

240

5 Futter-, Rasen und Gründungsplanzen

W. Nitzsche, W. Schuster, U. Simon

5.0	Allgemeines zur Fortpflanzungsbiologie, zu Zuchtmethoden und -zielen	351	5.3.5	Persischer Klee (<i>Trifolium resupinatum</i> L.)	380
5.0.1	Kleeartige Futterpflanzen - U. SIMON	351	5.3.6	Hornschotenklee (<i>Louis corniculatus</i> L.)	381
5.0.1.1	Bedeutung und Verbreitung	351	5.3.7	Steinklee (<i>Melilotus alba</i> Med.) und (<i>M. officinalis</i> [L.] Pall.)	381
5.0.1.2	Fortpflanzungsbiologie	352	5.3.8	Esparsette (<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.)	381
5.0.1.3	Zuchtmethoden	353	5.3.9	Sonstige Arten	381
5.0.1.4	Zuchtziele	356		Literatur	381
	Literatur	357	5.4	Weidelgräser (<i>Lolium spec.</i>) - W. NITZSCHE	383
5.0.2	Gräser - W. NITZSCHE	358	5.4.1	Bedeutung und Verbreitung	383
5.0.2.1	Bedeutung und Verbreitung	358	5.4.2	Abstammung und Systematik	383
5.0.2.2	Fortpflanzungsbiologie und Fertilitätsverhältnisse	359	5.4.3	Cytologie	384
5.0.2.3	Zuchtmethoden	361	5.4.4	Fortpflanzung und Fertilitätsverhältnisse	384
5.0.2.4	Zuchtziele	361	5.4.5	Zuchtmethoden	386
5.0.2.5	Sortenentwicklung	363	5.4.6	Zuchtziele	387
	Literatur	364	5.4.6.1	Wuchsform	387
			5.4.6.2	Regenerationsfähigkeit	388
5.1	Luzerne (<i>Medicago sativa</i> L. s. l.) - U. SIMON	365	5.4.6.3	Vernalisationsbedarf	388
5.1.1	Bedeutung und Verbreitung	365	5.4.6.4	Samensitz	388
5.1.2	Systematik, Abstammung und Cytologie	365	5.4.6.5	Begrannung	389
5.1.3	Fortpflanzungsbiologie	366	5.4.7	Sortenentwicklung	389
5.1.4	Kreuzungstechnik	368	5.5	Knaulgras (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	390
5.1.5	Zuchtmethoden	369	5.5.1	Bedeutung und Verbreitung	390
5.1.6	Zuchtziele	371	5.5.2	Abstammung	391
5.1.6.1	Resistenz	371	5.5.3	Cytologie	391
5.1.6.2	Futterwert	372	5.5.4	Fortpflanzung und Fertilitätsverhältnisse	391
5.1.6.3	Andere Zuchtziele	372	5.5.5	Zuchtmethoden	391
5.1.7	Sortenentwicklung	372	5.5.6	Sortenentwicklung	392
5.1.8	Saatguterzeugung	373	5.6	Rispengräser (<i>Poa spec.</i>)	393
5.2	Rotklee (<i>Trifolium pratense</i> L.)	373	5.6.1	Bedeutung und Verbreitung	393
5.2.1	Bedeutung und Verbreitung	373	5.6.2	Abstammung	393
5.2.2	Systematik, Abstammung und Cytologie	373	5.6.3	Cytologie und Befruchtungsverhältnisse	393
5.2.3	Fortpflanzungsbiologie	374	5.6.4	Zuchtmethoden	395
5.2.4	Zuchtmethoden	375	5.6.5	Zuchtziele	396
5.2.5	Zuchtziele	376	5.6.6	Sortenentwicklung	396
5.2.6	Sortenentwicklung	378		Literatur	397
5.2.7	Saatguterzeugung	379	5.7	Kruziferen - W. SCHUSTER	398
5.3	Andere Futterleguminosen	379	5.7.1	Kohlrübe	398
5.3.1	Weißklee (<i>Trifolium repens</i> L.)	379	5.7.1.1	Bedeutung und Verbreitung	398
5.3.2	Schwedenklee (<i>Trifolium hybridum</i> L.)	380	5.7.1.2	Abstammung, Systematik und Cytologie	399
5.3.3	Inkarnatklee (<i>Trifolium incarnatum</i> L.) und Pfeilblattklee (<i>Trifolium vesiculosum</i> Savi)	380	5.7.1.3	Blüh- und Fortpflanzungsbiologie	399
5.3.4	Alexandrinklee (<i>Trifolium alexandrinum</i> L.)	380	5.7.1.4	Zuchtziele	399
			5.7.1.5	Zuchtmethoden	400

Simon	Allgemeines, Fortpflanzungsbiologie, Zuchtmethoden und -ziele	351
5.7.2	Wasser-, Stoppel- oder Herbstrübe	401
5.7.2.1	Bedeutung, Abstammung und Systematik	401
5.7.2.2	Blüh- und Befruchtungsbiologie	401
5.7.2.3	Zuchtziele	402
5.7.2.4	Zuchtmethoden	403
5.7.3	Futterkohl	403
5.7.3.1	Bedeutung, Verbreitung und Nutzung	403
5.7.3.2	Variabilität, Abstammung und Systematik	403
5.7.3.3	Fortpflanzungs- und Blütenbiologie	404
5.7.3.4	Zuchtziele	404
5.7.3.5	Zuchtmethoden	405
5.7.4	Kruziferen für den Stoppelfruktanbau	405
5.7.4.1	Bedeutung und Verbreitung	405
5.7.4.2	Zuchtziele	406
5.7.4.3	Zuchtmethoden	407
5.7.4.4	Raps	408
5.7.4.5	Rüben	409
5.7.4.6	Ölrettich	409
5.7.4.7	Weißer Senf	410
5.7.4.8	Schwarzer Senf	411
5.7.4.9	Sarepta-Senf oder Brauner Senf	412
5.8	Phazelic, Büschelschön	413
5.8.1	Bedeutung, Verbreitung, Abstammung und Systematik	413
5.8.2	Blüten- und Befruchtungsbiologie	414
5.8.3	Züchterische Bearbeitung	414
5.8.3.1	Zuchtziele	414
5.8.3.2	Zuchtmethoden	415
	Literatur	415

5.0 Allgemeines zur Fortpflanzungsbiologie, zu Zuchtmethoden und -zielen

5.0.1 Kleeartige Futterpflanzen

5.0.1.1 Bedeutung und Verbreitung

Die kleeartigen Futterpflanzen unterscheiden sich mit den Futtergräsern von den meisten wichtigen Kulturpflanzenarten dadurch, daß nicht in erster Linie Vermehrungsorgane wie Samen, Früchte oder Knollen, sondern die gesamte oberirdische Pflanzenmasse das angestrebte Ernteprodukt darstellen. Vertreter dieser außerordentlich mannigfaltigen Artengruppe sind den verschiedensten Klimazonen, Anbau- und Nutzungssystemen angepaßt, so daß kleeartige Futterpflanzen heute weltweit verbreitet sind, wiewohl ihr Anbauswerpunkt im gemäßigten Klimabereich liegt.

Einige Arten, wie z. B. die Luzerne, wurden bereits im klassischen Altertum kultiviert. Andere werden erst seit dem vergangenen Jahrhundert angebaut. Aber auch heute ist die Inkulturnahme noch nicht abgeschlossen. Beispiele hierfür sind die Einführung des Persischen Klees in die Bundesrepublik Deutschland um die Mitte der 60er Jahre dieses Jahrhunderts oder die anhaltenden internationalen Bemühungen um die Auffindung, Sammlung und Evaluierung von bisher ungenutzten tropischen Futterleguminosen. In bezug auf die Lebensdauer gibt es fließende Übergänge von ausdauernden bis zu kurzlebigen, sommerannuellen Arten. Manche eignen sich mehr für die Weidenutzung, andere besonders für die Mahd. Viele besitzen ein ausgeprägtes vegetatives Regenerationsvermögen und ermöglichen mehrere Ernten vom gleichen Pflanzenstand. Nur wenige sind zur Ansaat von Dauergrünland geeignet. Die meisten werden auf dem Acker im Rahmen der Fruchtfolge teils in Reinsaat, teils gemischt mit Gräsern überwiegend als Hauptfrucht, aber

auch als Zwischenfrucht angebaut, wobei manchmal auf die Verfütterung verzichtet und stattdessen die gebildete Pflanzenmasse als Gründüngung untergepflügt wird.

Kleeartige Futterpflanzen benötigen keine Stickstoffdüngung, da sie ihren Bedarf vollständig von dem aus der Luft gewonnenen Stickstoff, den die mit ihnen symbiotisch lebenden Rhizobiumbakterien liefern, zu decken vermögen. Infolge ihres relativ hohen Eiweißgehaltes, im Durchschnitt enthält die Pflanzentrockenmasse etwa 20 % Rohprotein, zählen kleeartige Futterpflanzen zu den wichtigsten wirtschaftseigenen Eiweißlieferanten. Außerdem tragen sie mit ihren überdurchschnittlich hohen Rückständen an stickstoffreicher organischer Substanz zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei. Sie gelten im Rahmen der Fruchtfolge als »Gesundungsfrüchte«.

Was den Umfang und die Verbreitung dieser Pflanzenarten im praktischen Anbau betrifft, ist man auf Schätzungen angewiesen, da im Gegensatz zu den wichtigen Verkaufsfrüchten globale statistische Angaben fehlen. In der Bundesrepublik Deutschland nahmen beispielsweise Klee und Luzerne 1980 mit rund 200 000 ha knapp 3 % der Ackerfläche ein (Statistisches Bundesamt 1981). Allgemein ist in Europa der Klee- und Luzerneanbau zugunsten des Mais im Rückgang begriffen. Die künftige Wertschätzung der kleeartigen Futterpflanzen wird weitgehend von der Kostenentwicklung der Stickstoffdünger und der marktgängigen Eiweißfuttermittel abhängen. Von den zahlreichen Arten führt, sowohl was ihre praktische Bedeutung als auch die Intensität der züchterischen Bearbeitung anlangt, zweifellos die Luzerne. Eine zusammenfassende Übersicht der wichtigsten züchterisch bearbeiteten Arten enthält *Tabelle 5.1*: Eine ins einzelne gehende Darstellung geben ROEMER & RUDOLF (1959).

