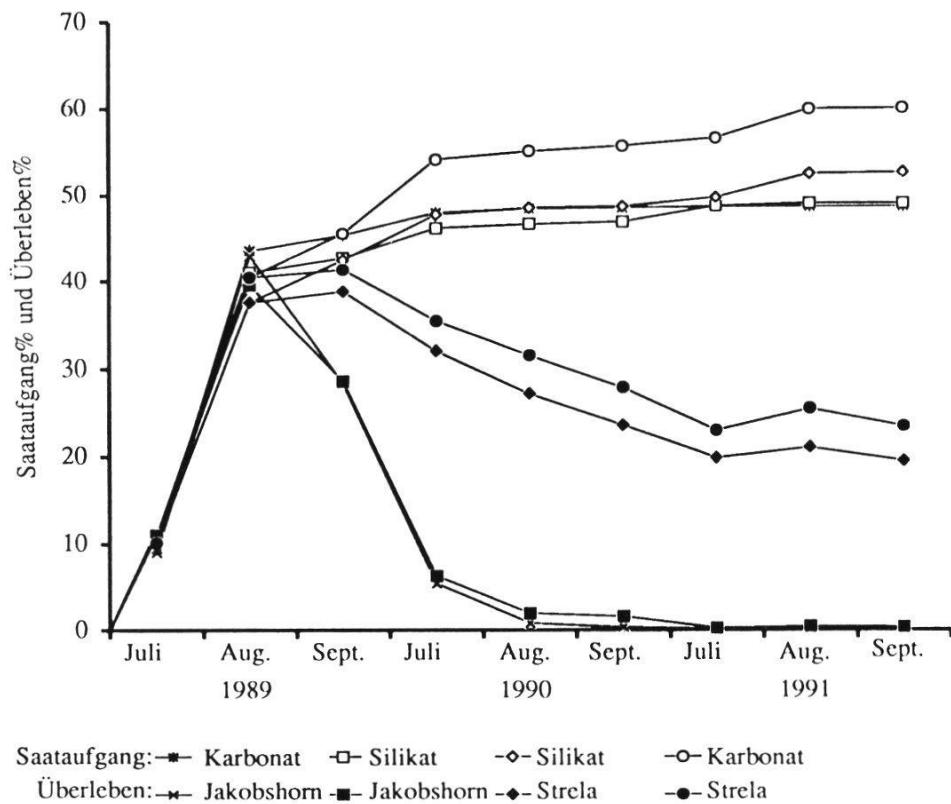


Fig. 63. Verhalten von Samen aus Silikat- und Karbonatpopulationen in Aussaaten auf Silikat und Dolomit. Mittelwerte aus zehn Arten.

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

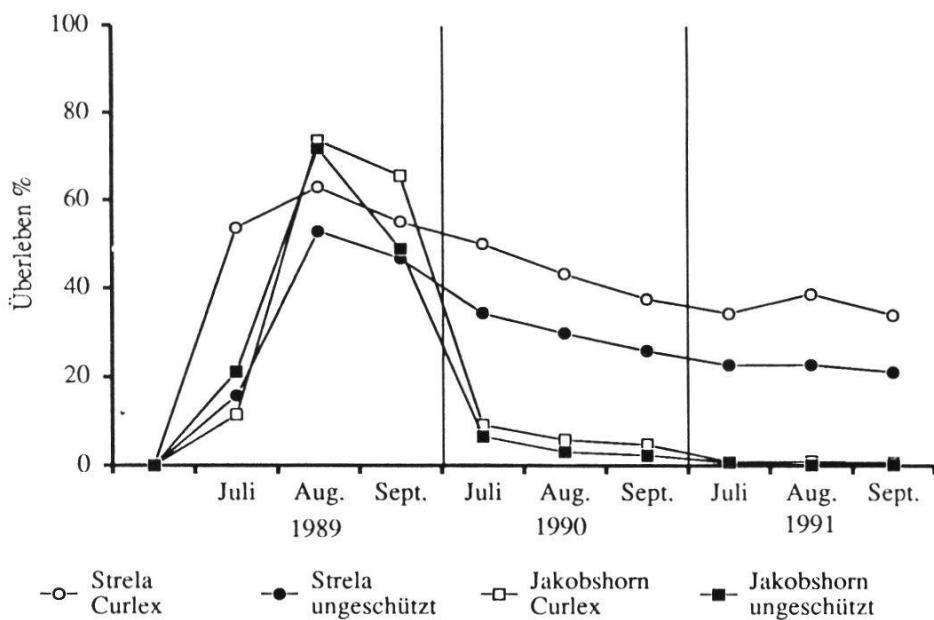


Fig. 64. Entwicklung der Aussaaten auf ungeschützten und mit Curlex® abgedeckten Versuchsflächen auf der Strela und Jakobshorn. Mittelwerte von zehn Arten.

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.

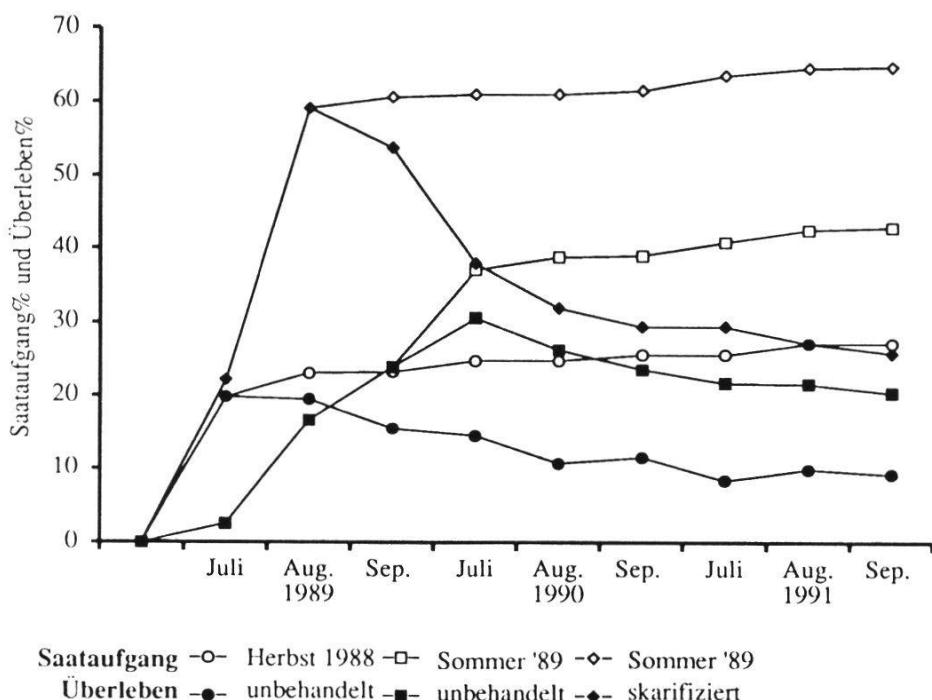


Fig. 65. Verhalten der Herbstaussaat mit unbehandelten Samen und Frühsommeraussaaten mit unbehandelten und skarifizierten Samen während drei Jahren. Mittelwerte von sechs Versuchsserien.

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				Juli	
				Okt. sk. Ca	sk. Si	Sep. un. Ca	un. Si	sk. Ca	sk. Si
<i>Anthyllis alpestris</i>	1988	Fanez unten	Ca	1	0	6	9	47	50
	1989	Zürich Garten	-	1	0	-	-	33	35
<i>Astragalus alpinus</i>	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
<i>Hedysarum obscurum</i>	1988	Fanez	Si	8	3	40	36	47	50
<i>Lotus alpinus</i>	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
<i>Oxytropis campestris</i>	1988	Sertig	Ca	5	42	33	21	19	35
	1988	Chörbsch Horn	Si	0	1	32	36	18	13
<i>Oxytropis jacquinii</i>	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
<i>Trifolium alpinum</i>	1988	Jakobshorn	Si	0	1	36	36	15	16
<i>Trifolium badium</i>	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
<i>Trifolium nivale</i>	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
<i>Trifolium pallescens</i>	1988	Dürrboden	Si	0	1	56	30	14	19
	1989	Zürich Garten	-	0	0	-	-	14	13
<i>Trifolium repens</i>	1988	Clavadeler Alp	Si	0	2	40	31	14	5
	1989	Zürich Garten	-	0	0	-	-	58	30
	1989	Clavadel	-	3	2	-	-	63	25
<i>Trifolium thalii</i>	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).

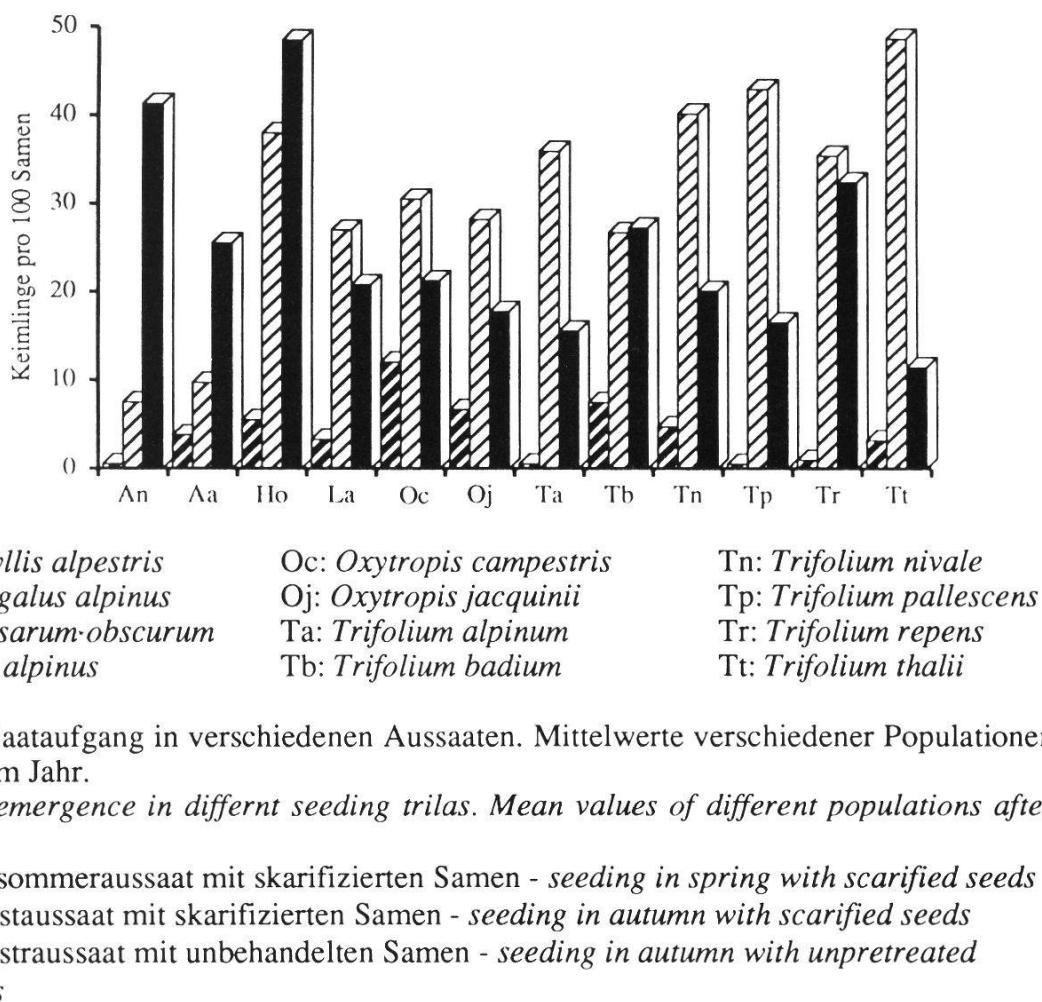


Fig. 66. Saataufgang in verschiedenen Aussaaten. Mittelwerte verschiedener Populationen nach einem Jahr.

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

Herbstaussaat 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/m² 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

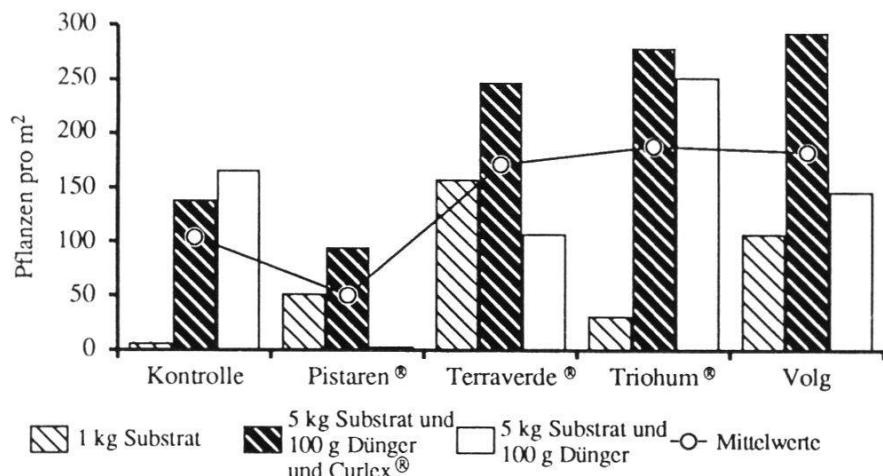
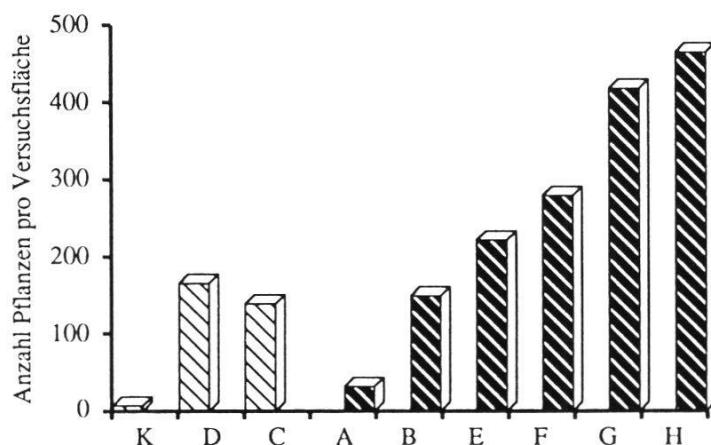


Fig. 67. Entwicklung der Ansaaten bei Verwendung von vier verschiedenen Substraten in unterschiedlichen Konzentrationen und in Kombinationen mit Curlex® und Dünger. Anzahl Pflanzen pro m² nach zwei Jahren. In der Kontrolle wurde kein Substrat verwendet.
Development of seeding trials in plots four different substrates in different concentrations used and in combination with Curlex® and fertilizer. Number of plants per m² 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®/m², Dünger: 100 g Certoplant Royal®/m².
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/m² Triohum®, fertilizer: 100 g Certoplant Royal®/m².