Systematik und Abstammung

Die hier behandelten Arten gehören taxonomisch-systematisch innerhalb der Ordnung Hü-

Tab. 5.1: Züchterisch bearbeitete kleeartige Futterpflanzen

Name	deutsch	1	2	3	4
<i>Coronilla varia</i> L.	Bunte Kronwicke	■	F	24	T
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Hornschotenklee	■	F	24	T
<i>Lotus uliginosus</i> Schk.	Sumpfschotenklee	■	F	12	D
<i>Medicago lupulina</i> L.	Gelbklee	⊙, ⊙	F	16, 32	D, T
<i>Medicago sativa</i> L.	Saatluzerne	(■), ■	F, (F), (S)	32	T
<i>Melilotus alba</i> Med.	Weißer Steinklee	⊙	F, (S)	16	D
<i>Melilotus officinalis</i> L. Pall.	Gelber Steinklee	⊙	F	16	D
<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.	Esparsette	■	F	28	T
<i>Ornithopus sativus</i> Brot.	Serradella	⊙	S	14	D
<i>Trifolium alexandrinum</i> L.	Alexandrinerklee	⊙	F	16	D
<i>Trifolium hybridum</i> L.	Schwedenklee	⊙, ⊙, (■)	F	16	D
<i>Trifolium incarnatum</i> L.	Inkarnatklee	⊙	F	14	D
<i>Trifolium pratense</i> L.	Rotklee	⊙, ⊙, (■)	F	14	D
<i>Trifolium repens</i> L.	Weißklee	■	F	32	T
<i>Trifolium resupinatum</i> L.	Persischer Klee	⊙	F, (S)	16	D
<i>Trifolium subterraneum</i> L.	Bodenfrüchtiger Klee	⊙	S	12, 16	D
<i>Vicia pannonica</i> Crantz	Pannonische Wicke	⊙	S, F	12	D
<i>Vicia sativa</i> L.	Saatwicke	⊙	S	12	D
<i>Vicia villosa</i> Roth	Zottelwicke	⊙	F	14	D

1 Lebensdauer: ⊙ einjährig, ⊙ zweijährig, ■ ausdauernd

2 Befruchtung: F = fremd, (F) = vorwiegend fremd, (S) = vorwiegend selbst, S = selbst

3 2n nach DARLINGTON & WYLLIE (1961), HAYES et al. (1955) und TISCHLER (1950)

4 Ploidie: D = diploid, T = tetraploid

senfrüchtler (*Fabales* = *Leguminosae*) zur Familie der Schmetterlingsblütler (*Fabaceae* = *Papilionaceae*). Ihre Heimat sind die eurosibirische Waldregion sowie das mediterrane und das pontisch-zentralasiatische Florengebiet, wo die meisten noch heute ursprünglich (wild) vorkommen. Tropische Futterleguminosen sind vornehmlich in Südamerika beheimatet.

5.0.1.2 Fortpflanzungsbiologie

Kleeartige Futterpflanzen vermehren sich im Normalfall durch Samen, die nach Bestäubung und Befruchtung der Blüten in charakteristischen Früchten gebildet werden. Die Gestalt der Blüte ähnelt einem Schmetterling (*Papilio*). Sie besteht aus zwei langgestreckten, zum sogenannten Schiffchen mehr oder weniger verwachsenen Blütenblättern, die von zwei seitlich angeordneten Petalen, den Flügeln, flankiert werden. Darüber befindet sich die Fahne oder Standarte. An ihrer Basis sind die Blütenblätter miteinander zu einer Röhre verwachsen, die in einem Kelch steckt. Im Schiffchen ist der Geschlechtsapparat, bestehend aus dem Fruchtknoten mit dem langgestreckten Griffel und der Narbe sowie den Staubfäden, eingeschlossen. Die zehn Staubgefäße umschließen röhrenförmig den Griffel. Die auffällig rot, rosa, weiß, gelb oder blau gefärbten Blüten sind meist zu mehreren in end- oder blattachselständigen Köpfchen (*Trifolium*), Trauben (*Medicago*, *Melilotus*) oder Dolden (*Lotus*) zusammengefaßt. Voll erblüht entströmt manchen ein mehr oder weniger starker Duft. Am Grunde der Blütenkronenröhre sammelt

sich gewöhnlich Nektar an. Somit sind die Blüten dazu eingerichtet, pollen- und/oder nektarsammelnde Insekten anzulocken, die beim Blütenbesuch zugleich als Bestäuber fungieren. Das begünstigt Fremdbefruchtung, und in der Tat ist Fremdbefruchtung bei den meisten Arten die Regel (Tab. 5.1). Wichtigstes bestäubendes Insekt ist neben zahlreichen Hummelarten die Honigbiene. Neuerdings verwendet man für planmäßige Kreuzungen, aber auch in der feldmäßigen Saatguterzeugung verschiedene solitär lebende Arten wie z. B. die Blattschneider- (*Megachile spec.*) und Alkalibienen (*Nomia spec.*). Läßt sich ein bestäubendes Insekt auf der voll entwickelten Blüte nieder, so tritt die Narbe aus der Spitze des Schiffchens hervor und kann von mitgebrachtem Pollen bestäubt werden. Zugleich belädt sich die Biene mit dem Pollen der besuchten Blüte. Der Bestäubungsmechanismus ist nicht selten kompliziert. Die Bestäubung der Luzerne erfordert beispielsweise die Auslösung eines Explosionsmechanismus. Bei den *Lotus*-arten herrscht das Nudelspritzenprinzip vor. Das Bürstenprinzip gilt für den Rotklee.

Eine wirksame Bestäubung ist also in der Regel an drei Voraussetzungen geknüpft: Es müssen bestäubungsbereite Blüten vorhanden sein, es muß eine genügend große Population bestäubender Insekten zur Verfügung stehen, günstige atmosphärische Bedingungen müssen den Insektenflug ermöglichen. Es ist keineswegs selbstverständlich, daß alle drei Voraussetzungen gleichzeitig zutreffen. Wenn eine davon fehlt, was in der Praxis leider oft der Fall ist, unterbleibt die Samenbildung. Für den Züchter bedeutet dies vermehrter Aufwand und erhöhtes Erfolgsrisiko.

Verschiedene Formen der Selbstinkompatibilität bzw. Selbststerilität verhindern bei fremdbefruchtenden kleeartigen Futterpflanzen die spontane Selbstung. In Rotklee, Schwedenklee und Weißklee ist hierfür ein System multipler Sterilitätsallele verantwortlich. Enthalten Griffel und der auf der Narbe befindliche Pollen gleiche S-Allele, wie es bei Selbstbestäubung normalerweise der Fall ist, so vermag der Pollen zwar zu keimen, aber das Pollenschlauchwachstum hört schon vor Erreichen der Eizelle auf, so daß sie nicht befruchtet wird (Abb. 5.1).

Die meisten Arten lassen sich unschwer auch vegetativ vermehren (verklonen). Das ist für die praktische Züchtungsarbeit von Vorteil. Das Verklonen erlaubt nämlich, von einem Genotyp beliebig viele genetisch identische Individuen herzustellen, sie gleichzeitig verschiedenen Umwelten auszusetzen, und den Genotyp über einen längeren Zeitraum, z. B. bis zum Abschluß einer Nachkommenschaftsprüfung, am Leben zu erhalten. Einige unserer eigenen Luzerneklone haben inzwischen ein Alter von 25 Jahren erreicht. Man vermehrt die Pflanzen vegetativ in der Regel durch Herstellung von 1–2 cm langen Stengelstücken mittels eines scharfen Instruments (Rasierklinge), wobei auf eine glatte Schnittfläche zu achten ist. Jüngere Triebe eignen sich besser als ältere. Es genügt, wenn die Stecklinge ein junges, voll entwickeltes Blatt aufweisen. Bei Rotklee und Luzerne können auch noch nicht ausgetriebene Sproßknospen der Wurzelkrone sehr gut benutzt werden. Eine dritte Möglichkeit bieten bei diesen Arten Wurzelrißlinge mit kurzen Sproßteilen.

Die Stecklinge müssen sich möglichst rasch kräftig bewurzeln. Zu diesem Zweck steckt man sie mit dem Basisteil etwa 1 cm tief in geeignetes Substrat, wofür verschiedene Materialien zur Verfügung stehen. Gute Erfahrungen liegen mit Sand, Torf, Torfkultursubstrat, Vermikulit, Perlit, aber auch porösen Kunststoffen vor. Eine schnelle kräftige Bewurzelung der empfindlichen

Stecklinge ist nur zu erwarten, wenn mehrere Voraussetzungen erfüllt sind: Erstens muß die Wasserverwendung auf ein Minimum reduziert werden, indem die relative Luftfeuchtigkeit möglichst hoch gehalten wird. Zweitens muß im Basalbereich des Stecklings sowohl genügend Feuchtigkeit als auch Luftzutritt vorhanden sein. Diese Forderungen erfüllen grobporige, kapillarporöse Substrate am besten. Sehr gute Ergebnisse hat man mit einem periodisch wechselnden Zuführen und Ableiten von Wasser im Substrat erzielt. Drittens muß für die Photosynthese ausreichend Licht zur Verfügung stehen. Dies erfordert in den Wintermonaten November bis Januar in Mitteleuropa meistens Zusatzbeleuchtung. Die jungen Stecklinge sind durch schädliche Mikroorganismen gefährdet. Die Infektionsgefahr läßt sich verringern, wenn man steriles Substrat verwendet oder es mit einem Bodenentseuchungsmittel behandelt und die Schnittstelle der Stecklinge in ein Desinfektionsmittel taucht. Als vorteilhaft hat sich auch die Anwendung von Bewurzelungsmitteln (z. B. »Wurzel-fix«) erwiesen. Unter günstigen Bedingungen wird schon nach wenigen Tagen an der unteren Schnittstelle ein Kallusgewebe sichtbar, aus dem sich Wurzeln bilden. Nach zwei bis drei Wochen sind dann die Stecklinge so gut bewurzelt, daß sie verpflanzt werden können.

5.0.1.3 Zuchtmethoden

Die anzuwendenden Züchtungsmethoden werden durch die von den Anforderungen der Praxis abgeleiteten Zuchtziele bestimmt. Von ganz allgemeiner Bedeutung sind dabei der Ertrag, und zwar so wohl was die Ertragshöhe als auch die Ertragssicherheit betrifft — beides in bezug auf Futter- und Samenenergie —, sodann die Art der Nutzung (Frischverfütterung, Beweidung, Konservierung, Herstellung von Grünmehl etc.), und die Nutzungsdauer. Schließlich sollen die Qualitätsansprüche der verbrauchenden Tierarten, das sind vornehmlich die Wiederkäuer, berücksichtigt werden.