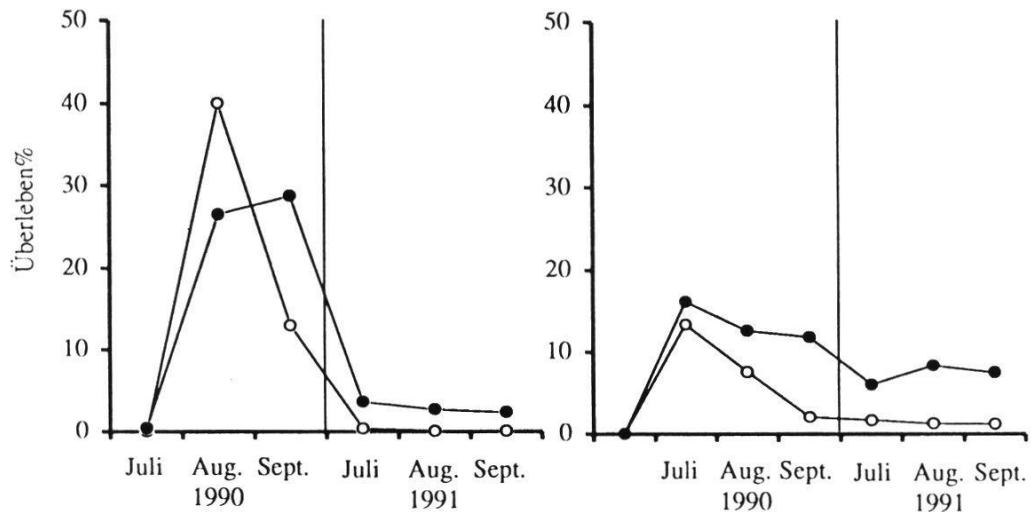


Fig. 69. Überleben von Aussaaten auf unbehandelten und mit Dünger und Substrat behandelten Flächen auf dem Jakobshorn: Links skarifizierte, rechts unbehandelte Samen.

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 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 er gab 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).

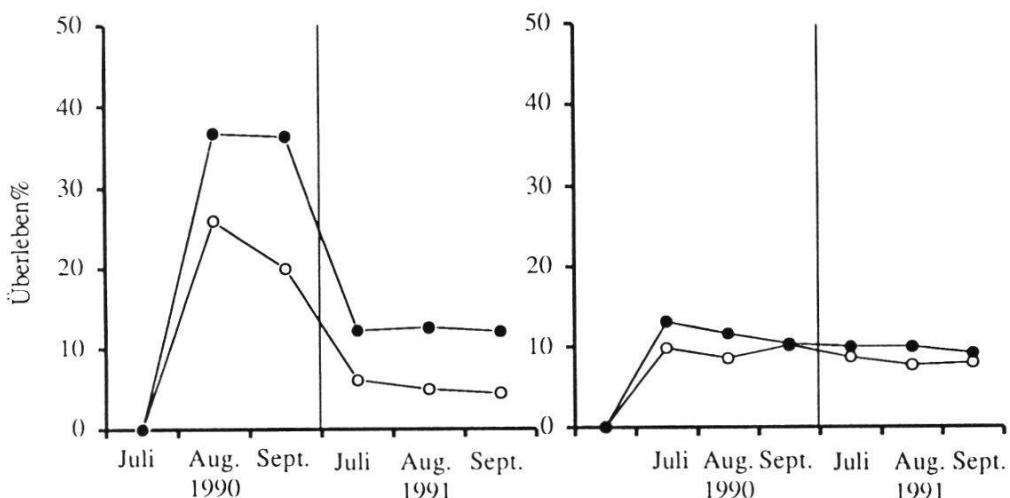


Fig. 70. Überleben von Aussaaten auf unbehandelten und mit Dünger und Substrat behandelten Flächen auf der Strela: Links skarifizierte, rechts unbehandelte Samen.

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*

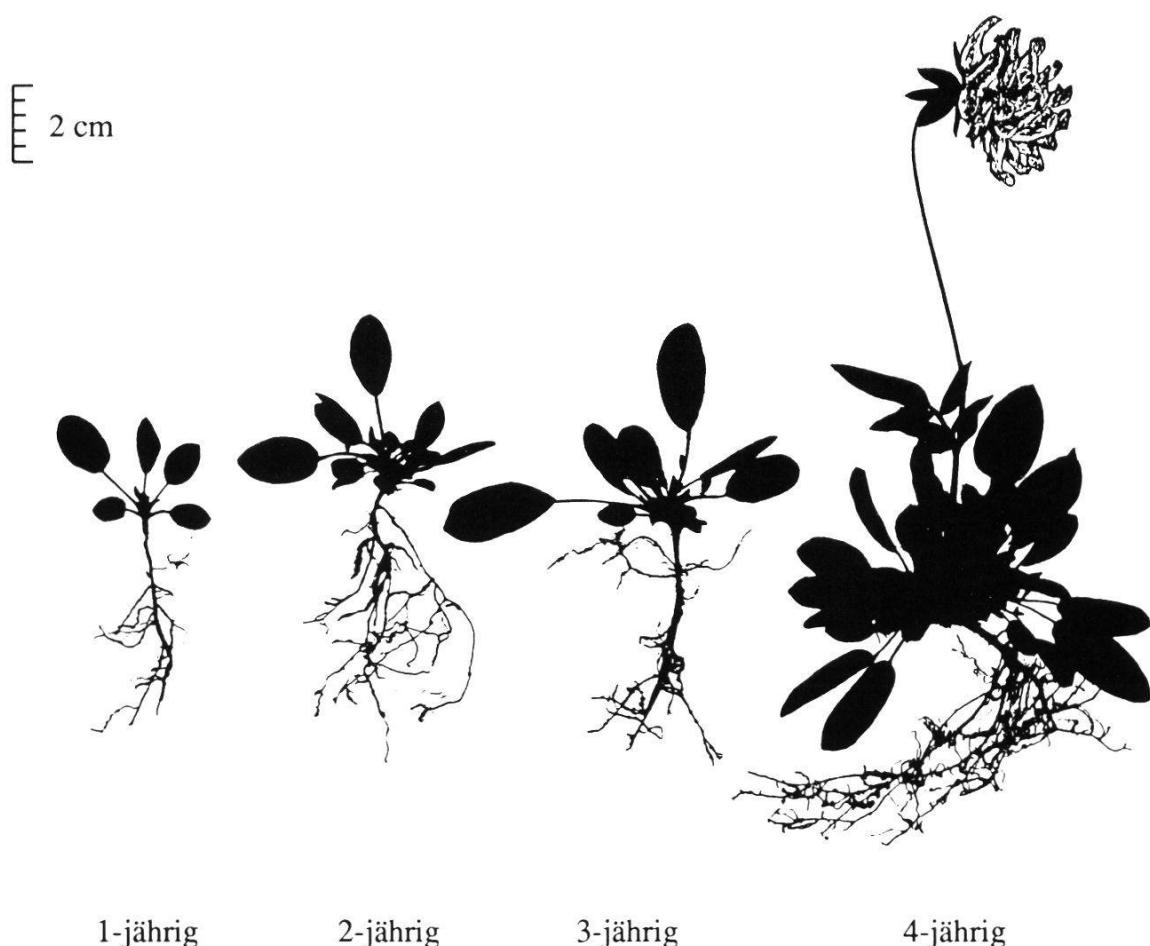


Fig. 72. *Anthyllis alpestris*: Jungpflanzenentwicklung im Verlauf von vier Jahren.
Anthyllis alpestris: Development of young plants in four years.

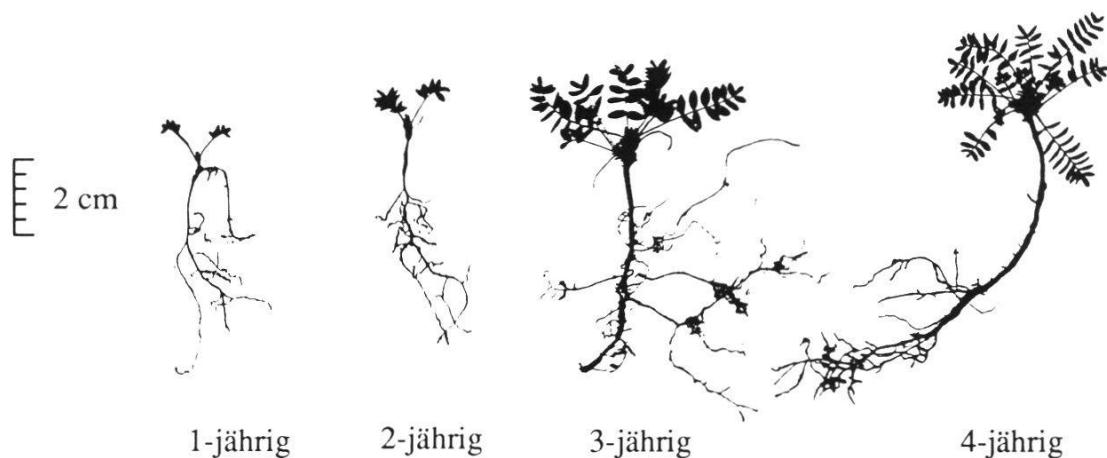


Fig. 73. *Oxytropis jacquinii*: Jungpflanzenentwicklung im Verlaufe von vier Jahren.
Oxytropis jacquinii: Development of young plants in four years.



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.

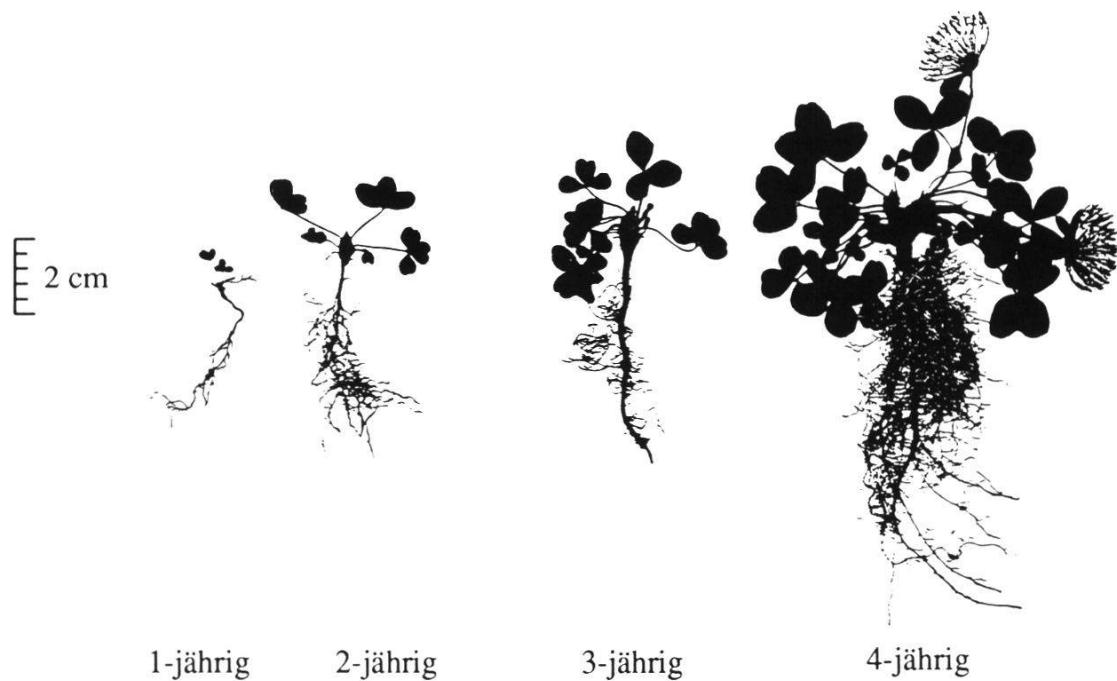


Fig. 76. *Trifolium nivale*: Jungpflanzenentwicklung im Verlaufe von vier Jahren.
Trifolium nivale: Development of young plants in four years.

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
<i>Lotus alpinus</i>	Sertig	Ca	100	46	15	78	44	32
	Dürrboden	Si	100	94	51	101	100	93
<i>Trifolium badium</i>	Bodmen	Ca	100	71	19	30	46	33
	Grünturm	Si	100	76	60	18	47	50
<i>Trifolium nivale</i>	Gotschna	Ca	100	85	64	15	22	22
	Grünturm	Si	100	71	45	14	29	32
<i>Trifolium pallescens</i>	Dürrboden	Si	100	96	98	40	87	89
<i>Trifolium repens</i>	Clavadeler Alp	Si	100	94	94	27	57	59
<i>Trifolium thalii</i>	Bodmen	Ca	100	79	73	27	68	68
	Grünturm	Si	100	93	91	39	98	106

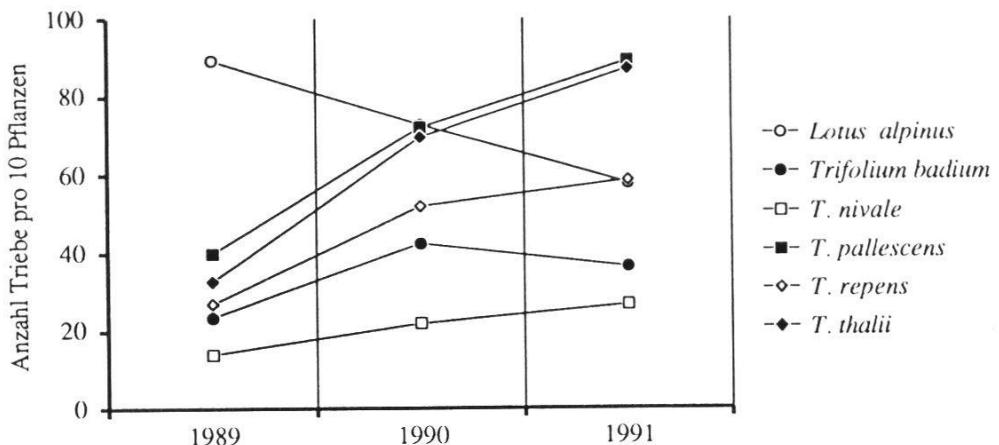


Fig. 77. Entwicklung der Anzahl Trieben der sechs untersuchten Arten während drei Jahren Mittelwerte.

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-

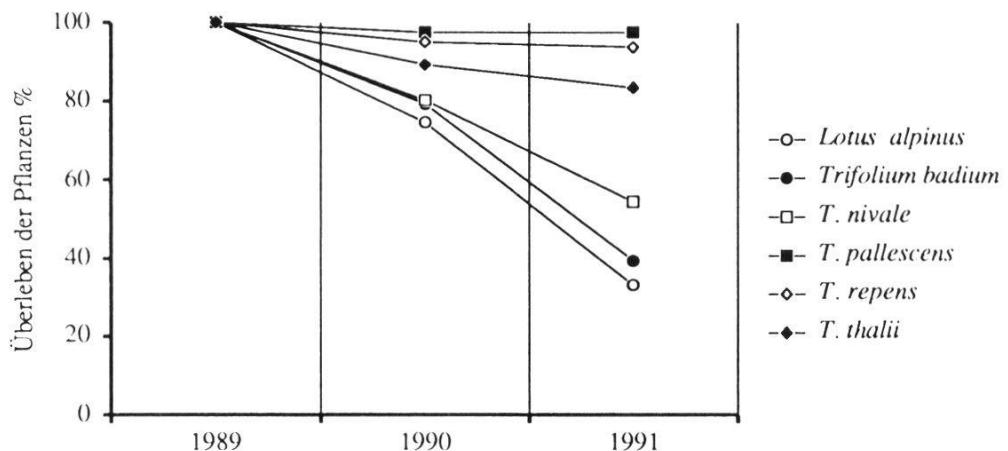


Fig. 78. Überleben der Pflanzen der sechs Arten während drei Jahren. Mittelwerte.
Survival of the plants of the six species over three years. Mean values.

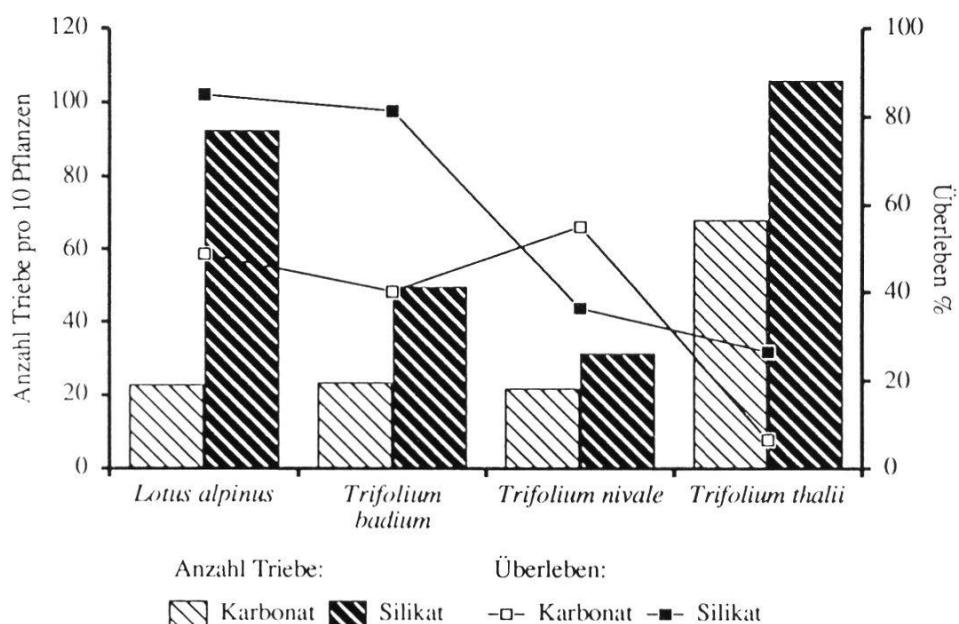


Fig. 79. Vergleich der Anzahl Triebe der verschiedenen Populationen (Si-Ca) und des Überlebens der Pflanzen nach Abschluss der Untersuchung.
Comparison between number of ramets of the different populations (Si-Ca) and of the survival of the plants at the end of the observation period.

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 niveale* 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 ungedüngt	Anzahl Triebe pro 10 Pflanzen gedüngt	Überleben der Pflanzen [%] ungedüngt	Überleben der Pflanzen [%] gedüngt	Anzahl Blüten pro 100 Pflanzen ungedüngt	Anzahl Blüten pro 100 Pflanzen gedüngt
<i>Lotus alpinus</i>	54	62	38	29	12	73
<i>Trifolium badium</i>	41	32	46	33	26	104
<i>Trifolium nivale</i>	16	38	74	35	3	15
<i>Trifolium pallescens</i>	55	123	98	98	18	559
<i>Trifolium repens</i>	61	56	95	93	1	41
<i>Trifolium thalii</i>	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-

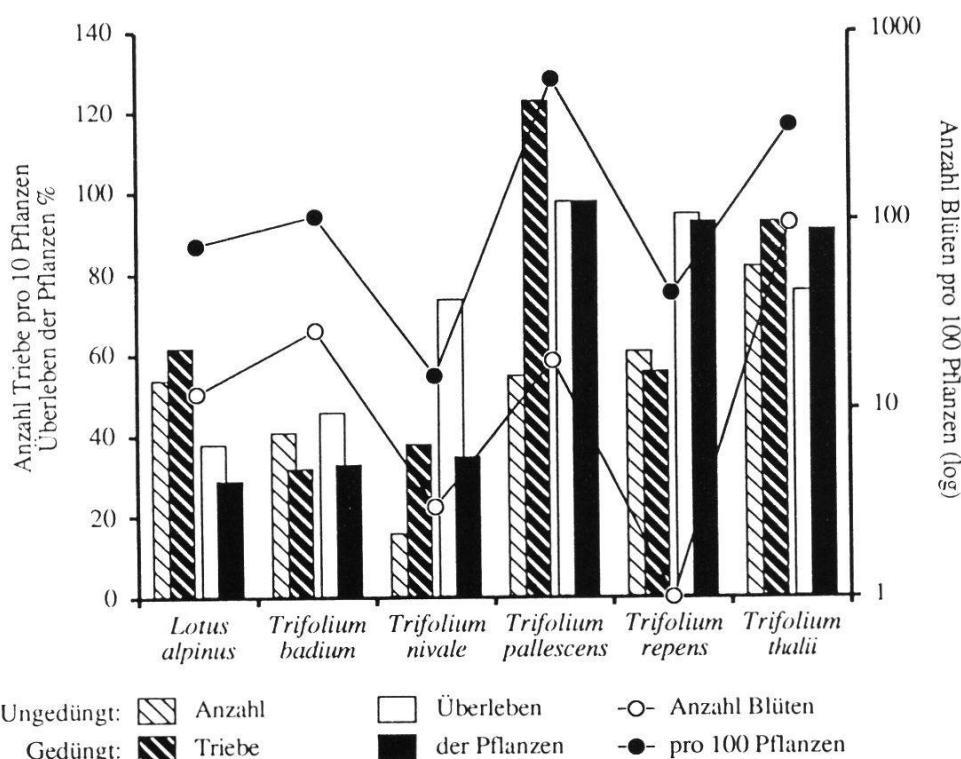


Fig. 81. Vergleich zwischen Pflanzen von ungedüngten und gedüngten Versuchspflanzungen auf dem Jakobshorn nach drei Jahren.

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 Triebe 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.

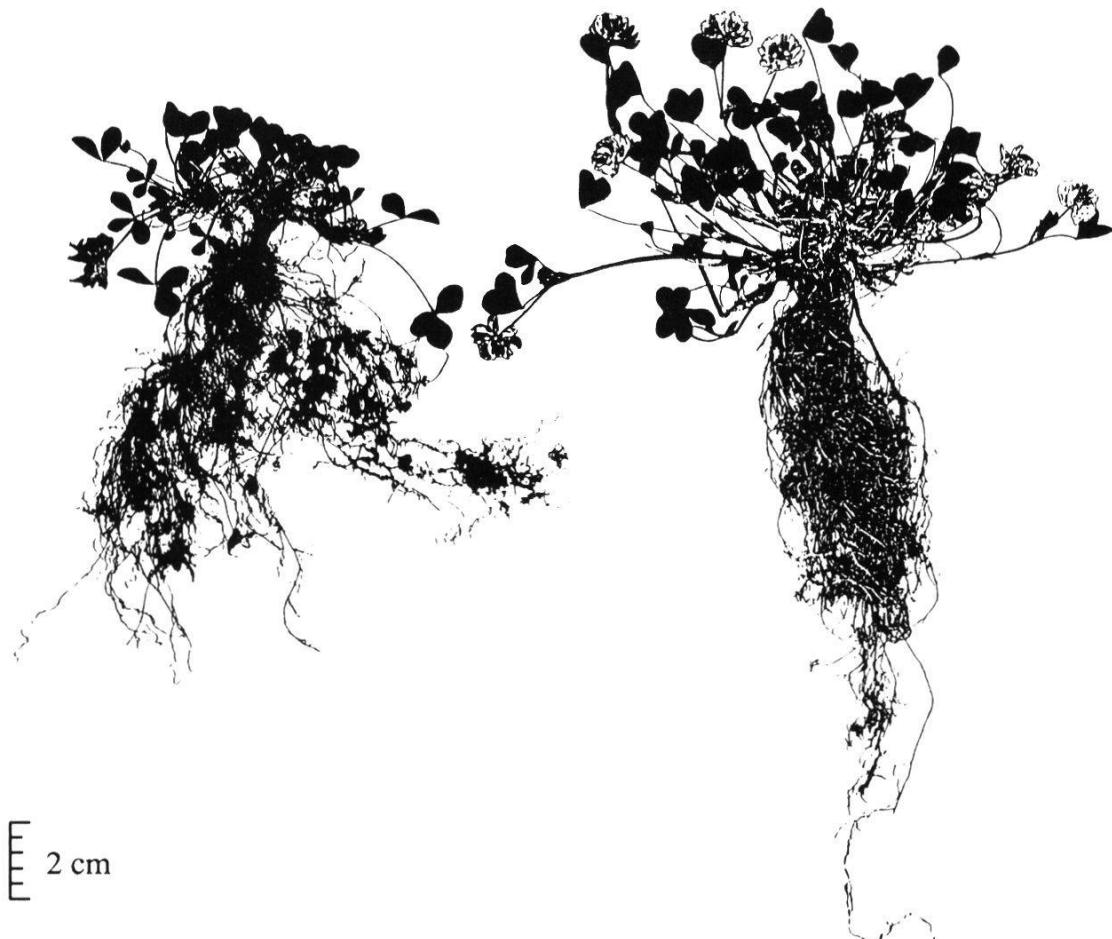


Fig. 82. *Trifolium pallescens*: Wachstum und Entwicklung in Auspflanzungen nach drei Jahren. Links: Ungedüngt; rechts: Im zweiten Jahr gedüngt.
Trifolium pallescens: growth and development in plantings three years after planting.
Left: Without fertilizer; right: Fertilizer added in the second year.

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/m². 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 m².
Number of plants, their flowers, seeds and the seeds in the soil for ten plots, each 1 m². Mean values and standard deviation.

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

5. DISKUSSION

Das Keimverhalten von Samen der untersuchten Arten ist durch **Diversität** und **Variabilität** gekennzeichnet. Die Diversität reicht von vollständigen und schnellen bis zu langsamem und nur vereinzelt auftretenden Keimungen. Innerhalb der einzelnen Arten konnten bei den verschiedenen Populationen und in den verschiedenen Erntejahren auch sehr variable Verhaltensmuster aufgezeigt werden. Sie sind zweifellos durch allgemeine ökologische und genetische Faktoren einerseits, aber auch durch die unterschiedlichen Mikrostandortsverhältnisse beeinflusst.

Die beobachteten Unterschiede im Keimverhalten der verschiedenen Arten waren hauptsächlich auf die unterschiedliche Ausbildung der Keimruhe zurückzuführen. Bei den untersuchten Arten war vor allem die **angeborene Keimruhe** wichtig. Dies bestätigt frühere Untersuchungen (FOSSATI 1976, 1980, URBANSKA et al. 1979, URBANSKA und SCHÜTZ 1986, WEILENMANN 1980, 1981, GRIME et al. 1981, ZUUR-ISLER 1982, SCHÜTZ 1983, 1988, FLÜELER 1988). Die verschiedenen Vorbehandlungsmethoden, die die Samenschale beschädigen können, führten in allen Untersuchungen zu einer Erhöhung der Keimungsrate. Eine vollständige Keimung konnte durch eine vorsichtige, mechanische Skarifikation erreicht werden und dies bei allen untersuchten Samenproben. Dabei spielte es keine Rolle, an welcher Stelle die Skarifikation stattfand. Dies steht in Übereinstimmung mit SCHÜTZ (1988). Hingegen stellten URBANSKA et al. (1979) und WEILENMANN (1980) fest, dass Leguminosen auf die Skarifikation auf dem Samenrücken besonders positiv reagieren. Die harte Samenschale scheint die einzige Ursache der angeborenen Keimruhe bei den untersuchten Arten zu sein. Die Parallelversuche bei Dunkelheit und Volllicht zeigten auf, dass für die Keimung von Leguminosen kein Licht nötig ist (vgl. auch FOSSATI 1976). Auch die Temperatur spielt bei der Keimung nur indirekt eine Rolle, wurden doch auch bei Temperaturen um den Gefrierpunkt Keimungen beobachtet. Allerdings erfolgten diese aufgrund des limitierten Stoffwechsels viel langsamer. Besonders geringe Keimungsraten wiesen dabei die untersuchten Leguminosen mit grossen Samen auf. Hier lässt sich allenfalls eine **aufgezwungene Keimruhe** vermuten. Es wird angenommen, dass sich bei alpinen Pflanzen gegen Ende der Vegetationsperiode eine aufgezwungene Keimruhe einstellt, die die Samen vor einer Keimung in der ungünstigen Jahreszeit schützt. SCHÜTZ (1988) nennt hauptsächlich den Wärmemangel und die Trockenheit als auslösende Faktoren; die vorliegenden Un-

tersuchungen zeigen, dass vor allem die Trockenheit für diese Keimruhe verantwortlich sein dürfte.