Das Züchtungsprogramm besteht generell aus vier Schritten, nämlich der Beschaffung des Ausgangsmaterials, der Selektion, der Prüfung und der Sortenbildung. Besondere züchtungstechnische Kunstgriffe, wie z. B. die Herstellung von Kreuzungen, Mutationen oder Polyploidien sind in diesem Schema zumeist bei Beschaffung des Ausgangsmaterials einzuordnen.

Ausgangsmaterial

Entscheidend für den Züchtungserfolg ist das Vorhandensein eines genügend umfangreichen Ausgangsmaterials, welches die gewünschten Merkmalsausprägungen beinhaltet bzw. erwarten läßt, daß die angestrebten Merkmalskombinationen zustande kommen. Als Ausgangsmaterial kommen Samen, Einzelpflanzen oder Populationen der folgenden in Betracht:

— Ökotypen entweder einheitlichen oder fremden Ursprungs. Den Standort- und Nutzungsverhältnissen angepaßte Ökotypen sind durch

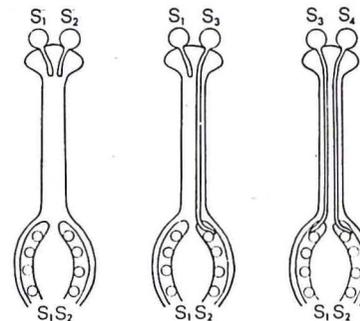


Abb. 5.1: Schema des Pollenschlauchwachstums bei paraterialen Pflanzen (aus HOFFMANN et al. 1970)

natürliche Auslese bereits vorselektiert. Auf solchem Material beruhen auch heute noch die meisten Zuchtsorten von Schwedenklee, Weißklee und Hornschotenklee.

- Landsorten. Als Folge der restriktiven Sortengesetzgebung sind in Deutschland Landsorten nahezu verschwunden. Aber Landsorten fremden Ursprungs haben ihre Bedeutung vor allem in der Luzernezüchtung noch keineswegs verloren.
- Zuchtsorten. Einen Überblick über das vorhandene Sortenspektrum bietet neben nationalen Sortenlisten u. a. die OECD-Sortenliste.
- Experimentell erzeugtes Pflanzenmaterial, wie z. B. künstlich hergestellte Mutanten, Polyploide, Inzuchtlinien und Kreuzungsnachkommenschaften.

Bezugsquellen für genetisches Ausgangsmaterial enthalten einschlägige Publikationen der FAO (1980, 1983).

Auslesezüchtung

Charakteristisch für die verschiedenen Verfahren der Auslesezüchtung — Massenauslese, Individualauslese oder beide kombiniert —, ist, daß sowohl auf eine Bestäubungslenkung als auch auf die Prüfung von Nachkommenschaften verzichtet wird. Diese Verfahren sind relativ einfach und waren zu Beginn der züchterischen Arbeit bei Futterleguminosen, als es galt, die vorhandenen Landsorten zu verbessern, erfolgversprechend. Altbekannte Sorten wie »Altfränkische Luzerne« oder »Odenwälder Rotklee« sind auf diese Weise entstanden. Hauptnachteile der Auslesezüchtung ist, daß die Selektion allein aufgrund der phänotypischen Beurteilung erfolgt. Es wird also der Erbwert der ausgewählten Pflanzen nicht erfaßt, und außerdem bleibt die männliche Komponente des Erbgutes unberücksichtigt. Es bedeutet daher eine züchtungstechnische Verbesserung, wenn die selektierten Pflanzen vor der weiteren Verwendung einer Klonbeobachtung unterzogen werden; denn durch die Verklonung werden spezifische, kleinräumige Standortseinflüsse weitgehend ausgeglichen und man erhält ein sichereres Urteil über den Wert der Pflanze an sich. Man kann die Klontpflanzen entweder in größerem Pflanzabstand aufs Feld bringen, oder durch enge Pflanzung einen gesäten Bestand simulieren. Der Wert der Klonbeobachtung als Auslesemaßnahme hängt entscheidend von der Erblichkeit der zu verbessernden Merkmale ab; und gerade für das Merkmal Ertrag ist die Heritabilität im allgemeinen gering. Immerhin können

durch die Einschaltung einer Klonbeobachtung eindeutig unerwünschte Typen besser erkannt und ausgemerzt werden.

Als besonderes Verfahren der Auslesezüchtung kommt der Mutterstammbaumzüchtung (HOFFMANN et al. 1971) bei kurzlebigen Arten oder bei Schwierigkeiten in der Klonherstellung bzw. -erhaltung noch immer eine wichtige Rolle zu. Nachteilig ist aber auch hier die unzureichende Bestäubungslenkung, d. h. das väterliche Erbgut wird bei der Selektion kaum berücksichtigt. Außerdem reicht das Einzelpflanzensaatgut für Nachkommenschaftsprüfungen meist nicht aus.

Kreuzungzüchtung

Im Gegensatz zu den unkontrolliert entstehenden Kreuzungen bei der Auslesezüchtung werden hier die Kreuzungen planmäßig durchgeführt. Von den verschiedenen, bei kleeartigen Futterpflanzen praktizierten Möglichkeiten seien hier nur die Pärchenkreuzung und die Artkreuzung erwähnt. Die Pärchenkreuzung ist ein Verfahren, das insbesondere in Skandinavien bei Rotklee Anwendung findet. Vorselektierte, möglichst wenig verwandte Kreuzungspartner werden isoliert von anderen miteinander gepaart. Hierfür verwendet man Kabinengewächshäuser oder Isolierkäfige, die bestäubende Insekten enthalten. Die einzelnen Kreuzungsnachkommenschaften werden Leistungsprüfungen unterworfen und die besten selektiert. Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt, wobei darauf zu achten ist, daß die neu zu bildenden Paare verschiedenen Ursprungs Kreuzungen entstammen, um Inzuchtdepressionen zu vermeiden. Artkreuzungen spielen vor allem bei Luzerne eine praktisch bedeutsame Rolle.

Polycrosszüchtung

Die Polycrosszüchtung ist das bevorzugte Verfahren bei langlebigen und leicht verklonbaren Arten wie Luzerne, Weißklee und Hornschotenklee. Manche Autoren betrachten sie als Variante der Heterosiszüchtung. Sie ist zweifellos aufwendiger als die Auslesezüchtung, aber auch wirkungsvoller, weil sie mehrere züchtungstechnische Kunstgriffe in sich vereinigt, nämlich Beobachtung ausgewählter Pflanzen in verklontem Zustand, Vermehrung der Pflanzen durch gelenkte Bestäubung und Prüfung der Nachkommenschaften. Um die gleichmäßige Durchkreuzung der Pflanzen sicherzustellen, bedarf es eines bestimmten Polycross-Anlageplans. WRIGHT (1961) hat hierfür ein Schema entwickelt, aufgrund dessen man für feststehende Grundzahlen

(Primzahl -1) eine optimale Verteilung der Pflanzen im Polycross erreichte. Man setzt voraus, daß alle im Polycross enthaltenen Pflanzen durch das gleiche Pollengemisch bestäubt werden. Unterschiede zwischen den Nachkommenschaften müssen dann durch die erbliche Veranlagung der mütterlichen Eltern, d. h. der samentragenden Klone, bedingt sein. Mit dem geernteten Saatgut wird die Polycross-Nachkommenschaftsprüfung durchgeführt. Hier soll das erblich verankerte, auf die Nachkommenschaft übertragbare Leistungsvermögen der Mutterpflanzen (Klone) beurteilt werden. Man spricht von der Prüfung der allgemeinen Kombinationseignung, worunter man das relative Leistungsvermögen der Nachkommenschaft eines Genotyps im Durchschnitt vieler Kreuzungen versteht (vgl. Kap. Fremdbefruchter 1.0.2).

Als Endergebnis des Polycross-Verfahrens entsteht die synthetische Sorte. Sie wird in der Regel durch die Verkreuzung einer Anzahl von Klonen mit guter allgemeiner Kombinationseignung gebildet und wird zeit ihres Lebens immer wieder aus den in ihr enthaltenen Klonen neu konstituiert. Die erste, durch Verkreuzung der Klone entstandene Vermehrungsgeneration bezeichnet man als Syn_1 -Generation. An den Verbraucher gelangt in der Regel Syn_2 -Saatgut. Für den Züchter stellt sich die Frage, wieviele Klone zur Herstellung einer synthetischen Sorte benutzt werden sollen und wie die Zahl der Komponenten den Ertrag in den Folgegenerationen beeinflusst. Für die Syn_2 -Generation läßt sich die Frage theoretisch mit Hilfe der Sewall-Wright-Formel beantworten:

$$\hat{F}_2 = \bar{F}_1 - [(F_1 - \bar{P}) / n]$$

wobei \hat{F}_2 = Ertrag der Syn_2 -Generation
 \bar{F}_1 = Ertrag der Syn_1 -Generation
 \bar{P} = Durchschnittsertrag der Eltern (Klone)
 n = Zahl der Eltern (Klone)

Demgemäß ist ein Ertragsrückgang von Syn_1 zu Syn_2 zu erwarten, dessen Größe von dem Ertrag der F_1 - bzw. Syn_1 -Generation, dem Ertrag der Elternklone und der Zahl der Elternklone abhängt. Was die Zahl der Klone betrifft, wird der Leistungsabfall von Syn_1 zu Syn_2 umso geringer sein, je mehr Klone die synthetische Sorte enthält. Dem steht jedoch entgegen, daß eine vermehrte Klonzahl unter der Voraussetzung, daß jeweils die leistungsfähigsten Klone ausgewählt werden, sowohl den Durchschnittsertrag der Eltern als auch die Leistung der Syn_1 -Generation senkt. Somit hängt der Effekt der Klonzahl von der mit ihr in Wechselbeziehung stehen-

den Eltern- und Syn_1 -Leistung ab. In der Praxis hält man Klonzahlen von 4–10 zur Bildung synthetischer Sorten für optimal (vgl. Kap. 1.0.2), aber es gibt auch Sorten, die aus über 100 Klonen zusammengesetzt sind. Nach dem Hardy-Weinberg-Gesetz ist nach der Syn_2 -Generation kein weiterer Ertragsabfall zu erwarten. Dies stimmt allerdings nur, wenn die Voraussetzungen für die Gültigkeit des Gesetzes zutreffen, z. B. unbeschränkte Panmixie. Da aber der Grad der möglichen Abweichung von der Panmixie in der Praxis meist nicht bekannt ist, läßt sich auch die Ertragsänderung von der Syn_2 zur Syn_3 -Generation nur schwer voraussagen.

Hybridzüchtung

Die klassische, bei Mais zur Perfektion gebrachte Form der Hybridzüchtung mit dem Ziel der maximalen Nutzung der Heterosis hat sich bei kleeartigen Futterpflanzen aus verschiedenen Gründen noch nicht durchsetzen können: Erstens stößt die Herstellung von Inzuchtlinien bei Selbstinkompatibilität auf Schwierigkeiten. Zweitens sind aus blütenbiologischen Gründen Selbstungen und Kreuzungen sehr viel schwieriger herzustellen. Drittens sind die Probleme der Hybridsaatguterzeugung noch nicht gelöst. Tatsächlich ist es bisher nicht gelungen, von Kleearten echte Hybridsorten für die Praxis zu entwickeln. Am meisten hat man sich mit der Hybridzüchtung bei der Luzerne befaßt.

Polyploidiezüchtung

Autotetraploide Formen weisen gewöhnlich vergrößerte Zellen auf, woraus eine üppigere Massenentwicklung mit Aussicht auf höhere Ertragsleistung resultiert. Außerdem ist von den in der Natur vorkommenden Polyploiden bekannt, daß sie eine größere ökologische Anpassungsfähigkeit als ihre diploiden Verwandten besitzen. Die künstliche Chromosomenverdoppelung mittels Colchizin ermöglicht es, die positiven Effekte der Polyploidie züchterisch zu nutzen. Es ist unbedingt erforderlich, ein bereits vorselektiertes, breites Ausgangsmaterial zu verwenden, da die erwünschten Merkmalskombinationen in diploidem Zustand mit größerer Wahrscheinlichkeit als in tetraploidem auftreten. Dennoch stellt das colchizinierte Zuchtmaterial erst die Grundlage für weitere Selektion mit Nachkommenschaftsprüfung dar. Tetraploide Pflanzen erhält man durch 24-stündiges Eintauchen von keimenden Samen oder durch mehrfaches Betupfen des Vegetationspunktes junger Keimpflanzen mit 1%iger Colchizininlösung. Der Anteil polyploider Pflanzen unmittelbar nach Colchizininierung beträgt meist nur wenige Prozent. Häufig werden auch Chimären gebildet, d. h. ein und dasselbe Indivi-

duum besteht sowohl aus diploidem als auch aus tetraploidem Pflanzengewebe. Die erste Aufgabe des Züchters ist es infolgedessen, die künstlich hergestellte tetraploide Population von diploiden Typen und Chimären zu befreien. Dies geschieht zunächst anhand morphologischer Merkmale, weil tetraploide Formen sich von diploiden u. a. durch viel größere Zellen, Spaltöffnungen, Pollen- und Samenkörner unterscheiden. Absolute Gewißheit verschafft indes nur die Chromosomenuntersuchung. Die Aussicht, durch Colchizininierung leistungsfähigere Formen zu finden, sind offenbar artbedingt. Während z. B. bei Rotklee und Schwedenklee gute Erfolge erzielt wurden, sind die Ergebnisse in anderen Arten bisher unbefriedigend. Neben der auffälligen Vergrößerung der Pflanzenorgane hat die Polyploidisierung auch meist positiv zu wertende Änderungen in der chemischen Zusammensetzung und anderen wertbestimmenden Merkmalen zur Folge. Wasser- und Rohproteingehalt sowie die Verdaulichkeit nehmen zu, der Rohfasergehalt vermindert sich. Ausdauer, Winterhärte und Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten sind in tetraploiden Kleesorten in Vergleich mit diploiden deutlich verbessert (SIMON 1970). Den Vorzügen steht als Nachteil eine verminderte Fruchtbarkeit gegenüber, die bei tetraploidem Rotklee besonders ausgeprägt ist. Deswegen ist die Wirtschaftlichkeit der Saatgutproduktion oft in Frage gestellt, und dies ist wohl der Hauptgrund, weshalb tetraploide Kleesorten in der landwirtschaftlichen Praxis noch nicht die Stellung erreicht haben, die ihnen in Anbetracht der unbestreitbaren Vorteile zukommen.

5.0.1.4 Zuchtziele

Die Zuchtziele leiten sich von den Erfordernissen des Pflanzenbaues, der Art der Nutzung und der Art der Verwertung ab. Infolgedessen muß das Zuchtprogramm unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt werden. Diese Forderung ist zwar simpel, aber nicht immer leicht zu erfüllen; denn erfahrungsgemäß muß man mit einem Zeitraum von etwa 20 Jahren rechnen, bis das ursprüngliche Zuchtmaterial als fertige Sorte den Verbraucher erreicht. Man kann nur vermuten, welche Forderungen dann die Praxis an das Zuchtprodukt stellen wird. Einen Überblick über die erwünschten Idiotypen von Luzerne und Klearten im Jahr 2000 gibt die Tschechoslowakische Akademie für Landwirtschaft (1979).

Ertrag

In jedem praxisorientierten Zuchtprogramm steht das Zuchtziel Ertrag an erster Stelle. Der Ertrag selbst kann als Frisch- oder Trockenmasse

oder auch in Form von verdaulicher Substanz, Stärkeeinheiten bzw. Nettoenergielaktationseinheiten gemessen werden. Allzuleicht wird übersehen, daß eine brauchbare Sorte in stand sein muß, genügend Samen zu bilden. Besonders für länger lebende Arten ist eine hinreichende Ertragssicherheit zu fordern. Ertragshöhe und -sicherheit werden durch die Kulturbedingungen entscheidend beeinflusst. Dazu gehören sowohl die Faktoren der natürlichen Umwelt (Klima, Boden, Nützlinge und Schädlinge) als auch der menschlichen Einflußnahme wie Art, Dauer, Häufigkeit und Zeitpunkt der Nutzung, Höhe der Nährstoffzufuhr, Rein- oder Gemengeanbau. Der Ertrag kann züchterisch entweder direkt durch die Vermehrung der Pflanzenmasse je Flächen- und Zeiteinheit oder indirekt durch die Verminderung ertragsschädigender Einflüsse verbessert werden. Zusätzlich ist bei mehrschnittigen Arten die Ertragsverteilung in der Vegetationsperiode von Bedeutung, die wiederum vom Nachwuchsvermögen abhängt.

Die direkten Methoden beginnen bereits mit der Wahl eines Ausgangsmaterials von möglichst hoher Leistung. Weitere Fortschritte können erwartet werden, wenn es gelingt, durch planmäßige Kreuzung Heterosis zu erzielen. Die dritte Möglichkeit der direkten Vermehrung der Pflanzenmasse, die Polyploidisierung, wurde schon im Abschnitt 5.0.1.3 behandelt. Zu den Grundkomponenten des Samenertrages — Zahl der fruchtbaren Triebe/m², Zahl der Samenanlagen/Trieb, Korngericht — kommen als weitere Möglichkeiten der direkten Ertragssteigerung die Verbesserung der Attraktivität für bestäubende Insekten sowie der Ausreifungsgrad befruchteter Eizellen.

Die indirekte Methode der Ertragssteigerung kann allgemein mit Züchtung auf Resistenz gegen ungünstige Umwelteinflüsse im weitesten Sinn umschrieben werden. Die Verminderung ertragsschädigender Umwelteinflüsse ist oft wichtiger als die direkte Ertragssteigerung. Resistenzzüchtung setzt jedoch voraus, daß die ungünstigen Einflüsse tatsächlich auftreten. Im wintermilden Klima kann nicht auf Winterhärte selektiert werden, es sei denn, man wendet teure Labormethoden an oder man prüft das Zuchtmaterial auf entsprechenden Standorten. Die zahlreichen Zuchtziele können hier nur angedeutet werden. Die Resistenzzüchtung kann sich sowohl auf abiotische als auch biotische Faktoren erstrecken. Schädigende abiotische Einflüsse gehen von extremen Bedingungen entweder des Klimas (Temperatur, Niederschlag, Länge der Wachstumszeit) oder des Bodens (Wasserhaushalt, Nährstoffgehalt, Säuregrad) aus. Unter den zahl-

reichen biotischen Einflüssen sind Schadorganismen wie Viren, Bakterien, Pilze, Nematoden und Insekten zu nennen. Die genannten Faktoren können sich im-Prinzip auch unheilvoll auf den Samenertrag auswirken. Dies gilt nicht nur in bezug auf die Pflanze, sondern auch was die Aktivität der bestäubenden Insekten betrifft. Hinzu kommt die Empfindlichkeit des Zuchtmaterials gegenüber der Photoperiode, was bei der weit verbreiteten Saatgutvermehrung in geographischen Breiten mit verkürzter Tageslänge von großer Bedeutung sein kann.

Qualität

Die Verbesserung des Futterwertes ist von seiten der Praxis erwünscht, gleichwohl aber züchterisch schwer zu erreichen. Das ist zum einen in der Komplexität des Begriffes Futterwert selbst begründet. Die drei wichtigsten Komponenten sind Aufnahmefähigkeit, Verdaulichkeit und der Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen. Zu den letzten zählen Wasser, Eiweiß, Rohfaser und lebenswichtige Mineralstoffe. Hinzu können qualitätsmindernde Substanzen wie Östrogene, Saponine, Blausäure, Kuminarin oder blähend wirkende Stoffe treten. Daraus folgt, daß es unmöglich ist, züchterisch den Gesamtkomplex Futterwert gleichzeitig zu verbessern. Vielmehr wird es notwendig sein, das Zuchtziel im einzelnen vorher festzulegen. Glücklicherweise sind einige wichtige Qualitätskomponenten wie Verdaulichkeit, Eiweißgehalt, Rohfasergehalt und Aufnahmefähigkeit eng miteinander korreliert, so daß erwartet werden kann, daß mit der Verbesserung des einen Faktors auch die anderen vorteilhaft beeinflusst werden.