Die **induzierte Keimruhe** ist äusserst schwierig nachzuweisen (vgl. auch SCHÜTZ 1988) und lässt sich in der vorliegenden Arbeit nur vermuten: Im Boden eingegrabene Samen keimten, gegen Ende der Vegetationsperiode entnommen, unter optimalen Bedingungen in der Klimakammer schlechter als bei Beginn der Untersuchung oder im nächsten Frühjahr. Daraus kann geschlossen werden, dass sich neben der aufgezwungenen Keimruhe gegen Ende des Jahres auch eine induzierte Keimruhe einstellen dürfte, die nach einer Stratifikationsperiode gebrochen würde. Eingehendere Untersuchungen sind aber notwendig. Auch die im Kühlschrank gelagerten Samen, vor allem die grösseren und schwereren Samen, zeigten nach einigen Jahren eine schlechtere Keimungsrate bei etwa gleichbleibender Lebensfähigkeit. Möglicherweise wurde durch die langdauernden, niedrigen Temperaturen eine induzierte Keimruhe verursacht. Dies würde erklären, weshalb die Samen trotz optimalen Keimungsbedingungen zu einem geringeren Prozentsatz keimten.

Das Keimverhalten variierte von Jahr zu Jahr und von Population zu Population. Diese Unterschiede sind nach SCHÜTZ (1988) wahrscheinlich weitgehend vom Erntezeitpunkt abhängig. Auch das Alter der Samen dürfte eine wichtige Rolle spielen. In der vorliegenden Arbeit wurden zwischen Samen aus verschiedenen Erntejahren bzw. Erntezeitpunkten zum Teil grosse Unterschiede festgestellt. Zwischen den verschiedenen Populationen liessen sich teilweise interessante Beziehungen herstellen. Sie werden im Folgenden einzeln erörtert.

Das Samengewicht nahm in Abhängigkeit von der Herkunft d.h. der Höhe über Meer ab. Dies erstaunt kaum, werden doch die allgemeinen Klimabedingungen mit zunehmender Höhe extremer, die Vegetationszeit ist kürzer, durch Bodenbewegungen können Pflanzen geschädigt werden und aufgrund der einseitigen Bodenverhältnisse und gehemmten Bodenentwicklung herrscht oft eine geringe Wasser- und Nährstoffkapazität (LANDOLT 1984). Die Möglichkeit, genügend Ressourcen zu bilden und in die Samen einzulagern, wird damit schlechter und unterliegt auch grossen Schwankungen je nach Wetterlage. LANDOLT (1967), der höhenvikarierende Sippen bzw. Arten im Gebiet von Davos untersuchte, berichtete allerdings, dass die höhergelegenen Arten jeweils grössere Samen besitzen, z.B. *Anthyllis alpestris* gegenüber *A. vulneraria* oder *Lotus alpinus* gegenüber *L. tenuis*. Dieser Befund führte er auf genetische Anpassungen zurück. Er folgerte, dass an Standorten mit erschwerten Assimilationsbedingungen ein grösserer Nährstoffvorrat für

Keimlinge vorteilhaft ist. Im Gebirge ist die Assimilation wegen den kühlen Temperaturen niedrig, die Bildung von weniger, dafür grösseren Samen bzw. Früchte der meisten Gebirgssippen lassen sich daraus erklären. Die Aussagen von LANDOLT stehen nicht unbedingt im Widerspruch zu der vorliegenden Arbeit. Hier wurden nur die Samen einer einzelnen Art bzw. Sippe über einen Bereich von wenigen hundert Metern Höhenunterschied in der alpinen und allenfalls subalpinen Stufe untersucht. LANDOLT untersuchte dagegen verschiedene höhenvikarierende Arten mit Verbreitung in der kollinen Stufe bzw. der subalpinen oder alpinen Stufe. Im Verbreitungsgebiet einer bestimmten Art werden also offenbar kleinere Samen gebildet, je schwieriger die Bedingungen werden. Interessante Einzelheiten bringen in dieser Beziehung die Samenuntersuchungen an Material von Clavadel und Zürich. Obwohl die Bedingungen in diesen Versuchsanlagen für die Pflanzen optimal sein sollten, wurden kleinere Samen gebildet als in den natürlichen höhergelegenen Populationen. Offenbar stellten die tiefergelegenen Versuchsflächen für die an grosse Höhe angepassten Individuen ebenfalls einen schwierigeren Standort dar. Allerdings stellte SCHÜTZ (1988) in ähnlichen Untersuchungen fest, dass die Samen einiger Grasarten im Versuchsgarten von Zürich deutlich grössere und besser keimende Samen produzierten. Diese Problematik sollte deshalb noch weiter untersucht werden, da sich aus den bisherigen Daten kein einheitliches Verhaltensbild ergibt.

Das Samengewicht und die Keimfähigkeit und damit das Keimverhalten, stehen in kausalem Zusammenhang (HARPER et al. 1970): Leichte Samen einer Art scheinen schlechter zu keimen als schwerere und es wird vermutet, dass eine Verkleinerung der Samen und eine Verdickung der Samenschale die Langlebigkeit der Samen erhöhen dürfte. Dieser Zusammenhang konnte in der vorliegenden Arbeit erhärtet werden: Bei allen untersuchten Arten keimten jeweils kleinere Samen tendenziell schlechter als grössere. Sogar innerhalb der ganzen Familie der Leguminosen keimten Arten mit kleineren Samen schlechter als grössere. Allerdings gab es auch Ausreisser wie *Trifolium alpinum*, welcher über sehr grosse und doch sehr schlecht keimende Samen verfügt. Dies zeigt deutlich, dass das Keimverhalten sehr mannigfaltig sein kann, offenbar von verschiedensten Faktoren abhängig ist und erst nach eingehenden, langfristigen Untersuchungen völlig erfasst werden kann.

Das Verhalten der Samen aus Silikat- und Karbonatpopulationen der gleichen Art im Labor war unterschiedlich. Beispielsweise keimten die Samen der Karbonatpopulationen von *Trifolium badium* und *T. nivale* besser als diejenigen von den Silikatpopulationen. Ähnliches Verhalten wurde auch

bei *Carex sempervirens* (FOSSATI 1980) und bei *Lotus alpinus* (URBANSKA et al. 1979) gefunden. In der vorliegenden Arbeit konnte letzterer Befund nicht bestätigt werden, Silikat- und Karbonatpopulationen von *Lotus alpinus* keimten etwa gleich gut.

Für *Lotus alpinus* und *Oxytropis campestris* von Karbonat wurden deutlich grössere und schwerere Samen nachgewiesen. Bei allen anderen untersuchten Arten wurden zumindest als kleinste und leichteste Samen jeweils solche von Silikatpopulationen gefunden. Die Samengrösse beziehungsweise das Verhältnis Samenschale-Embryo ist aber eng mit dem Keimverhalten verbunden (HARPER et al. 1970, HALLORAN und COLLINS 1974, BHAT 1973). Dieser Zusammenhang lässt mehrere Erklärungsmöglichkeiten zu.

Im allgemeinen werden Karbonatstandorte als Extremstandorte betrachtet, wo die Bedingungen für Pflanzen schlechter sind als auf Silikatstandorten (GIGON 1971). Für Leguminosen trifft dies allerdings nur bedingt zu. Nach LANDOLT (1984) sind diese auf sauren Böden mehrheitlich nicht zu finden, da dort eine gut funktionierende Symbiose zwischen Pflanze und Knöllchenbakterien nicht möglich ist. Im Untersuchungsgebiet wurden auch auf verschiedenen Silikatstandorten Leguminosen und auch Wurzelknöllchen gefunden. Trotzdem könnte obiger Zusammenhang ein Grund sein für die Ausbildung von grösseren und schwereren Samen auf Karbonatstandorten, was auch die bessere Keimfähigkeit der Leguminosen auf solchen Standorten, erklären könnte.

Die deutlichen Grössenunterschiede der Samen bei *Lotus alpinus* im Gebiet von Davos wurden schon von URBANSKA (1979) beobachtet. Die Erklärung hierfür dürfte teilweise mit der Polyploidiestufe zusammenhängen: Die meisten Karbonatpopulationen sind tetraploid ($2n=24$) und die Silikatpopulationen diploid ($2n=12$). Die Samengrösse ist hier also nicht direkt mit dem unterschiedlichen Muttergestein verbunden. Möglicherweise könnte ein indirekter Zusammenhang bestehen: Die polyploiden Populationen auf Karbonat bilden grössere Samen, die besser keimen. Das wiederum ist auf der lückigen Karbonatvegetation günstiger, da an vielen Orten Schutzstellen für eine erfolgreiche Keimung und Etablierung vorhanden sind.

Die unterschiedlichen Keimungsstrategien von alpinen Pflanzen werden also zweifellos von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Teilweise lassen sich die Unterschiede im Keimverhalten auf die Vielfalt von allgemeinen Standortbedingungen zurückführen. Die allgemeinen ökologischen Faktoren, wie Klima, Nährstoffgehalt und edaphische Verhältnisse, sowie Mikrotopographie des Geländes, Feinerdegehalt und Wasserangebot können die Grösse der Samen, sowie die Dicke der Samenschale und somit das Keimverhalten der

Leguminosen beeinflussen. Es ist äusserst schwierig zu entscheiden, ob unterschiedliches Keimverhalten rein auf solche äussere Einflüsse zurückzuführen ist oder ob sich genetische Unterschiede in den verschiedenen Populationen und Arten herausgebildet haben. Versuche mit Pflanzen von beiden Muttergesäumen unter kontrollierten, identischen Bedingungen könnten hier Klarheit schaffen.

Viele Arten, die an Standorten mit kurzer Vegetationsperiode vorkommen, keimen schnell und gut (FOSSATI 1980). Dies ist eine günstige Strategie, wird doch die Vegetationsperiode so maximal ausgenutzt. Weiter wurde verschiedentlich festgestellt, dass Samen von Pflanzen aus geschlossener Vegetation schlechter keimen als solche von Pflanzen offener Flächen. Viele Autoren vertreten dann auch die Auffassung, dass die Fortpflanzung durch Samen auf offenen Flächen erfolgsversprechender ist (FOSSATI 1980, CALLAGHAN und EMANUELSON 1985, GASSER 1986, MURRAY 1987). Durch die verzögerte Keimung über mehrere Jahre kann die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass ein Keimling einer bestimmten Pflanze eine günstige Etablierungsstelle findet. Keimen alle Samen zusammen, so ist die Chance gross, dass durch ungünstige Umweltbedingungen sämtliche Nachkommen eines Jahres eingehen. Es spricht deshalb einiges dafür, dass eine genetische Selektion, bei Pflanzen in geschlossenen Rasen und an Standorten langer Schneebedeckung, in Richtung ausgeprägter Keimruhe und Langlebigkeit stattgefunden hat. Dies würde im Laufe der Zeit zur Bildung von Rassen mit kleineren Samen und dickerer Samenschale führen. Für die untersuchten Populationen liess sich aber in der Regel keine eindeutige Aussage machen.

Bei den verschiedenen Lagerungen der Samen konnte der Einfluss der Temperatur auf den Verlust der Lebensfähigkeit der trocken gelagerten Samen sehr deutlich gezeigt werden. Bei allen untersuchten Arten konnte eine erhöhte Mortalität bei trockener Lagerung bei Zimmertemperatur gegenüber der Lagerung im Kühlschrank nachgewiesen werden. Dies bestätigte frühere Ergebnisse einiger Autoren (VILLIERS 1973, WAREING 1966). Sie stellten fest, dass Samen im Boden eine geringere Abnahme der Lebensfähigkeit aufweisen, als luftgetrocknete Samen. VILLIERS (1972, 1974) vermutete, dass für die Abnahme der Lebensfähigkeit im trockenen Zustand eine Anhäufung von Membran- und Chromosomendefekten, welche in trockenem Zustand nicht repariert werden können, verantwortlich ist. Solche Defekte können mit einer gewissen Zufallswahrscheinlichkeit in jeder Zelle auftreten. Sobald eine gewisse Zahl von Zellen betroffen ist, verliert der Samen seine Lebensfähigkeit. ROBERTS (1972) stellte fest, dass die Mortalität bei trockener Lagerung mit

grösserer Wärme und höherer Luftfeuchtigkeit zunimmt.

Die Samen im Boden zeigten eine bessere oder gleich gute Lebensfähigkeit wie im Kühlschrank. Nach Meinung von VILLIERS (1974) wird die Dauer der Lebensfähigkeit im Boden nur durch das Aufrechterhalten der Keimruhe bestimmt. Die wichtigste Todesursache sieht er dann auch im Zusammenbrechen der Keimruhemechanismen zur falschen Zeit. Die Samen sind oft gut mit Wasser versorgt und nur die Keimruhe verhindert die Keimung. Solche Samen können auftretende Zelldefekte durchaus reparieren. Dieser Aspekt der längeren Lebensfähigkeit von gequollenen Samen im Boden könnte auch bei den untersuchten Leguminosen eine Rolle, obwohl sie in der Regel nach der Wasseraufnahme sofort keimen. Nach DOUGLAS (1965) verharren viele Samen bei der Lagerung im feuchten Boden aufgrund des höheren CO_2 -Gehaltes längere Zeit in Keimruhe. So liess sich bei den beiden untersuchten Leguminosen mit grossen Samen eine höhere Lebensfähigkeit bei den im Boden eingegrabenen Samen nachweisen.

Die über längere Zeit dauernde Keimruhe von Samen im Boden ist die Voraussetzung zur Bildung einer dauerhaften Samenbank (THOMPSON und GRIME 1979, URBANSKA 1992). Die vorliegenden Untersuchungen lassen vermuten, dass die Leguminosenarten mit relativ grossen und im Labor einigermassen gut keimenden Samen keine dauerhaften Samenbanken bilden können und damit zum Samenbank-Typ II, d.h. der winterlichen Samenbank (THOMPSON und GRIME 1979) gehören. Die Samen verharren nach der Trennung von der Mutterpflanze vorerst in angeborener Keimruhe, die unter Umständen in eine aufgezwungene und induzierte Keimruhe übergehen kann. Möglicherweise spielen auch verschiedene Keimruhemechanismen gleichzeitig eine Rolle. Im Frühjahr keimen dann alle Samen, wobei die Fähigkeit bei sehr tiefen Temperaturen zu keimen wichtig ist. Dieses Verhalten konnte für *Astragalus frigidus* und *Oxytropis jacquinii* nachgewiesen werden. Während des Winters wurde die Samenschale durch Pilze und Bakterien nahezu vollständig abgebaut.

Die Leguminosenarten mit kleineren Samen wiesen eine stärkere, angeborene Keimruhe auf, die mehrere Jahre bestehen bleiben konnte. Sobald aber die Samenschale beschädigt wird, keimen auch diese Samen sofort, und zwar unabhängig von der Jahreszeit. Die Untersuchungen im Labor zeigten, dass kleine Samen auch bei 0°C fast vollständig keimten. Allenfalls könnte die fehlende Feuchtigkeit eine aufgezwungene Keimruhe verursachen. Da an alpinen Standorten der Boden in nicht geschlossenen Rasen durch Barfrost und Eisnadelbildung oft relativ stark umgewälzt wird und Beschädigungen der Samen-

schale dadurch häufig sind, ist im allgemeinen nicht mit einer langen Ruhezeit zu rechnen. Die Leguminosenarten mit kleinen Samen dürften trotzdem dauerhafte Samenbanken bilden können, die nach THOMPSON und GRIME (1979) wohl am ehesten zum Typ III zu rechnen wären.

Meine Untersuchungen an Samenbanken von natürlichen Populationen bestätigten das oben gezeichnete Bild nur teilweise. Weiterführende Arbeiten in diesem Bereich wären erwünscht, da nur eine geringe Anzahl Proben genommen wurde. Bei *Astragalus frigidus* und *Oxytropis jacquini* wurden nur vereinzelte Samen im Boden gefunden. Vergleicht man aber die Samenproduktion im Untersuchungsjahr mit der vorgefundenen Samenbank, so kann man feststellen, dass die geringe Anzahl Samen einem grossen Anteil der jährlich produzierten lebensfähigen Samen entspricht. Möglicherweise werden aber in klimatisch günstigeren Jahren grössere Samenmengen gebildet. Bei *Trifolium badium* konnten grössere Samenmengen im Boden gefunden werden, es kann somit auf eine dauerhafte Samenbank geschlossen werden. Bei *Trifolium thalii*, der kleine Samen besitzt, wurden trotz einer sehr grossen Produktion an lebensfähigen Samen im Boden nur ganz vereinzelte Samen aufgefunden. HATT (1990, 1991), der die Samenvorräte unter natürlichen Rasen untersuchte, fand sowohl im Frühling wie im Herbst Samen von *Anthyllis alpestris*. In experimentellen Aussaaten mit Leguminosen wurden sowohl in der vorliegenden Arbeit wie auch in den Untersuchungen von SCHÜTZ (1988) neue Keimlinge während vier Jahren beobachtet. Diese beiden Befunde deuten wiederum auf dauerhafte Samenbanken hin. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass alpine Leguminosensamen zumindest von einem Teil der Arten dauerhafte Samenbanken bilden können, obwohl sie meistens nur aus wenigen Samen bestehen dürften.

Das Keimverhalten mit zunehmendem Alter der im Kühlschrank gelagerten Samen in den drei Untersuchungsjahren wies nur geringe Unterschiede auf. Die Keimfähigkeit der kleinen Samen nahm tendenzmäßig eher zu. Dies ist leicht dadurch erklärbar, dass die Samenschalen im Laufe der Zeit etwas spröder und damit wasserdurchlässig wurden. Die grösseren Samen wiesen tendenzmäßig eher geringere Keimungsraten auf, was allenfalls auf die Ausbildung einer induzierten Keimruhe hindeuten könnte. Die Lebensfähigkeit der Samen, durch Keimungversuche mit skarifizierten Samen getestet, nahm während den drei Beobachtungsjahren kaum ab. Nur bei *Astragalus frigidus*, welcher grosse Samen besitzt, wurde ein Abfallen der Lebensfähigkeit offensichtlich. Dies erstaunt kaum, wurde doch gerade bei dieser Art nachgewiesen, dass Samen im Boden nur für einen Winter überleben und anschliessend

vollständig keimen. Eine ausgedehnte Lebensfähigkeit der Samen ist damit unnötig. Es lässt sich allgemein vermuten, dass alpine Leguminosen mit kleinen Samen und einer starken Keimruhe langlebiger sind, während Leguminosen mit grossen Samen und einer schwachen Keimruhe eher über eine geringe Lebensfähigkeit verfügen. SCHÜTZ (1988) und URBANSKA et al. (1987) konnten für *Anthyllis alpestris*, welcher auch ziemlich grosse Samen hat, im Verlaufe weniger Jahre eine Abnahme der Lebensfähigkeit feststellen. In der vorliegenden Arbeit konnte dies allerdings nicht bestätigt werden. Es wäre interessant die Prüfung der Lebensfähigkeit über einige Jahre weiterzuführen. Für genauere Angaben wäre es wichtig auch noch Untersuchungen mit Tetrazolium durchzuführen.

Die Lebensfähigkeit von skarifiziert gelagerten Samen nahm stärker ab als bei intakt gelagerten Samen. Es kann deshalb angenommen werden, dass auch eine vorsichtig ausgeführte Skarifikation gewisse Beschädigungen verursachen kann, die im Laufe der Zeit zum Tode führen kann. Zudem wird der Embryo möglicherweise, infolge des fehlenden Schutzes durch die Samenschale, anfälliger gegenüber Kranheitskeimen, wie Bakterien und Pilze.

Die Aussaatentwicklung im Felde wies grosse Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsorten Strela und Jakobshorn auf. Während sich die Ansaaten auf der Strela zum Teil recht gut entwickelten, überlebten auf dem Jakobshorn fast keine Pflanzen. Ähnliche Beobachtungen hat früher auch SCHÜTZ (1988) gemacht. Die Unterschiede sind auf die klimatischen und vor allem edaphischen Bedingungen zurückzuführen.

Beide Skipistenplanien dürften durch eine vollständige Profilkappung entstanden sein. Die Planierungsböden enthalten vor allem nahe der Oberfläche bedeutend mehr grobe Komponenten bzw. weniger Feinerdematerial und Humus als unplanierte Flächen. Der Humus dürfte wahrscheinlich beim Pistenbau durch tiefe Verbaggerung und Materialumschichtung grösstenteils verlorengegangen sein und seine Nährstoffreserven sind für die sich neuansiedelnde Vegetation nicht mehr verfügbar (vgl. MOSIMANN 1983, MEISTERHANS 1988). Die Feinerde wurde hauptsächlich im Profil nach unten verlagert, was besonders auf dem Jakobshorn anhand von Feinerdeansammlungen oberhalb grösserer Steine im untersuchten Profil gut sichtbar war. Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Angaben von VOLZ (1986) überein. Die Menge an Nährstoffen dürfte dadurch entsprechend abgenommen haben. Verglichen mit unplanierten Flächen ist auf den untersuchten Planien drei- bis sechsmal weniger Stickstoff und zwei- dreimal weniger Phosphat vorhanden. Nach MOSIMANN (1983) kann eine Rekultivierung auf künstlich angelegten Pisten in-

nerhalb weniger Jahre höchstens dann Erfolg haben, wenn im Boden unter anderem genügend Stickstoff- und Phosphatreserven vorhanden sind.

Die beiden Skipistenplanierungen wiesen ausser dem unterschiedlichen Muttergestein vor allem bezüglich des Ton-Schluff-Gehaltes Unterschiede auf. Auf dem Jakobshorn ist nur ein sehr geringer Anteil dieser Fraktion im Oberboden zu finden. Sie entspricht etwa einem Sechstel gegenüber der ungestörten Vegetation und einem Viertel gegenüber der Planierung der Strela. Dies führt zu äusserst geringer Wasser- und Nährstoffkapazität und wie Beobachtungen zeigten, offenbar zu vermehrter Eisnadelbildung. Neben der ungünstigen Exposition in nordöstlicher Richtung dürfte dies der Hauptgrund für die schlechte Entwicklung der Ansaaten auf dem Jakobshorn sein.

Erwartungsgemäss wurden in den verschiedenen Aussaaten mit **skarifizierten** Samen mehr Keimlinge beobachtet als in den **unbehandelten** Vergleichsaussaaten. Der Saataufgang der skarifizierten Samen war bei allen untersuchten Arten während der gesamten Beobachtungsperiode von drei Jahren höher. Interessanterweise war die Mortalität der skarifizierten Samen aber so viel höher, dass in den meisten Fällen bei Abschluss der Untersuchungen auf den Flächen mit unbehandeltem Material eine höhere Überlebensrate verzeichnet werden konnte. Besonders auf dem Jakobshorn fiel dies auf. In skarifizierten Aussaaten konnten nach zwei Jahren nur bei wenigen Arten Überlebende gefunden werden, bei den unbehandelten Serien wurden dagegen bei den meisten Arten noch einige Überlebende gezählt. Diese Beobachtungen stimmen mit Berichten von SCHÜTZ (1988) überein. Der Grund könnte darin liegen, dass skarifizierte Samen bei Feuchtigkeit sofort alle miteinander keimten (vgl. SCHÜTZ 1988). Werden die Klimabedingungen für einige Tage schlecht oder treten andere ungünstige Ereignisse ein, so sind alle Keimlinge betroffen. Die unbehandelten Samen keimten über einen längeren Zeitraum, manchmal über einige Jahre verteilt, und die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Keimling zu einem günstigen Zeitpunkt etablieren kann, ist damit grösser. Laut SCHÜTZ (1988) ist es wichtig, dass besonders auf frischen Planierungen Samen verwendet werden, die sofort keimen und den Boden stabilisieren können. Es scheint aber günstiger, dies durch das Aussäen von Arten, die keine Keimruhe aufweisen, zu tun. Eine Skarifikation wäre allenfalls bei geeigneten, aber sehr schlecht keimenden Arten angezeigt, dabei sollte aber nur ein Teil der Samen skarifiziert werden. Bei den untersuchten Arten trifft dies lediglich auf *Trifolium alpinum* zu, alle anderen Arten keimten im ersten Jahr mindestens zu einem Drittel.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen einige Aussagen bezüglich

dem **Zeitpunkt der Aussaat** im Felde zu. Nach Ansicht einiger Autoren (REIST 1986, RUDIN 1985, SCHÜTZ 1988) ist die Aussaat nach der Ausaperung in der alpinen Stufe am besten geeignet, da so die Winterfeuchtigkeit des Bodens noch ausgenutzt werden kann. SCHÜTZ (1988) berichtet weiter, dass vorbehandelte Samen nach einer Überwinterung nicht mehr keimten. In der vorliegenden Arbeit konnten dagegen verschiedentlich einzelne Keimungen von skarifizierten Samen auch nach einem oder mehr Jahren beobachtet werden. Auch in den Herbstaussaaten mit skarifizierten Samen konnten bei einigen Arten erhebliche Saataufgänge im Frühjahr beobachtet werden. Offenbar ist es möglich, dass einige Samen in induzierter Keimruhe über längere Zeit ruhen können. Allerdings waren die Verluste sehr gross. Auch Herbstaussaaten mit unbehandeltem Samengut waren gegenüber Frühsommeraussaaten weniger erfolgreich. Der Grund dürfte darin liegen, dass viele Samen bei wärmeren Temperaturen auch im Spätherbst keimen und während dem Winter absterben. Aus diesem Grund sind Frühsommeraussaaten empfehlenswerter. Zudem besteht beim Zeitpunkt im Herbst die Gefahr, dass ein früher Wintereinbruch die Aussaat verhindert (vgl. auch SCHÜTZ 1988).

Die Herkunft des Samenmaterials kann das Keimverhalten beeinflussen. Aufgrund der kreuzweisen Aussaatversuche auf der Strela und dem Jakobshorn lässt sich vermuten, dass sich bereits im engeren Untersuchungsgebiet von Davos edaphische Rassen herausgebildet haben, so dass die auf dem inkompatiblen Substrat ausgesäten Samen, geringere Etablierungschancen besitzen. Noch offensichtlicher wird dies anhand der Auspflanzversuche auf dem Jakobshorn, wo aus Samen aufgezogene Individuen verwendet wurden. Jene Pflanzen, die aus Samen von Karbonat hervorgegangen waren, überlebten auf Silikat bedeutend schlechter. Dies obwohl sie als gut entwickelte Jungpflanzen mitsamt etwas Gartenerde in die Piste eingepflanzt wurden. Die genetischen Anpassungen an die lokale Umwelt scheinen also recht eng zu sein. Auch MEHNERT (1985) und MEISTERHANS (1988) weisen daraufhin, dass sich bei Rekultivierungen nur die geeigneten Rassen, die in bezug auf Höhenlage, Exposition, Gesteinsunterlage, Beschaffenheit der Bodenoberfläche etc. an den Standort angepasst sind, erfolgreich etablieren können.

Die Entwicklung der Jungpflanzen der verschiedenen Arten zeigte die typischen Wachstumsstrategien. In der Klimakammer wiesen vor allem die Arten mit Guerilla-Strategie und Phalanx-Pflanzen, die Sprossverbandsrosetten bilden, einen Zuwachs an neuen Trieben und ein relativ grosses expansives Wachstum auf. Diese Arten dürften daher in Renaturierungen auch am erfolgversprechendsten sein. Auf dem Jakobshorn traf dies allerdings nicht zu; hier

überlebte *Trifolium alpinum* am besten, obwohl diese Phalanx-Art über eine sehr langsame Entwicklung verfügt. Auf dem Jakobshorn war die Anpassung an den Standort offenbar entscheidender als der Wachstumstypus. Anders auf der Strela: Hier waren, mit Ausnahme von *Oxytropis jacquinii*, nur Guerilla-Arten oder Phalanx-Arten, die Sprossverbandsrosetten bilden, erfolgreich. Die Ergebnisse zeigen klar, dass bei Prüfung der Eignung von Arten für die ökologische Erosionsbekämpfung weitgehend aufgrund von allgemeinen Wachstums- und Lebensstrategien entschieden werden kann (vgl. SCHÜTZ 1988, URBANSKA 1986, 1988, 1989, URBANSKA et al. 1987, 1988). Dennoch stellt sich die tatsächliche Eignung erst in experimentellen Feldversuchen heraus.