Ein weiteres Problem stellt die Tatsache dar, daß anders als bei Feldfrüchten wie Getreide, Kartoffeln oder Zuckerrüben die kleeartigen Futterpflanzen nicht gernetet werden, wenn ihre Entwicklung abgeschlossen ist, sondern inmitten eines rasch verlaufenden Wachstumsprozesses, währenddessen sich auch die Qualitätsmerkmale ändern. Unterscheiden sich die zu vergleichenden Genotypen an einem bestimmten Tag in ihrem Entwicklungszustand, so können Qualitätsdifferenzen durch die unterschiedliche Entwicklung des Pflanzenmaterials bedingt sein. Um diese Fehler zu vermeiden, wird empfohlen, die Pflanzen in einem einheitlichen Wachstumsstadium zu vergleichen. Die Resultate beider Vergleichsmöglichkeiten können durchaus verschieden sein. Qualitätsuntersuchungen sind kostspielig. Das früher praktizierte Verfahren, vom Blattreichtum auf die Futterqualität zu schließen, hat sich als zu ungenau erwiesen, um daraus zuverlässige Schlüsse ziehen zu können. Die zusätzlichen Aufwendungen für die Qualitätsuntersuchung müssen dem möglichen Züchterfolg und, für den praktischen Züchter noch

wichtiger, dem zu erwartenden wirtschaftlichen Gewinn gegenübergestellt werden. Erbliche Qualitätsmerkmale spielen auch beim Saatgut eine Rolle. Beispielsweise ist das Korngewicht positiv mit der Jugendentwicklung der Pflanze korreliert. Bei Rotklee kann auf unterschiedliche Samenfarbe selektiert werden. Hartschaligkeit ist bei manchen Klearten erwünscht, bei anderen nicht.

Die einzuschlagende Zuchtmethode hängt von den zu bearbeitenden Qualitätsmerkmalen ab. Zum Beispiel lassen sich Eiweißgehalt und Verdaulichkeit, wie erwähnt, durch Polyploidisierung erhöhen. In anderen Fällen kann das Ziel durch Kreuzung erreicht werden. Bei allen Anstrengungen, die Qualität züchterisch zu verbessern, darf die Gefahr, dadurch den Ertrag zu beeinträchtigen, nicht unterschätzt werden.

Art der Nutzung

Futterleguminosen können in sehr verschiedener Weise genutzt werden. Sie werden z. B. wahlweise entweder in Reinsaat oder in Gemengen mit anderen Arten angebaut. Mischsaat stellt höhere Anforderungen an die Konkurrenzkraft der Partner als Reinsaat. Sofern also das Zuchtprodukt vorwiegend in Gemengen verwendet werden soll, wird es zweckmäßig sein, die Wettbewerbsfähigkeit im Züchtungsprogramm zu berücksichtigen. Die erforderliche Lebensdauer des Materials wird durch die erwünschte Nutzungsdauer bestimmt. Sie wird einerseits durch den genetisch festgelegten Entwicklungsablauf der Pflanzen (z. B. ein- und mehrschnittiger Alexandrinerklee), andererseits durch unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber schädigenden Umweltfaktoren begrenzt. Hinzu kommen spezielle Einflüsse der Bewirtschaftung und Nutzung. Vermehrte Schnittzeit, größere Viehdichte bei Weidgang, verstärkter Einsatz schwerer Landmaschinen und nicht zuletzt steigende Stickstoffdüngung in Mischbeständen beeinträchtigen die Persistenz der Klearten. Dieser verstärkten Beanspruchung hat der Züchter Rechnung zu tragen. Das erfordert die sorgfältige Analyse der im vorgesehenen Anbaubereich wirksamen Strebfaktoren, eine entsprechend gezielte Auswahl des Ausgangsmaterials und die Selektion und Prüfung des Zuchtmaterials unter den im Anbaubereich vorherrschenden Bedingungen.

Literatur

- DARLINGTON, C. D., & A. P. WILIE, 1961: Chromosome atlas of flowering plants. 2nd ed., 2nd impr. London: George Allen & Unwin.
FAO, 1980: World list of seed sources. FAO, AGP: SIDP/79/14, 102 p.

- , 1983: Directory of European Institutions holding crop genetic resources collections. 2nd ed.
- HAYES, H. K., F. R. IMMER, & D. C. SMITH, 1955: Methods of plant breeding. New York — London — Toronto: McGraw-Hill Book Co.
- HOFFMANN, W., A. MUDRÁ, & W. PLARRE, 1970: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Berlin — Hamburg: Verlag Paul Parey.
- ROEMER, TH., & W. RUDOLF, 1959: In: KAPPERT, H., & W. RUDOLF (Hrsg.), Handbuch der Pflanzenzüchtung, 2. Aufl., Bd. IV. Berlin — Hamburg: Verlag Paul Parey.
- SIMON, U., 1970: Polyploidie und Futterpflanzenzüchtung. Bayer. Landwirtschaft. Jahrb. 47, 131–159.
- TISCHLER, G., 1950: Die Chromosomenzahlen der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. 's Gravenhage: W. Junk.
- Statistisches Bundesamt, 1981: Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung. Stuttgart — Mainz: W. Kohlhammer Verlag.
- Tschechoslowakische Akademie der Landwirtschaft, 1979: Idiotypy lucerny a d'atelniny do roku 2000. Praha: Československá akademie zemědělská.
- WRIGHT, C. E., 1961: A systematic polycross design. Res. Exp. Rec. Min. Agr., Northern Ireland 1961, 11. Pt. I, 7–8.

5.0.2 Gräser

5.0.2.1 Bedeutung und Verbreitung

Die systematische Gräserzüchtung hat etwa um 1920 begonnen, vorher wurde der Grassamenbedarf meist durch die sogenannte »Heublumensaat«, zusammengekehrte Abfälle der Heuernte, gedeckt. Es sind daher nicht mehr als 50 Generationen, bei den meisten Gräsern weniger als 10 Generationen, züchterisch bearbeitet worden.

In den bisherigen Lehrbüchern der Pflanzenzüchtung ist die Gräserzüchtung ausschließlich unter dem Aspekt »Futtergräser« behandelt worden. Diese Vereinfachung läßt sich heute nicht mehr aufrecht erhalten. Die Nutzung der Gräser ist in der Zwischenzeit zu vielseitig geworden, eine neue Gliederung ist erforderlich. Derzeitige Nutzungsrichtungen sind:

1. Futterbau
 - a) Feldfutterbau
 - b) Weide
 - c) Wiese
2. Rasen
 - a) Zierrasen
 - b) Gebrauchsrasen
 - c) Sportrasen
 - d) technische Rasen

Um die dafür notwendigen Ziele zu erreichen, wird eine Vielzahl von Arten aus mindestens 43 Gattungen bearbeitet. Die Bedeutung der für die Bundesrepublik wichtigsten Arten wird aus *Tabelle 5.2* ersichtlich.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrages ist es nicht möglich, auf alle Gattungen oder gar Arten einzugehen. Beispielhaft für alle wurden deshalb Arten des

Tab. 5.2 Gräserzüchtung und -vermehrung in der Bundesrepublik Deutschland 1981

	Vermehrungsfläche ha	Saatgutbedarf t	Lizenz DM/dt
Weidelgräser	5 710	14 350	16–30
Schwingelarten	2 624	5 620	22–38
Rispengräser	16	2 950	28–45
Lieschgras	785	1 150	28–50
Straußgras	4	160	80
Hafergräser	265	135	35–80
Knaulgras	27	90	20–25
Trespen	—	70	—
Rohrglanzgras	—	2	—
Fuchsschwanz	—	0,5	—

mitteleuropäischen Klimabereiches ausgewählt (s. Kap. 5.4, 5.5, 5.6). Berücksichtigt worden sind:

1. *Lolium* spec. als diploide fremdbefruchtende Form mit einjähriger, überjähriger oder mehrjähriger Nutzung
2. *Dactylis* spec. als fremdbefruchtende tetraploide Form
3. *Poa* spec. als polyploide, apomiktische Form

Abstammung

Die echten Gräser oder Süßgräser gehören zu den Monokotyledonen, man kennt etwa 9000 Arten, die zu 700 Gattungen zusammengefaßt sind. Gräser sind Kosmopoliten, d. h. auf der gesamten Welt verbreitet. Trotzdem gehören sie mit zu den entwicklungsgeschichtlich jüngsten Pflanzen. Für die Pflanzenzüchtung sind neben den Getreidearten die in *Tabelle 5.3* erfaßten Gattungen von Interesse.

Bastarde zwischen verschiedenen Arten sind bei Gräsern auch in der Natur häufig. Das gleiche gilt für Gattungskreuzungen und auch für Kreuzungen zwischen verschiedenen Subtribi. Für den Züchter wird die Systematik der Gräser daher nur Hinweise auf die Kreuzungsfähigkeit geben, aber deren Schranken nicht aufzeigen.

Die Erforschung der optimalen Lebensbedingungen für Gräser steht erst am Anfang. Die Wechselwirkungen der Grasgattungen, -arten und -sorten untereinander und mit anderen Pflanzen unter den verschiedenen Anbaubedingungen sind so vielfältig, daß hier noch vieles erforscht werden muß. Symbiosen von Gräsern mit stickstoffsammelnden Mikroorganismen (Mais, Fuchsschwanz) sind bekannt, können wirtschaftlich aber bisher kaum genutzt werden.

Cytologie

Die niedrigste bei den Gräsern festgestellte Chromosomenzahl wurde bei *Zingera biebersteiniana* (Claus.) P. Smirn. mit $2n = 4$, also $x = 2$

gezählt (STUCZYŃSKI 1978). Sehr häufig treten die Basischromosomenzahlen 5, 6 und 7 auf. Aber auch die Zahlen von 9 bis 19 können nicht als Polyploide angesprochen werden, da bei den Chromosomen keine Homologien existieren. Polyploide sind bei den Gräsern häufig, in somatischen Zellen treten Chromosomenzahlen bis 266 auf.

Die Chromosomen der Gräser sind relativ groß und daher beliebte Untersuchungsobjekte der Cytologen. Das Vorkommen von B-Chromosomen ist bei vielen Arten nachgewiesen, in einigen Fällen konnten Merkmale diesen B-Chromosomen zugeordnet werden (SUBBA RAO & PANTULU 1978). Verständlicherweise sind in erster Linie cytologische Merkmale erfaßt worden, da

diese Arbeiten von Cytologen gemacht wurden (vgl. Kapitel Roggen).