Die Entwicklung der Jungpflanzen auf den mit Substrat angereicherten Böden bestätigte erneut frühere Aussagen: Nach URBANSKA und SCHÜTZ (1986) wird durch Düngung von Skipistenaussaaten hauptsächlich das oberirdische Wachstum und nicht die Entwicklung der Wurzeln gefördert (vgl. auch GRABHERR 1978, CERNUSCA 1986); dies konnte vor allem in den Klimakammerversuchen klar gezeigt werden. Die Pflanzen, die in der Skipistenfeinerde mit oberflächlicher Substratzugabe aufwuchsen, zeigten vor allem in obersten, gedüngten Wurzelbereich ein verstärktes Wachstum. Gerade diese oberste Bodenschicht ist im Felde aber besonders anfällig auf Frosthebung und Frostschäden. Bei einer allfälligen Düngung wäre also streng darauf zu achten, dass kein Überangebot an Nährstoffen entsteht. Nur so kann eine tiefe Durchwurzelung, also die erfolgreiche Etablierung der alpinen Pflanzen und die Stabilisierung des Bodens gewährleistet werden (vgl. URBANSKA und SCHÜTZ 1986, RUDIN 1985). Der mittelfristige Misserfolg vieler kommerziellen "Begrünungen" könnte unter anderem mit zu grossem Nährstoffeintrag zusammenhängen. TSCHURR (1992) beurteilt die Düngung von alpinen Pflanzen generell als ungünstig. Allerdings zeigen die vorliegenden Ergebnisse durchaus auch auf, dass eine Düngung bzw. ein Ausbringen von wenig Substrat vor allem in extremen Situationen positive Auswirkungen haben kann. Die Pflanzen, denen ein wenig Bodensubstrat zugegeben worden war, wiesen sowohl im Laborversuch wie in Aussaaten auf den Skipisten eine deutlich grössere Biomasse auf. Eine äusserst sparsam dosierte Düngung scheint also für die Etablierung von alpinen Pflanzen durchaus förderlich zu sein. NASCHBERGER und KÖCK (1983) sowie FLORINETH (1984) empfehlen organischen Dünger dem mineralischen vorzuziehen. Auch ist die Biomasse der Bodenmikroflora, der Ciliaten und Nematoden auf organisch gedüngten Flächen in der Regel höher als auf mineralisch gedüngten (INSAM und HASELWANDTER 1985, LUFTENEGGER et al. 1986).

Auch die physikalischen Eigenschaften des Bodens spielen offenbar eine wichtige Rolle bei der erfolgreichen Aussaatentwicklung. Durch die Zugabe von Substrat können sie verbessert werden. So wurden beispielsweise die rund 7 cm tief eingegrabenen Flächenbegrenzungen aus Kunststoff bei normalen Flächen innerhalb weniger Herbstwochen durch Frosthebung an die Oberfläche gedrückt. Auf den Flächen mit Substrat blieben die Rasenkanten im Boden. Entsprechend wurden auch die Keimlinge weniger geschädigt. Die Frosthebung dürfte die wichtigste Todesursache für die Keimlinge und Jungpflanzen sein: Die Wurzeln werden exponiert und können die Pflanze nicht mehr mit genügend Wasser versorgen (vgl. auch HEDBERG 1964, MARK 1965, RYSER 1991).

Interessant ist auch die Reaktion der ausgepflanzten Individuen auf eine Düngung. Die Pflanzen, die aus Samen von Karbonatpopulationen hervorgegangen waren, zeigten in dieser Hinsicht ein deutlich anderes Verhalten wie diejenigen Pflanzen von Silikatpopulationen. Die Zuwachsrate an neuen Trieben und auch das Überleben war bei den Karbonatpopulationen signifikant geringer. Nur bei *Trifolium nivale* überlebten die Pflanzen der Silikatpopulationen schlechter. Gesamthaft gesehen ist die Düngung für die an den Silikatstandort angepassten Pflanzen von einem Nutzen, während die von Karbonat stammenden Pflanzen durch eine Düngung eher noch schneller absterben. Auch dieser Versuch zeigte, dass die genetische Anpassung der verschiedenen Populationen an ihren Standort recht eng sein kann.

Die vorliegende Arbeit stellt prinzipiell Grundlagenforschung dar, bringt aber auch einige Hinweise bezüglich der **Eignung von Leguminosen zur biologischen Erosionsbekämpfung** und für allgemeine Verfahren bei umweltgerechten Renaturierungen. SCHÜTZ (1988) empfiehlt für die Zusammensetzung einer geeigneten Saatmischung einerseits Arten, die nach der Aussaat sofort keimen, andererseits Arten, die über mehrere Jahre verteilt keimen, sowie Arten, die allgemein zu starkem klonalem Wachstum neigen. Laut BRADSHAW und CHADWICK (1980) können Leguminosen bei einer Rekultivierung je nach ihrer Dichte Düngergaben teilweise oder ganz unnötig machen. MEISTERHANS (1988) empfiehlt aus diesem Grund für das Saatgut *Lotus alpinus* auf saurem Silikat, *Anthyllis alpestris* auf Dolomit und *Trifolium nivale* auf beiden Gesteinstypen. Auch STIMPFELI (1985) schlägt *Lotus alpinus* als geeignete Art vor. In der vorliegenden Untersuchung können aufgrund der Entwicklung im Felde auf Karbonat *Anthyllis alpestris*, *Hippocrepis comosa*, *Lotus alpinus*, *Oxytropis jacquinii* und *Trifolium nivale* empfohlen werden, auf Silikat *Trifolium alpinum* und *Lotus alpinus*. *Hedysarum obscurum* zeigte auf dem Ja-

kobshorn zwar eine der höchsten Saataufgangsraten und Überlebensraten in den zweijährigen Auswertungen. Dies ist aber hauptsächlich auf die grossen Samen und die damit zusammenhängenden grossen Nährstoffvorräte zurückzuführen. Im dritten Jahr überlebten nur noch sehr vereinzelte Jungpflanzen. Die fünf *Trifolium*-Arten mit sehr kleinen Samen, *Trifolium badium*, *T. niveale*, *T. pallescens*, *T. repens* und *T. thalii*, konnten sich nur selten auf der feinerde-, humus- und nährstoffarmen Skipistenplanie etablieren. Aufgrund ihres im Labor beobachteten expansiven Wachstums dürften sie aber auf Renaturierungsflächen, wo der Oberboden erhalten blieb, recht erfolgreich sein. Für den Rohboden als völlig ungeeignet erwiesen sich *Astragalus frigidus*, *Hedysarum obscurum* und *Oxytropis campestris*.

URBANSKA und SCHÜTZ (1986) weisen auf die grosse Bedeutung geeigneter Schutzstellen bei Renaturierungen hin. Auf einer vegetationslosen Skipistenplanierung sind solche Schutzstellen selten. Durch die Verwendung von Abdeckungen wie z.B. Curlex® oder Jute können neue Schutzstellen geschaffen und so die Etablierung und Dichte der Keimlinge gefördert werden. Im weiteren wurde auch eine erhöhte Einwanderung von Samen in die geschützten Flächen beobachtet (TSCHURR 1992, HASLER 1988, SCHÜTZ 1988, GASSER unveröff.). Als positive Effekte konnten in der vorliegenden Arbeit bei Curlex®-Abdeckungen geringere Temperaturextreme, verminderte Abkühlung in der Nacht und damit niedrigere Frostgefahr und eine geringfügige Verbesserung der Wasserspeicherung nachgewiesen werden. Negativ dürfte sich vor allem die Beschattung auswirken. Bei zu dichtem Material konnten oft vergilbte und etiolierte Pflanzen beobachtet werden (vgl. FLÜELER 1988). Auch waren die Blätter der meisten Pflanzen grösser als in den ungeschützten Aussaaten. Möglicherweise wird dadurch die Frosthärtung beeinträchtigt, was sich im Herbst negativ auswirken könnte. In den Aussaaten konnte klar gezeigt werden, dass Curlex® und Jute-Abdeckungen das Überleben der Keimlinge und Jungpflanzen positiv beeinflussten. Die feine, dreidimensionale Struktur des Curlex® war dabei dem grobmaschigen, eng auf dem Boden anliegenden Jutennetz offenbar überlegen. SCHÜTZ (1988) stellte in ähnlichen Versuchen übereinstimmend fest, dass das Überleben auf den mit Curlex® geschützten Flächen signifikant besser war, als auf den offenen Flächen. Der Saataufgang war allerdings geringer, was er auf die Beschattung zurückführte.

Die vorliegende Arbeit zeigt aber ebenso klar, dass die Abdeckung mit Curlex® auf der Skipiste vom Jakobshorn keineswegs genügte: Obwohl das Überleben anfangs wesentlich besser war als ohne Abdeckung, starben zum Schluss fast alle Pflanzen ab. Die Resultate zeigen eindrücklich, dass in sol-

chen extremen Verhältnissen eine Renaturierung ohne Saatbeetbearbeitung kaum möglich ist. Offenbar werden durch die Saatbeetanreicherungen mit Substrat weitere Schutzstellen geschaffen, so dass auch ein Ausbringen von geringen Substratmengen die Ansaaten günstig beeinflussen kann. Dabei dürften die physikalischen Komponenten und nicht erhöhte Düngerzugaben im Vordergrund stehen.

Die oben angeführten Hinweise dürfen keinesfalls als fertige Rezepte für die Renaturierungen von grossflächigen Skipistenplanierungen betrachtet werden. Es ist nachdrücklich zu fordern, dass keine neuen Skipisten in Gelände anzulegen sind, wo grössere Planierungen erforderlich sind. Auch nach den vom EIDG. DEPARTEMENT DES INNEREN (1979) erlassenen Richtlinien sollen landschaftliche Eingriffe unterbleiben, welche zur Schaffung von Skigebieten in ungeeignetem Gelände dienen. Allenfalls punktuelle Geländeanpassungen zur Entschärfung gefährlicher Stellen könnten verantwortet werden (LANDOLT 1983). Solche kleinere Geländeeingriffe sollten an die Auflage gebunden werden, dass sie durch ökologisch vertretbare Methoden renaturiert werden müssen (URBANSKA et al. 1987, URBANSKA 1990, HASLER 1988, URBANSKA und HASLER in Vorb.).

ZUSAMMENFASSUNG

Das Keimverhalten und die Jungpflanzenentwicklung wurde bei 14 alpinen Leguminosenarten aus 65 Populationen untersucht. Die Arbeit umfasst Untersuchungen der Samen, Keimungsversuche unter kontrollierten Bedingungen, Beobachtungen im Gewächshaus und im Garten, sowie Ansaaten und Auspflanzungen auf planierten Skipisten in der alpinen Stufe von Davos. Die Feldaussaaten wurden zum Teil mit Curlex®- oder Jute-Decken geschützt und teilweise wurden den Versuchsflächen Substrate oder Dünger beigelegt.

Das Keimverhalten der untersuchten Arten wurde durch **Diversität** und **Variabilität** gekennzeichnet. Ohne Vorbehandlung keimten die Samen der allermeisten Arten mässig. Bei wenigen Arten war die Keimung gut, bei einigen weiteren - sehr schlecht. Diese Verhaltensmuster sind auf die verschiedene Ausprägung der **angeborenen** Keimruhe aufgrund einer wasser- und gasundurchlässigen Samenschale zurückzuführen.

Die **induzierte** Keimruhe trat bei Samen auf, die unter offenbar ungünstigen Bedingungen gelagert wurden und bei Samen im Boden gegen Ende der Vegetationsperiode.

Die **aufgezwungene** Keimruhe wurde in den Feldversuchen beobachtet. Dieser Keimruhetyp dürfte bei den Leguminosen hauptsächlich durch Trockenheit im Boden, teilweise auch durch tiefe Temperaturen verursacht werden.

Arten mit grossen Samen wiesen eine geringe, Arten mit kleinen Samen eine ausgedehnte angeborene Keimruhe auf. Die Samengrösse nahm mit zunehmender Höhe über Meer ab. Damit verfügen Samen von höhergelegenen Standorten über eine stärkere Keimruhe.

Die Diversität des Keimverhaltens lässt sich mit Einflüssen von allgemeinen, ökologischen Faktoren, wie auch durch genetische Komponenten erklären. Die Variabilität im Keimverhalten und der Jungpflanzenentwicklung bei den untersuchten Arten wurde offenbar durch verschiedene Faktoren beeinflusst, z.B. durch klimatische Bedingungen während der Samenbildung, Standortverhältnisse, Dauer der Vegetationsperiode, Fitness der Mutterpflanze und Rassendifferenzierungen.

Aus den Untersuchungen ergeben sich einige Anhaltspunkte für die biologische Erosionsbekämpfung in der alpinen Stufe bezüglich Aussaatvorbereitung, Aussaatzeitpunkt, Saatbeetbehandlung und Schutz der Aussaaten durch Abdeckmaterialien. Es wird aber betont, dass keine grossflächigen Planierungen oberhalb der Waldgrenze ökologisch zumutbar sind.

SUMMARY

Germinating behaviour and early developmental phases were investigated in 14 alpine species of *Leguminosae* species from 65 populations. The study includes seed examinations, germinating trials under controlled conditions, observations in greenhouse and experimental garden, as well as experimental seedlings and plantings in machine-graded ski runs within the alpine vegetation belt of Davos. The field plots were partially protected with Curlex® or jute blankets; in some plots substrate or fertilizer was added.

The behaviour of the plants studied was characterized by **diversity** and **variability**. Without pretreatment, seeds of most species germinated moderately; in a few taxa germination was good, in some others - exceedingly bad. Such patterns of behaviour are apparently influenced by different levels of **innate dormancy** caused by the impermeable seed coat.

Induced dormancy occurred in seeds stored under unfavourable conditions, and also towards the end of the growing season in seeds buried in the soil.

Enforced dormancy was observed in the field trials. This type of dormancy in the legumes seems to be mostly related to soil dryness and partly to low temperatures.

Innate dormancy was rather weak in large seeds but strong in small seeds. Since seed size decreased with increasing elevation a.s.l., seeds from higher elevations are characterized by a prolonged dormancy.

The diversity of germinating behaviour is apparently related to general ecological factors as well as genetical components. The variability in germinating behaviour and in the young plant development of the species studied was obviously influenced by various factors, e.g. by weather conditions during seed development, site conditions, duration of the growth period, fitness of the mother plant, and/or racial differentiation.

The study contributes to a better assessment of the biological erosion control within the alpine vegetation belt relative to the preparation of the seed material, timing of the seeding, the preparation of the soil prior to seeding and protection of the plots with biologically degradable materials. It is stressed, however, that no large areas above timberline should ever be machine-graded.

LITERATURVERZEICHNIS

- AMEN R.D., 1966: The extent and role of seed dormancy in alpine plants. *Quart.Rev.Biol.* 41, 271-281.
- AMEN R.D., 1968: A model of seed dormancy. *Bot.Rev.* 34, 1-32.
- AMMANN K., 1978: Gletschernaher Vegetation in der Oberaar einst und jetzt. In: WILMANNS O. und TUDEXEN R. (Hrsg.), *Werden und Vergehen von Pflanzengesellschaften*. Ber.Int. Symp.Rinteln, 227-251.
- BEWLEY J.D. and BLACK M., 1982: *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination*, Vol. 2. *Viability, dormancy and environmental control*. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. 306 S.
- BHAT J.L., 1973: Ecological significance of seed size to emergence and dormancy characteristics in *Indigofera glandulosa*. *Jap.J.Ecol.* 23, 95-99.
- BILLINGS W.D. and MOONEY H.A., 1968: The ecology of arctic and alpine plants. *Biol. Rev.* 43, 481-529.
- BLISS L.C., 1971: Arctic and alpine plant life cycles. *Ann.Rev.Ecol.Syst.* 2, 405-438.
- BONDE E.K., 1965: Studies on the germination of seeds of Colorado alpine plants. *Univ. Colorado Stud.Ser.Biol.* 14, 1-16.
- BOOKMAN S.S., 1984: Evidence for selective fruit production in *Asclepias*. *Evolution* 38, 72-86.
- BRADSHAW A.D. and CHADWICK M.J., 1980: The restoration of land. The ecology and reclamation of derelict and degraded land. *Studies in Ecology* 6, Blackwell Sci.Publ., Oxford/London/Boston. 317 S.
- BRAUN-BLANQUET J., 1948-1949: Übersicht der Pflanzengesellschaften Rätiens. *Vegetatio* 1, 29-41, 129-146, 285-316; 2, 20-37, 214-237, 341-360.
- BROWN R.W., JOHNSTON R.S. and JOHNSON D.A., 1978: Rehabilitation of alpine tundra disturbances. *J. Soil Water Conserv.* 33, 154-160.
- CADISCH J., 1953: *Geologie der Schweizer Alpen*. Wepf, Basel. 480 S.
- CADISCH J., LEUPOLD W., FREI F. und STRECKEISEN A., 1929: *Geologische Karte von Mittelbünden 1:250000*. Beitr.Geol.Karte der Schweiz, N.F. 49.
- CALLAGHAN T.V. und EMANUELSON U., 1985: Population structure and processes of tundra plants and vegetation. In: WHITE J. (ed.), *The population structure of vegetation*. Junk, Dordrecht. 339-439.
- CAVERS P.B. und HARPER J.L., 1967: Studies in the dynamics of plant populations. I. The fate of seeds and transplants introduced into various habitats. *J.Ecol.* 55, 59-71.
- CERLETTI G., 1988: Experimentelle Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt in Trespen-Halbtrockenrasen bei Merishausen. Diplomarbeit. Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 84 S. (Polykopie).
- CERNUSCA A., 1977: Schipisten gefährden die Gebirgslandschaft. *Umschau* 77, 109-112.
- CERNUSCA A., 1981: Ökologische Auswirkungen des Baues und Betriebes von Schipisten. Amt. d.Tiroler Landesregierung. 257 S.
- CERNUSCA A., 1986: Probleme von Wintersportkonzentrationen für den Naturschutz. *Jb. Naturschutz und Landschaftspflege*, Bonn, 38, 33-48.
- CHABOT B.F. and BILLINGS W.D., 1972: Origins and ecology of the sierran alpine flora and vegetation. *Ecol.Monogr.* 42, 163-199.
- CHAMBERS J.C., BROWN R.W. and JOHNSTON R.J., 1984: Examination of Plant successional stages in disturbed alpine ecosystems: A Method of selecting revegetation species. *Proc. 6th HAR Workshop*, Fort Collins. 215-224.
- CHAMBERS J.C., McMAHON J.A. and BROWN R.W., 1987: Germination characteristics of alpine grasses and forb: A comparison of early and late seral dominants with reclamation potential. *Reclamation and Revegetation Research* 6, 235-249.

- CHAMBERS J.C., McMAHON J.A. and BROWN R.W., 1988: Seedling establishment in disturbed alpine ecosystems: Implications for revegetation. Proc. 8th HAR Workshop, Fort Collins, 173-191.
- COME D., 1970: Les obstacles à la germination. Masson, Paris. 162 S.
- COOK R.E., 1980: The biology of seeds in soil. In SOLBRIG O.T. (ed.), Demography and evolution in plant populations. Bot.Monogr. 15, 107-129.
- DICKENMANN R., 1982: Genetisch-ökologische Untersuchungen an *Ranunculus montanus* Willd. s.l. aus der alpinen Stufe von Davos (Graubünden). Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich 78, 89 S.
- DOUGLAS D.A., 1981: The balance between vegetative and sexual reproduction of *Mimulus primuloides* at different altitudes in California. J.Ecol. 69, 295-310.
- DOUGLAS G., 1965: The weed flora of chemically-renewed lowland swards. J.Brit.Grassland Soc. 20, 91-100.
- EDER G., 1982: Bodenerosion und Nährstoffauswaschung in Abhängigkeit vom Pflanzenbestand. Tagungsbericht "Wurzelökologie und ihre Nutzanwendung". Bundesversuchsanstalt f. alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein. 689-695.
- EVENARI M., 1956: Seed germination. In HOLLÄNDER A. and McGRAW-HILL (eds.). Radiation Biology. 518-549.
- EVENARI M., 1957: Les problèmes physiologiques de la germination. Bull.Soc.Franc.Physiol. Végét. 3, 105-124.
- EVENARI M., 1965: Light and seed dormancy. Handb.Pflanzenphysiol. 15(2), 804-847.
- FAVARGER C., 1953: Sur la germination des gentianes. Phyton 4, 275-289.
- FLÜELER R.P., 1988: Biologische Erosionsbekämpfung oberhalb der Waldgrenze: Verhalten von alpinen Pflanzen in experimentellen Aussaaten auf Skipistenplanierungen. Diplomarbeit. Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 159 S. (Polykopie).
- FLÜELER R.P. und HASLER A., 1990: Native legumes of the Swiss Alps in high altitude re-vegetation research. Proc. 9th HAR Workshop, Fort Collins, 228.
- FLORINETH F., 1982: Begrünung von Erosionszonen im Bereich und über der Waldgrenze. Z.Vegetationst. 5, 20-24.
- FLORINETH F., 1984: Erfahrungen in der Hochlagenbegrünung. In: ZAUGG H., Hochlagenbegrünung im Skisportgebiet von Lech am Arlberg (Bericht der 3. Tagung für Hochlagenbegrünung). Der Gartenbau, Stuttgart 27, 1145-1147.
- FOSSATI A., 1976: Die Keimung von Hochgebirgspflanzen. Diplomarbeit. Geobot.Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 167 S. (Polykopie)
- FOSSATI A., 1980: Keimverhalten und frühe Entwicklungsphasen einiger alpiner Taxa. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich 73, 180 S.
- FOX J.F., 1983: Germinable seed banks of interior alaskan tundra. Arct.Alp.Res. 15, 405-412.
- GADGIL M., 1971: Dispersal: population consequences and evolution. Ecology 52, 253-261.
- GALLAND P., 1982: Etude de la végétation des pelouses alpines au Parc National Suisse. Diss.Bot. Inst.Univ.Neuenburg. 177 S.
- GANESHAIAH K.H. und SHAANKER R., 1988: Embryo abortion in wind dispersed pods of *Dahlbergia sissoo*: maternal regulation or sibling rivalry? Oecologia 77, 135-139.
- GASSER M., 1986: Genetic-ecological investigations in *Biscutella levigata* L. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich 85, 87 S.
- GASSER M., 1989: Bedeutung der vegetativen Phase bei alpinen Pflanzen für die biologische Erosionsbekämpfung in der alpinen Stufe. Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich 55, 151-176 S.
- GIGON A., 1971: Vergleich alpiner Rasen auf Silikat- und Karbonatboden. Veröff.Geobot. Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich 48, 160 S.
- GRABHERR G., 1978: Schädigungen der natürlichen Vegetation über der Waldgrenze durch

- die Anlage von Skipisten und deren Fähigkeit zur Regeneration. Akad.f. Naturschutz u.Landschaftspflege. Tagungsbericht 2, 45-50.
- GRABHERR G., MAIR A., STIMPFLI H., 1988: Vegetationsprozesse in alpinen Rasen und die Chancen einer echten Renaturierung von Skipisten und anderen Erosionsflächen in alpinen Hochlagen. Jb.Ges.Ingenieurbiol. 94-113.
- GRIME J.P., MASON G., CURTIS A.V., RODMAN J., BAND S.R., MOWTORTH M.A.G., NEAL A.M. und SHAW S., 1981: A comparative study of germination characteristics in a local flora. J.Ecol. 69, 1017-1045.
- GRUBB P.J., 1977: The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. Biol. Reviews 52, 107-145.
- HALLORAN G.M. und COLLINS W.J., 1974: Physiological predetermination of the order of hardseededness breakdown in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) Ann. Bot. 38, 1039-1043
- HARPER J.L., 1977: Population biology of plants. Acad.Press, London. 892 S.
- HARPER J.L., WILLIAMS J.T. und SAGAR G.R., 1965: The behaviour of seeds in soil. I. The heterogeneity of soil surfaces and its role in determining the establishment of plants from seed. J.Ecol. 53, 273-286.
- HARPER J.L. und BENTON R.A., 1966: The behaviour of seeds in soil. II. The germination of seeds on the surface of a water supplying substrate. J.Ecol. 54, 151-166.
- HARPER J.L., LOVELL P.J. und MOORE K.G., 1970: The shapes and sizes of seeds. Ann. Rev.Ecol.Syst. 1, 327-356.
- HARRINGTON H.D., 1946: Results of a seeding experiment at high altitudes in the Rocky Mts National Park. Ecol. 27, 375-377.
- HASLER A., 1988: Biologische Erosionsbekämpfung oberhalb der Waldgrenze: Verwendung einiger alpiner Arten für die Bepflanzung von gefährdeten Stellen. Diplomarbeit. Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich. 79 S. (Polykopie)
- HASSEL W.G., 1980: Latest advances in plant material development at the Meeker Environmental Plant Center. Proc. 4th HAR Workshop, Fort Collins. 153-172.
- HATT M., 1990: Samenvorrat von zwei alpinen Böden. Diplomarbeit Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel,Zürich 64 S. (Polykopie).
- HATT M., 1991: Samenvorrat von zwei alpinen Böden. Ber.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich 57, 41-71.
- HAWTHORN W.R. und CAVERS P.B., 1976: Population dynamics of perennial herbs *Plantago major* L. und *P. rugelii*. Decne. J.Ecol. 64, 511-527.
- HEDBERG O., 1964: Features of afroalpine plant ecology. Acta Phytogeogr. 49, 1-144.
- HESS H., LANDOLT E. und HIRZEL R., 1967-1972: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Birkhäuser, Basel. 3 Bde. 2690 S.
- HICKMAN J.E., 1979: The basic biology of plant numbers. In: SOLBRIG O.T., JAIN S., JOHNSON G.B. and RAVEN P.H., (eds.), Topics in plant population biology. Columbia Univ. Press, New York. 232-263.
- INSAM H. und HASELWANDTER K., 1985: Die Wirkung verschiedener Begrünungsmassnahmen auf die mikrobielle Biomasse im Boden planierter Skipisten oberhalb der Waldgrenze. Z.Vegetationst. 8, 23-28.
- JENSEN H.A., 1969: Content of buried seeds in arable soil in Denmark and its relation to the weed population. Dansk Botanisk Arkiv 27/2. 56 S
- KARSSSEN C.M., 1976: Two sites of hormonal action during germination of *Chenopodium album* seeds. Physiol.Plant. 36, 264-270.
- KEMP P.R., 1989: Seed banks an vegetation processes in deserts. In: LECK M.A., PARKER V.T. and SIMPSON R.L. (eds.), Ecology of soil seed banks. Acad.Press, San Diego, California, 257-281.
- KINZEL W., 1913-1920: Frost und Licht als beeinflussende Kräfte bei Samenkeimung. Ulmer, Stuttgart. 2 Bde. 187 S., 170 S.