5.0.2.2 Fortpflanzungsbiologie und Fertilitätsverhältnisse

Bei den Gräsern kommen sowohl Fremd- als auch Selbstbefruchter vor, meist als Hermaphrodite. Die Fremdbefruchter sind vorwiegend Windbefruchter mit einer sehr hohen Pollenproduktion, selten Insektenbefruchter (ADAMS et al. 1981). Der Pollen hat 2 Kerne und ist nur etwa 2 Tage lebensfähig, er stirbt — im Gegensatz zu dem der meisten anderen Arten — bei Austrocknung. Eine Lagerung bei +4 °C und hoher Luftfeuchtigkeit ist bis maximal 10 Tagen erreicht wor-

Tab. 5.3 Systematik der züchterisch interessanten Gräser, * in diesen Gattungen kommen Apomikten vor

Tribus	Subtribus	Gattung	x	2n		
Pooideae	Festucinae	<i>Festuca</i>	7	14–70		
		<i>Poa</i>	7	14–200*		
		<i>Dactylis</i>	7	14–42		
		<i>Cynosurus</i>	7	14		
		<i>Bromus</i>	7	14–84		
		<i>Ceratochloa</i>	7	28–70		
		<i>Lolium</i>	7	14		
		<i>Agropyron</i>	7	14–84*		
		<i>Elymus</i>	7	14–56		
		<i>Eragrostis</i>	10	20–90*		
	Hordeae	Loliinae Triticinae Elymineae	<i>Sporobolus</i>	9, 10, 12	18–126	
			<i>Chloris</i>	10	20–80*	
			<i>Cynodon</i>	9, 10	18–54	
			<i>Bouteloua</i>	7, 10	14–101*	
			<i>Buchloe</i>	?	56, 60	
			<i>Arrhenatherum</i>	7	28	
			<i>Trisetum</i>	7, 12	14–42	
			<i>Agrostis</i>	7	14–56	
			<i>Alopecurus</i>	6, 7	12–42	
			<i>Phleum</i>	5, 7	10–84	
			<i>Oryzopsis</i>	11, 12, 23	22–48	
			<i>Zoisa</i>	10	40	
			<i>Phalaris</i>	6, 7	14–130	
Avenae		<i>Anthoxanthum</i>	5	10–80		
		<i>Ehrharta</i>	12	24–48		
		<i>Loudetia</i>	10, 12	24–60		
		Panicaceae		<i>Panicum</i>	7, 9, 10	14–72*
				<i>Paspalum</i>	10, 12	20–160*
				<i>Pennisetum</i>	7, 9	14–63*
				<i>Setaria</i>	9, 19	18–72*
				<i>Brachiaria</i>	7, 9	18–54
				<i>Digitaria</i>	9, 15, 17	18–72
				<i>Cenchrus</i>	9, 17	18–72*
<i>Acrocerus</i>	9			36		
<i>Axonopus</i>	10			20–80		
<i>Melinis</i>	9			36		
Panicoidae		<i>Adropogon</i>	10	20–180		
		<i>Bothriochloa</i>	10	40–120*		
		<i>Cymbopogon</i>	10 (5)	20–60		
		<i>Themeda</i>	10	20–80*		
		<i>Hyparrhenia</i>	10, 15	20–44*		
		<i>Sorghum</i>	5	10–60		
		<i>Eremochloa</i>	9	18		

- PAUL, C., G. J. SCHILD, & H. HONIG, 1981: Mahl widerstandsmessungen an Rauhfutter. I. Apparative Voraussetzungen. *Landbauforschung Völkensrode* 31, 7-10.
- SIENK, J. S., J. LANDA, M. R. HOOVER, & M. O. WESTERHAUS, 1981: Description and evaluation of a near infrared reflectance spectro-computer for forage and grain analysis. *Crop Sci.* 21, 355-358.
- STUCZYNSKI, M., 1978: *Zingiber hiebertii* (Claus.) P. Smirn. - gatung o najmniejszej liczbie chromosomow w rodzinie *Poaceae*. *Biul. Inst. Hodowli i Aklimatyzacji Roslin* Nr. 134, 259-262.
- SUBBA RAO, M. V., & J. V. PANTULU, 1978: The effect of derived B-chromosomes on meiosis in pearl millet *Pennisetum typhoides*. *Chromosoma* 69, 121-130.
- TILLEY, I. M. A., & R. A. TERRY, 1963: A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. grassl. Soc.* 18, 104-111.
- WALDEN, D. B., 1967: Male gametophyte of *Zea mays* L. I. Some factors influencing fertilization. *Crop Sci.* 7, 441-444.

5.1 Luzerne

(*Medicago sativa* L. s. l.)

5.1.1 Bedeutung und Verbreitung

Die Luzerne wird von alters her wegen des hohen Ertrages an nährstoffreichem, insbesondere eiweißreichem Futter als Königin der Futterpflanzen gerühmt. Sie ist zugleich die älteste und weltweit die verbreitetste ausschließlich zur Futtergewinnung angebaute Kulturpflanze. HANSON (1972) gibt die Weltanbaufläche für die Jahre 1965/69 mit 33 Millionen Hektar an. Davon entfallen auf Nordamerika mit 13 Mio. ha rund 40 %, auf Europa mit 9 Mio. ha knapp 30 % und auf Südamerika mit rund 8 Mio. ha fast 25 %. Zu den wichtigsten luzerneanbauenden europäischen Ländern zählen das europäische Rußland mit über 3 Mio. ha, sodann Italien und Frankreich mit je über 1 Mio. ha. In der Bundesrepublik Deutschland erreichte die Luzernekultur nach dem zweiten Weltkrieg zu Beginn der 50er Jahre mit rund 300 000 ha ihren Höhepunkt; seitdem ist die Fläche rückläufig: 1960 = 150 000 ha, 1970 = 100 000, 1984 nur noch 30 000 ha. Die Luzerne bringt in warmen Lagen der gemäßigten Klimazone die höchsten Nährstoffträge, sofern ihr Wasserbedarf befriedigt wird. In ariden Gebieten wird sie intensiv bewässert. Die Frosthärte ist unterschiedlich groß. Die Überwinterung hängt u. a. von ihrer Widerstandskraft gegen das sogenannte Auffrieren ab. Am besten gedeiht Luzerne auf tiefgründigem, kalkhaltigem, basen-

gesättigtem Boden mit guter Wasserführung. Naßkalte, saure und im Untergrund verdichtete Böden scheiden für den Anbau aus.

Das tieferreichende Wurzelwerk ist teils als Pfahlwurzel ausgebildet, teils mehr oder weniger verzweigt. An der Bodenoberfläche ist die Wurzel stark verdickt. Den hier gebildeten Sproßknospen entspringen nach dem Winter und nach dem Schnitt zahlreiche Triebe, die eine Länge von 1 m erreichen können. Die Blütenstände sind blattachselständige gestielte Trauben. Die Blütenfarbe reicht von den meist vorherrschenden Blautönen über rötlich und grünlich bis zu gelb und fast weiß. Charakteristisch geformt sind die schneckenförmig 1,5-4,5 mal gewundenen Hülsen, die bohnenförmige gelbbraune Samen mit einem TKG von $\pm 2,2$ g enthalten.

Die Pflanze ist mehrjährig. In Abhängigkeit von der Dauer der Vegetationszeit wird die Luzerne mehrmals im Jahr gemäht und anschließend getrocknet. In Mitteleuropa sind 2 bis 4 Schnitte üblich, in warmen Klimazonen bei Bewässerung bis zu 8 Schnitte möglich. Vielfach wird die Luzerne aber auch im Gemenge mit Gras beweidet. Weltweit ist sie der wichtigste Rohstoff für die Herstellung von heißluftgetrocknetem Futter, das nicht nur für die Fütterung der Wiederkäuer und Pferde geschätzt wird, sondern auch als Bestandteil kommerziell hergestellten Kraftfutters für Schweine und Geflügel große Bedeutung erlangt hat. Eine neue Entwicklung hat sich mit der Extraktion des Blatteiweißes (PIRIE 1971) angebahnt, das zunächst nur Futterzwecken dient. Auf lange Sicht ist die Produktion eines Proteinkonzentrats auch für die menschliche Ernährung Ziel des Verfahrens (HANSON 1972). Die Luzerne-trockenmasse enthält eine Fülle chemischer Verbindungen, die in bezug auf die Qualität teils positiv, teils negativ zu bewerten sind. HANSON (1972) gibt dazu einen zusammenfassenden Überblick. Züchterisches Interesse haben neben dem Rohproteingehalt vor allem qualitätsmindernde Stoffe gefunden. Dazu zählen gewisse Eiweißverbindungen, die man mit dem gefürchteten Aufblähen der Tiere in Zusammenhang gebracht hat, sodann wie Östrogene wirkende Substanzen (Kumöstrol, Flavone, Isoflavone) und schließlich Saponine, die ebenfalls vermutlich am Aufblähen beteiligt sind, andererseits aber auch das Wachstum von Küken und die Eiproduktion von Legehennen beeinträchtigen können. Das Gedeihen der Luzerne hängt wesentlich vom Zustandekommen einer wirksamen Symbiose zwischen Wirtspflanzen und Knöllchenbakterien, in diesem Fall *Rhizobium meliloti*, ab. Angaben über die Mengen des symbiotisch fixierten Stickstoffs durch Luzerne reichen von 80 bis über 400 kg/ha/Jahr N.

5.1.2 Systematik, Abstammung und Cytologie

Die kultivierte Luzerne gehört der Gattung *Medicago*, deren Taxonomie außerordentlich uneinheitlich ist, an. Die wichtigste Literatur zur Lu-

Tab. 5.7: Landwirtschaftlich wichtige Eigenschaften von *Medicago sativa* und *M. falcata*

Eigenschaft	<i>M. sativa</i>	<i>M. falcata</i>
Bewurzelung	Pfahl, tief	verzweigt, flacher
Sproß	kräftig, aufrecht	dünn, niederliegend
Blütenfarbe	= violett	gelb
Hülse	3-4fach spiralig gewunden	sichelförmig
Ausdauer	= langlebig	perennierend
Winterhärte	variabel	groß
Nachwuchsvermögen	gut	gering
Ertrag	hoch	gering
Eiweißgehalt	niedriger	höher
Krankheitsresistenz	geringer	größer

zernesystematik ist bei ROEMER & RUDORF (1959) und HANSON (1972) angegeben. Die Mehrzahl der über 50 beschriebenen Arten ist annuell. Die für die heutige Kulturluzerne wichtigsten Taxa sind die Saatluzerne oder blaue Luzerne, *Medicago sativa* L., und die Sichelluzerne, *Medicago falcata* L. Saat- und Sichelluzerne unterscheiden sich hauptsächlich in den morphologischen und physiologischen Eigenschaften (Tab. 5.7). Beide Arten sind frei miteinander kreuzbar.