- KLÖTZLI F. und SCHIECHTL. H.M., 1979: Schipisten - tote Schneisen durch die Alpen, Kosmos. 75(12), 954-962.
- KRAL F., 1972: Zur Vegetationsgeschichte der Höhenstufen im Dachsteingebiet. Ber. Deutsch.Bot.Ges. 85, 137-152.
- LANDOLT E., 1967: Gebirgs- und Tieflandsuppen von Blütenpflanzen im Bereich der Schweizer Alpen. Bot.Jb. 86, 463-480.
- LANDOLT E., 1983: Leserbrief zu ARBENZ P., Skipisten und Naturschutz, Heimatschutz 78(1), 18-19. Heimatschutz 78(2), 24.
- LANDOLT E., 1984: Unsere Alpenflora. Verlag SAC. 218 S.
- LANDOLT E., GIGON A. und CAFLISCH P., 1976: Exkursionsführer: Vegetation auf saurem Silikat, Karbonat und Serpentin in den Zentralalpen bei Davos. 29 S. (Polykopie).
- LÜDI W., 1932: Keimungversuche mit Samen von Alpenpflanzen. Mitt.d.Natf.Ges.Bern 46, 50 S.
- LUFTENEGGER G., FOISSNER W. und ADAM H., 1986: Der Einfluss organischer und mineralischer Dünger auf die Bodenfauna einer planierten, begrünten Schipiste oberhalb der Waldgrenze. Z.Vegetationst. 9, 149-153.
- MARK A.F. 1965: Flowering, seeding and seedling establishment of narrowleaved snow tussock, *Chionochloa rigida*. N.Z.J.Bot. 3, 180-193.
- MARTI K., 1984: Das Rispenseggemoor im Mittelland. Diplomarbeit. Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 69 S. (Polykopie).
- McCONNAUGHAY K.D.M. und BAZZAZ F.A., 1987: The relationship between gap size and performance of several colonizing annuals. Ecol. 68, 411-416.
- McGRAW J.B., 1980: Seedbank size and distribution of seeds in cottongrass tussock tundra, Eagle Creek, Alaska. Can.J.Bot. 58, 1607-1611.
- McGRAW J.B. und VAVREK M.C., 1989: The role of buried viable seeds in arctic and alpine plant communities. In: LECK M.A., PARKER V.T. and SIMPSON R.L. (eds.), Ecology of soil seed banks. Academic Press, San Diego, California, 91-105.
- McGRAW J.B. und SHAVER G.R., 1982: Seedling density and seedling survival in Alaskan cotton grass tussock tundra. Holoarct.Ecol. 5, 212-217.
- MEHNERT C., VOIGTLAENDER G. und WEIS G.B., 1985: Eignung verschiedener Grasarten zur Ansaat auf als Skipistenflächen genutzten Kalkböden in den Bayerischen Alpen. Z.Veget. Technik 8, 166-170.
- MEISTERHANS E., 1982: Entwicklungsmöglichkeiten für Vegetation und Boden auf Skipistenplanierungen. Fachbeitr.Schweiz. MAB-Inform. 10, 13-26.
- MEISTERHANS E., 1988: Vegetationsentwicklung auf Skipistenplanierungen in der alpinen Stufe bei Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich 97, 169 S.
- MEISTERHANS-KRONENBERG J., 1988: Auswirkungen des Skibetriebes auf subalpine Heuwiesen bei Davos. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich 96, 79 S.
- MILES J., 1973: Early mortality and survival of self-sown seedlings in Glenfeshie, Inverness-Shire. J.Ecol. 61, 93-98.
- MOSIMANN Th., 1983: Landschaftsökologischer Einfluss von Anlagen für den Massenskisport. Mat.Physiogeogr.Basel 3. 72 S.
- MOSIMANN Th., 1985: Landschaftsökologischer Einfluss von Anlagen für den Massenskisport. III: Ökologische Entwicklung von Pistenflächen, Entwicklungstendenzen im Erosionsgeschehen und beim Wiederbewuchs planierter Pisten im Skigebiet Crap Sogn Gion, Laax (GR). Mat.Physiogeogr.Basel. 9, 40 S.
- MOORE R.P., 1973: Tetrazolium staining for assessing seed quality. In: HEYDECKER W. (ed.), Seed ecology. Butterworths, London. 347-366.
- MÜLLER G., 1977: Action de l'acide gibbérélique sur la germination de gentianes de la section *Cyclostigma*. Bull.Soc.Neuchâtel.Sci.Nat. 100, 121-126.
- MURRAY D.F., 1987: Breeding systems in the vascular flora of Arctic North America. In: URBANSKA K.M. (ed.), Differentiation in higher plants. Acad.Press.London. 239-262.

- NASCHBERGER S. und KÖCK L., 1983: Erfahrungen über die Wirkung von Biosol bei der Begrünung von Skipisten. *Z. Vegetationst.* 6, 33-36.
- OVERBEEK J. van, 1966: Plant hormones and regulators. *Science* 152, 721-731.
- PELTON J., 1956: A study of seed dormancy in eighteen species of high altitude Colorado plants. *Butler Univ. Bot Stud.* 13, 74-84.
- PORSILD A.E., HARRINGTON C.R. and MULLIGAN G.A., 1967: *Lupinus arcticus* Wats. grown from seeds of pleistocene age. *Science* 158, 113-114.
- RATCLIFFE D., 1961: Adaptation to habitat in a group of annual plants. *J. Ecol.* 49, 187-203.
- REIST K., 1986: Skipistenbegrünungen in Hochlagen, ein neues Verfahren für die Praxis. *Plan* 6, 18-23.
- ROBERTS E.H., 1972: Cytological genetical and metabolic changes associated with loss of viability. In ROBERTS E.H. (ed.), *Viability of seeds*. Syracuse Univ. Press. 253-306.
- ROBERTS H.A., 1970: Viable weed seeds in cultivated soils. *Rep. Nat. Veg. Res. Stn.* 1969, 25-38.
- ROBERTS H.A. and FEAST P.M., 1972: Emergence and longevity of seeds of annual weeds in cultivated and undisturbed soil. *J. Appl. Ecol.* 10, 133-143.
- RUDIN R., 1985: Thesen und Richtlinien für die Planierung und die Begrünung von Skipisten. *Veröff. Schweiz. Verb. der Seilbahnunternehmungen (SVS)*, Bern. 14 S.
- RYSER P., 1990: Influence of gaps and neighbouring plants on seedling establishment in limestone grassland. *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich.* 104, 71 S.
- SAYERS R.L. and WARD R.T., 1966: Germination responses in alpine species. *Bot. Gaz.* 127(1), 11-16.
- SCHIBLER W., 1937: Flora von Davos. *Beil. Jb. Natf. Ges. Graubünden. Chur* 74. 216 S.
- SCHIECHTL H.M., 1973: Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Grundlage, lebende Stoffe, Methoden. Callaway, München. 244 S.
- SCHIECHTL H.M., 1976: Zur Begrünbarkeit künstlich geschaffener Schneisen in Hochlagen. *Jb. Ver. Alpenpfl. u. -tiere.* 41, 53-75.
- SCHÖNTHALER K.E., 1979: Einige Kriterien der Wirkung von Bodenfestigern. *Z. Vegetationst.* 2, 27-34.
- SCHÖNTHALER K.E., 1980: Probleme der Hochlagenbegrünung unter besonderer Berücksichtigung der Skipisten einschliesslich vorläufiger Versuchsergebnisse. *Z. Vegetationst.* 3, 38-42..
- SCHRÖTER C., 1926: Das Pflanzenleben der Alpen. Eine Schilderung der Hochgebirgsflora. 2. Aufl. Raustein, Zürich. 1288 S.
- SCHÜTZ M., 1983: Keimverhalten und frühe Lebensphasen alpiner Pflanzen von Silikat- und Kalkschuttstandorten. Diplomarbeit. *Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich.* 123 S. (Polykopie)
- SCHÜTZ M., 1988: Genetisch-ökologische Untersuchungen an alpinen Pflanzenarten auf verschiedenen Gesteinsunterlagen: Keimungs- und Aussaatversuche. *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 99. 160 S.
- SCHÜTZ M., 1990: Keimverhalten alpiner *Caryophyllaceae* und ihre Eignung zur Begrünung von Skipistenplanierungen oberhalb der Waldgrenze. *Z. Vegetationst.* 2, 79-83.
- SCHWEIZERISCHE METEOREOLOGISCHE ZENTRALANSTALT, 1987-1991: Monatlicher Witterungsbericht.
- SHELDON J.C., 1974: The behaviour of seeds in soil. 3. The influence of seed morphology and the behaviour of seedlings on the establishment of plants from surface lying seeds. *J. Ecol.* 64, 47-66.
- SILVERTOWN J.W., 1980: Leaf-canopy-induced dormancy in a grassland flora. *New Phytol.* 85, 269-312.
- STIMPFLI H., 1985: Zur Bedeutung der Reproduktionstrategie autochthoner und standortsfremder Arten für die ingenieurbiologische Berasung hochalpiner Erosionsflächen.

- Diss. Leopold-Franzens-Univ. Innsbruck. 194 S. (Polykopie).
- SPATZ G., PARK G.J. und WEIS G.B., 1987: Untersuchungen zur Einwanderung autochthoner Arten auf planierten und begrünten Skipisten in der subalpinen und alpinen Stufe. *Natur und Landschaft* 62, 293-295.
- TAYLORSON R.B. and HENDRICKS S.B., 1977: Dormancy in seeds. *Ann.Rev.Pl.Physiol.* 28, 331-354.
- THOMSON K., 1986: Small-scale heterogeneity in the seed bank of an acidic grassland. *J.Ecol.* 74, 733-738.
- THOMSON K. und GRIME J.P., 1979: Seasonal variation in the seed bank of herbaceous species in ten contrasting habitats. *J.Ecol.* 67, 893-921.
- TSCHURR F.R., 1987: Regenerationsverhalten und vegetative Fortpflanzung bei einigen Alpenpflanzen. Diplomarbeit. Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 70 S. (Polykopie)
- TSCHURR F.R., 1988: Zum Regenerationsverhalten einiger Alpenpflanzen. *Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 54, 111-140.
- TSCHURR F.R., 1992: Experimentell Untersuchungen über das Regenerationsverhalten bei alpinen Pflanzen. *Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 108, 121 S.
- URBANSKA K.M., 1984: Plant reproductive strategies. In GRANT F.E. (ed.), *Plant biosystematics*. Acad.Press, Montreal. 211-228.
- URBANSKA K.M., 1985: Some life history strategies and population structure in asexually reproducing plants. *Bot.Helv.* 95, 81-97.
- URBANSKA K.M., 1986: High altitude revegetation research in Switzerland - problems and perspectives. *Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 87, 155-167.
- URBANSKA K.M., 1988: High altitude revegetation research in the Swiss Alps: experimental establishment and performance of native plant populations in machine-graded ski runs above the timberline. *Proc. 8th HAR Workshop, Fort Collins.* 115-128.
- URBANSKA K.M., 1990: Standortgerechte Skipistenbegrünung in hochalpinen Lagen. *Z. Vegetationst.* 2, 75-78.
- URBANSKA K.M., 1992: *Populationsbiologie der Pflanzen*. UTB Nr.1631. 374 S.
- URBANSKA K.M., SCHWANK O. and FOSSATI A., 1979: Variation within *Lotus corniculatus* L. s.l. from Switzerland. II. Reproductive behaviour of *L. alpinus* (DC.) Schleicher. *Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 46, 62-85.
- URBANSKA K.M. und SCHÜTZ M., 1986: Reproduction by seed in alpine plants and revegetation research above timberline. *Bot.Helv.* 96, 43-60.
- URBANSKA K.M., HEFTI-HOLENSTEIN B. und ELMER G., 1987: Performance of some alpine grasses in single-tiller cloning experiments and in the subsequent revegetation trials above timberline. *Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 53, 64-90.
- URBANSKA K.M., SCHÜTZ M und GASSER M., 1988: Revegetation trials above timberline - an exercise in experimental population ecology. *Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 54, 85-110.
- VETTERLI L., 1982: Alpine Rasengesellschaften bei Davos. *Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 76, 232 S.
- VILLIERS T.A., 1972: Seed dormancy. In: KOZLOWSKI T.T. (ed.), *Seed biology*, Vol. 2. Acad.Press Inc., New York/London. 220-281.
- VILLIERS T.A., 1973: Ageing and the longevity of seeds in field conditions. In HEYDECKER W. (ed.), *Seed Ecology*. Univ.Park, Pennsylvania State Univ.Press. 265-388.
- VILLIERS T.A., 1974: Seed ageing: chromosome stability and extended viability of seeds stored fully imbibed. *Plant Physiol.* 53, 875-878.
- VOLZ B., 1986: Ökologische Auswirkungen des Skitourismus. Eine Zusammenfassung der im Rahmen des MAB-Programmes durchgeführten Untersuchungen. *MAB-Information Schweiz.Nat.Fonds*, Bern 24, 36 S.
- WAGER H.G., 1938: Growth and survival of plants in the Arctic. *J.Ecol.* 26, 390-410.
- WALTER H. und LIETH H., 1960-1967: *Klimadiagramm-Weltatlas*. Jena.

- WAREING P.F., 1966. The ecological aspects of seed dormancy and germination. In HAWKES J. (ed.), Reproductive biology and taxonomy of vascular plants. Pergamon, New York. 103-121.
- WEILENMANN K., 1981: Bedeutung von Keim- und Jungpflanzenphase für alpine Taxa verschiedener Standorte. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 48, 68-119.
- WEINDL A., 1978: Erfahrungen aus der Praxis der Skipistenbegrünung. Akad.f.Naturschutz u.Landschaftspflege, Tagungsbericht 2, 17-23.
- WESSON G. und WAREING P.F., 1969: The role of light in the germination of naturally occurring populations of buried weed seeds. J. Exp. Bot. 20, 402-413.
- WESTOBY M. und RICE B., 1982: Evolution of seed plants and inclusive fitness of plant tissues. Evolution 36, 713-724.
- WILHALM T., 1990: Experimentelle Untersuchungen über das Regenerationsverhalten einiger Gräser. Diplomarbeit. Univ. Innsbruck. 142 S. (Polykopie).
- WILLSON M.F. und BURLEY N., 1983: Mate choice in plants: Tactics, mechanisms and consequences. Princeton Univ. Press, New Jersey. 251 S.
- WILLSON M.F. und SCHEMSKE D.W., 1980: Pollinator limitation, fruit production and floral display in pawpaw (*Asimina triloba*). Bull. Torrey Bot. Club 107, 401-408.
- ZAR J.H., 1984: Biostatistical Analysis. Prentice-Hall International, Inc. London. 718 S.
- ZUBER E., 1968: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen an Strukturrasen (besonders Girlandenrasen) im Schweizerischen Nationalpark. Diss. Univ. Zürich. 158 S.
- ZUMBÜHL G., 1983: Pflanzensoziologische-ökologische Untersuchungen von gemähten Magerrasen bei Davos. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 81, 101 S.
- ZUMBÜHL G., 1986: Vegetationskartierung des MAB-Testgebietes Davos. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 88, 13-113.
- ZUUR-ISLER D., 1982: Germinating behaviour and early life phases of some species from alpine serpentine soils. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 49, 76-107.

Adresse des Autors: Remo P. FLÜELER
Geobotanisches Institut ETH
Stiftung Rübel
Zürichbergstrasse 38
CH-8044 Zürich