Das Kreuzungsprodukt, genauer ausgedrückt panmiktische Kreuzungspopulationen der beiden Arten, wird als Bastardluzerne, *Medicago media* Pers. bzw. als *Medicago* × *varia* Martyn bezeichnet. Von verschiedenen Autoren wird die Bezeichnung des Artranges der genannten Taxa bestritten.

Als Ursprungsgebiet der Saatluzerne wird das zentrale und südwestliche Asien angesehen. Die Sichelluzerne ist dagegen eine eurasische Art, deren Verbreitung sich zwischen dem 30. und 60. Breitengrad vom Atlantik zum Pazifik erstreckt. Wo immer in der Natur *Sativa*- und *Falcataluzerne* zusammentreffen, entstehen Kreuzungspopulationen, in denen entweder das *Sativa*- oder das *Falcata*-erbgut vorherrschen kann. Dem Anteil der beiden Stammformen entsprechen auch die morphologischen und physiologischen Eigenschaften der Populationen. Das Bild der Kulturluzerne ist infolgedessen sehr vielgestaltig. Reine *Sativatypen* finden sich z. B. im wärmeliebenden, mediterranen und subtropischen Klima. Die europäischen Sorten sind zumeist der Bastardluzerne zuzurechnen, wobei der *Falcata*-Anteil von West nach Ost und von Süd nach Nord zunimmt.

Die Chromosomenzahl der *Medicago*-Arten beträgt $2n = 16$, $2n = 32$ oder $2n = 48$. Die phylogenetisch älteren Formen sind zweifellos die 16-chromosomigen. In ursprünglichen Typen der Saat- wie der Sichelluzerne finden sich so-

wohl solche mit 16 als auch mit 32 Chromosomen. Die Kulturluzerne weist ganz allgemein 32 Chromosomen auf, d. h. sie ist tetraploid. Ob es sich um Allo- oder um Autotetraploidie handelt, war lange umstritten. Aufgrund neuerer Untersuchungen an Dihaploiden, aber auch der Tatsache, daß in fast allen Vererbungsstudien ein tetraploider Erbgang nachgewiesen wurde, besteht jedoch kein Zweifel mehr, daß sich die Kulturluzerne zumindest funktionell wie ein autotetraploider Genotyp verhält, obwohl während der Meiose normalerweise überwiegend Bivalente gebildet werden. Sowohl die diploiden als auch die tetraploiden *Sativa*- und *Falcata*-formen kreuzen sich ohne weiteres. Eine interessante Möglichkeit, genetische und cytologische Probleme tetraploider Luzerne auf diploider Ebene zu studieren, stellen sog. Dihaploide dar, die gelegentlich entstehen, wenn tetraploide Kulturluzerne mit diploider Wildluzerne gekreuzt wird (BINGHAM 1971).

5.1.3 Fortpflanzungsbiologie

Vier bis acht Wochen nach Beginn der Sproßentwicklung gelangt die Luzerne zur Blüte. Charakteristisch ist, daß auch nach Einsetzen des Blühens das Sproßwachstum weitergeht, wobei fortgesetzt neue Blütenstände gebildet werden (indeterminierter Wuchs). Infolgedessen kann sich die Blühperiode über mehrere Wochen, ja Monate, hinziehen, was dazu führt, daß an älteren Luzernetrieben alle Phasen der Blüten- und Fruchtbildung vorhanden sein können. Dieses indeterminate Wachstum wird bei sonst günstigen Verhältnissen meist erst durch äußere Faktoren, z. B. Schnitt, Wassermangel, Kälte, zum Stillstand gebracht. Für die Saatguterzeugung kann sich dieses Verhalten sehr nachteilig auswirken. Die Luzerneblüte ist offensichtlich für Insektenbestäubung eingerichtet und tatsächlich wird die Art allgemein zu den Fremdbefruchtern gezählt (Abb. 5.4). Die wirksame Bestäubung ist an zwei Voraussetzungen geknüpft: Zuerst muß die Blüte ausgelöst werden. Unter Auslösen (Tripping) versteht man das Freisetzen der aus Fruchtknoten und den Staubgefäßen bestehenden Geschlechtssäule, die normalerweise im Blütenkiel, und zwar unter Spannung, eingeschlossen ist. Wird der Blütenkiel geöffnet, schnell die Geschlechtssäule heraus und schlägt gegen die Blütenfahne. Gewöhnlich besorgen Insekten das Auslösen; haftet ihnen fremder Luzernepollen an, gelangt er bei der Auslösung auf die Narbe. Gleichzeitig belädt sich das auslösende Insekt mit Pollen der ausgelösten Blüte und überträgt ihn zur nächsten. Das Vorhandensein von funktionstüchtigem Pollen ist also die zweite Voraussetzung für den Samenansatz. In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß der Pollen bereits im frühen Knospstadium in den Staubbeuteln entlassen wird und den ganzen Vorderraum des

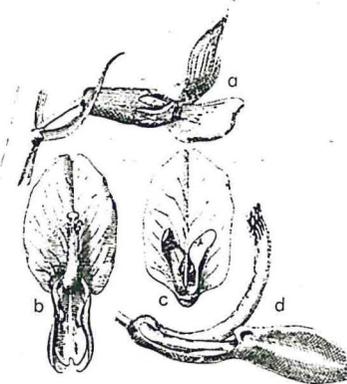


Abb. 5.4: Luzerneblüte. a) Seitenansicht; b) Ansicht von vorn; Schiffehen geöffnet, Geschlechtssäule emporgeschellt; c) Ansicht von vorn, Geschlechtssäule noch im Schiffehen; d) Seitenansicht ohne Fahne und Flügel, Geschlechtssäule emporgeschellt; ca. 2× vergrößert (aus HOFFMANN et al. 1970)

Blütenkiels ausfüllt. Schon in der Blütenknospe ist also die Narbe dicht vom eigenen Pollen bedeckt, ohne daß Befruchtung eintritt. Zu diesem Zweck muß die Blüte, wie gesagt, erst ausgelöst werden. Die Narbe ist nämlich von einer Membran überzogen, die das Auskeimen der Pollenkörner verhindert. Durch das Auslösen wird die Membran verletzt. Erst dann bildet sich die Narbenflüssigkeit, die das Keimen des Pollens gestattet. Ohne Auslösen gibt es nur in Ausnahmefällen Samenansatz, aber Betupfen der Kielspitze führt fast regelmäßig auch ohne Auslösung zum Samenansatz.

Als pollenübertragende Insekten fungieren in erster Linie die Honigbienen. Allerdings ist ihr Wirkungsgrad nicht sehr hoch. Im Durchschnitt lösen sie selten mehr als 2 % der besuchten Blüten aus. Besonders effektiv sind gewisse Wildbienen, von denen in erster Linie die solitär lebenden Blattschneiderbienen (*Megachile spec.*) zu nennen sind. Unter Umständen können die Blüten auch selbst zur Auslösung (automatic tripping) kommen, was Selbstbefruchtung zur Folge hat. Als Ursache für Selbstauslösung vermutet man Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen. Die Neigung zur Selbstauslösung kann aber auch genetisch bedingt sein. Wenngleich also die Luzerne aufgrund ihres Blütenbaues und des eigenartigen Bestäubungsmechanismus unzweifelhaft von Natur aus als Fremdbefruchter angelegt ist, kommt Selbstbefruchtung, wie zahlreiche Beobachtungen und Experimente beweisen, häufig vor. Offenbar nimmt die Neigung zur Selbstauslösung und Selbstbefruchtung zu, je weiter sich die Luzerne von ihrer die Fremdbefruchtung begünstigenden Heimat entfernt. LESINS (1961) wirft denn auch

die grundsätzliche Frage auf, ob man in der Züchtung nicht dort, wo Fremdbefruchtung erschwert ist, die Luzerne konsequent als Selbstbefruchter behandeln soll.

Mechanismus der Selbstfertilität bzw. -sterilität

Selbstfertil ist eine Pflanze, wenn sie imstande ist, nach Bestäubung mit eigenem Pollen Samen zu bilden. Selbststerilität ist das Unvermögen, nach Selbstung Samen voll zu entwickeln.

Selbstinkompatibilität ist das Unvermögen, nach Selbstung Samen zu bilden infolge von Faktoren, die das Erreichen der Eizelle durch den Pollenschlauch verhindern. Solche Faktoren, z. B. S-Allele, sind in Luzerne bisher nicht eindeutig nachgewiesen. Im Unterschied zu der von den *Trifolium*-arten her bekannten, durch S-Allele bedingten Selbstinkompatibilität wird nämlich die Selbststerilität der Luzerne in erster Linie durch Abortion der befruchteten Eizelle hervorgerufen. Man sollte deshalb den Ausdruck Selbstinkompatibilität vermeiden und besser von Selbststerilität sprechen. Gleiches gilt für die Begriffe Kreuzungsfertilität, Kreuzungssterilität und Kreuzungsinkompatibilität.

Männlichsterilität (ms) bedeutet das Fehlen von funktionstüchtigem Pollen. Die erste ms-Pflanze wurde von CHILDERS (1952) beschrieben. Mittlerweile sind vielerorts männlichsterile Pflanzen gefunden worden. GUMANIUC (1973) berichtet zusammenfassend darüber.

Genisch bedingte Männlichsterilität beruht auf einem im Zellkern lokalisierten Sterilitätsfaktor und ist dadurch gekennzeichnet, daß überhaupt kein Pollen gebildet wird. Cytoplasmatisch bedingte Männlichsterilität wird durch einen Plasmfaktor hervorgerufen, wobei zwar Pollenkörner gebildet werden, die aber teilweise oder ganz funktionsuntüchtig sind. Eine solche Form der ms wurde erstmals von DAVIS & GREENBLATT (1967) beschrieben. Genauer handelt es sich dabei aber um genisch-cytoplasmatisch bedingte ms, weil sie durch das Zusammenwirken eines Plasmafaktors und eines nuklearen Faktors entsteht. Für die praktische Nutzung der cytoplasmatisch bedingten ms wird ein Komplementärtyp (Maintainer, 0-Typ = Nms) als Pollenspender benötigt, der bewirkt, daß auch die Nachkommenschaft ms bleibt (HOFFMANN et al. 1971). Partielle Männlichsterilität ist dadurch bedingt, daß in Tetraploiden vier verschiedene Konstellationen des rezessiven Sterilitätsgens möglich sind. Nur ms in der vierfach rezessiven Form vermag in ms-Plasma vollständig ms zu bewirken. Die Simplex- bis Triplex-Formen bedingen verschiedene

Grade partieller ms. Auch die Umwelt übt einen großen Einfluß auf den Grad der ms aus. Die Pollenfertilität des Zuchtmaterials kann infolgedessen zwischen 0 % und 100 % schwanken.

Von der Beobachtung ausgehend, daß in Gegenwart von fremdem und eigenem Pollen der fremde Pollenschlauch die Eizelle schneller erreicht, hat man den Schluß gezogen, daß bei Kreuzungen der eigene Pollen keine Rolle spielt und in der Regel Fremdbefruchtung stattfindet. Somit schien die mühsame Kastration der weiblichen Blüten bei künstlicher Fremdbestäubung entbehrlich. Neuere Untersuchungen stellen diese Auffassung zunehmend infrage.

5.1.4 Kreuzungstechnik

Wir unterscheiden natürliche Kreuzungen, bei denen die Pollenübertragung durch Insekten geschieht, und künstliche, wobei der Pollen manuell übertragen wird. Welche Kreuzungsmethode zu bevorzugen ist, hängt von der Zielsetzung ab, die mit der Kreuzung verfolgt werden soll. Will man z. B. eine größere Menge F_1 -Saatgut von *M. sativa* × *falcata* erzeugen, genügt es, beide Formen entweder gemeinsam auszusäen oder zu pflanzen, oder, wenn man an reziprokem Saatgut interessiert ist, in alternierenden Reihen. Dies

Kann sowohl auf isolierten Freilandflächen oder in Käfigen oder Kabinen geschehen. Dabei ist jedenfalls für eine ausreichend große Population bestäubender Insekten Sorge zu tragen (Abb. 5.5). In größere Freilandanlagen kann man komplette Honigbienenvölker bringen. Bei beschränktem Raum und geringer Pflanzenzahl verwendet man kleine Ableger von Bienenvölkern, oder man benutzt käufliche Blattschneiderbienen, oder man kann eingefangene Hummeln zur Bestäubung heranziehen. Vor dem erstmaligen Einsatz der Insekten ist sicherzustellen, daß ihnen kein Luzernepollen anhaftet. Im bisherigen Flugbereich der Tiere soll sich also keine blühende Luzerne befunden haben. Einzelne Hummeln befreit man von lebensfähigem Pollen durch 10 Sekunden langes Eintauchen in Leitungswasser. Erst nach weiteren 24 Stunden gibt man sie in das Kreuzungsquartier. Während des Kreuzungsaktes ist den Bienen ausreichende Tränke und Nahrung, z. B. Zuckerwasser, anzubieten. Handkrenzungen sind unumgänglich, wenn einzelne Blüten gezielt mit fremdem Blütenstaub versehen werden sollen und ein genauer Abstammungsnachweis für die Nachkommenschaft gefordert wird. Ob der Kreuzung eine Kastration vorausgehen muß, hängt in erster Linie vom Grad der Selbstinkompatibilität der Mutterpflanzen ab. Bei hochgradiger Selbststerilität kann auf Emaskulation verzichtet werden. Wenn es aber wie z. B. bei Vererbungsstudien darauf ankommt,



Abb. 5.5: Isolierkäfige mit Bienenvölkern zur Bestäubung von Luzernepflanzen

Selbstbefruchtung mit Sicherheit auszuschließen, wird es notwendig sein, die polleneempfangenden Blüten zu emaskulieren. Hierfür sind verschiedene Verfahren in Gebrauch. Als am zuverlässigsten hat sich das von TYSDAL & GARL (1940) empfohlene erwiesen. An voll entwickelten Blüten wird zunächst das Fahnenblatt abgeschnitten. Die anderen Blüten, auch die Knospen, werden entfernt. Sodann werden die Blüten ausgelöst, indem mit einem spitzen Gegenstand (Zahnstocher, Bleistiftspitze) auf den Blütenkiel Druck ausgeübt wird. Den Blütenstand mit den ausgelösten Blüten taucht man sodann 10 Sekunden lang in einen Becher mit 57 %igem Äthylalkohol und spült sofort einige Sekunden lang mit Wasser nach. Sobald die Narbe trocken ist, kann bestäubt werden, indem man sie in den vorher gesammelten Pollen taucht oder einen Blütengriffel des männlichen Partners als Bestäubungsbürste benutzt. Am wirkungsvollsten ist Pollen von Blüten, die nicht älter als vier Tage nach der Entfaltung ihrer Blütenblätter sind.

5.1.5 Zuchtmethoden

Ausgangsmaterial für die Züchtung steht in Genbanken und auch in Form von Zuchtsorten reichlich zur Verfügung. Die letzteren sind teils in nationalen Listen verzeichnet und beschrieben, teils in internationalen Listen wie der OECD-Liste zusammengefaßt. Die Weltliste der Luzerne-Wissenschaftler (National Alfalfa Improvement Conference 1981) enthält über 400 Adressen; hier wird u. a. experimentelles Ausgangsmaterial für Züchtungszwecke angeboten. Eine Übersicht über das in Nordamerika vorhandene Genmaterial geben BARNES et al. (1977). Diese Autoren machen auch Vorschläge für die Gründung und Unterhaltung eines Luzerne-Genpools.

Durch einfache phänotypische **Massenauslese** sind die meisten der frühen Luzernesorten entstanden. Auch heute noch wird das Verfahren vorteilhaft angewendet, wenn es darum geht, in einer Population Merkmale hoher Heritabilität mit relativ geringem Aufwand anzureichern.

Das **Polycross-Verfahren** stellt das von den meisten Luzernezüchtern praktizierte Zuchtverfahren zur Verbesserung des Ertrags schlechthin dar. Der Ablauf ist in **Tabelle 5.8** schematisiert angegeben.

Der entscheidende Fortschritt im Vergleich zur Auslesezüchtung ist, daß für die Bildung der Sorte nur nachkommenschaftsgeprüfte Klone mit überdurchschnittlich guter allgemeiner Kombinationseignung verwendet werden; denn es hat sich gezeigt, daß aufgrund der guten Elternklonleistung keineswegs auch auf eine gute Leistung der Nachkommenschaft geschlossen werden kann. Der Test auf allgemeine Kombinationseignung

Tab. 5.8: Schematisierte Darstellung eines Polycross-Zuchtprogramms

Jahr	Vorgang	Zahl
1-3	Ausgangspopulation Beobachtung und Selektion	5000 Einzelpflanzen
3-5	Herstellen und Pflanzen von Klonen, Beobachtung und Selektion	300 Klone
6	Polycrossanlage, Klonerhaltung Durchkreuzung und Samenernte Selektion auf Samenertrag	50 Klone
7-9	Nachkommenschaftsprüfung, Test allgemeine Kombinationsseignung	40 Nachkommenschaften
10	Herstellung vorläufiger Synthetics aus Klonen mit bester allg. Kombinationsseignung	5 Synthetische Sorten
11-13	Nachkommenschaftsprüfung mit Selektion	5 Synthetische Sorten
14-16	Produktion des Prüfungssaatgutes der besten synthetischen Sorte durch Verkreuzen der enthaltenen Klone	1 Synthetische Sorte
17-19	Amtliche Prüfung	1 Synthetische Sorte
20	Eintragung in die Sortenliste	1 Synthetische Sorte

kann im Prinzip auch mit dem Topcross-Test durchgeführt werden.

Für das Polycross benutzt man allgemein Klone. Die Zahl der Pflanzen je Klon hängt vom Einzelpflanzensaatgutertrag im Polycross und von dem für die Nachkommenschaftsprüfung benötigten Saatgut ab. Beispiel: Saatgutertrag 5 g/Pflanze, Saatgutbedarf 100 g, erforderliche Mindestpflanzenzahl je Klon 20, Klonzahl 6. Das Polycrosspflanzschema in Anlehnung an WRIGHT (1961) erfordert 24 + 8 Randpflanzen = 32 Pflanzen je Klon (Abb. 5.6).

Besondere Sorgfalt muß der Auswahl der Klone für die Bildung der **synthetischen Sorte** gewidmet werden. Zunächst sollte man vermeiden, verwandte Genotypen miteinander zu kombinieren, um ertragsmindernde Inzuchteffekte in der Nachkommenschaft zu verhindern. Ein Beispiel für den Einfluß der Verwandtschaft der beteiligten Klone auf die Syn_1 -Leistung gibt **Tab. 5.9**. Die Auffassung, daß aus Gründen der ökologischen Anpassungsfähigkeit möglichst viele verschiedenartige Typen zur Sortenbildung herangezogen werden sollen, konnte experimentell nicht bestätigt werden (HANSON et al. 1964, SIMON 1969). Eine aus nur zwei ingezüchteten Klonen

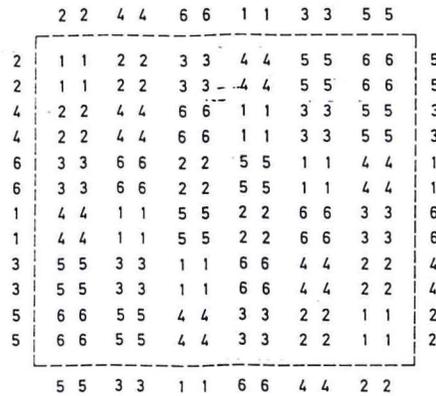


Abb. 5.6: Pflanzschema für 6 x 6-Polycross. in Anlehnung an WRIGHT (1961)

Tab. 5.9: Einfluß der Verwandtschaft der Klone auf den Trockensubstanzertrag der Syn₁-Generation (SIMON 1971)

Synthetik Nr.	Klon Nr. ¹	Ertrag dt/ha
„Du Puits“	Vergleichssorte	143 = 100
	A, A ₂ , A ₃	79
	B, B ₂ , B ₃	96
	C, C ₂ , C ₃	108
6	A, B ₁ , C ₂	108
3	A, A ₂ , C ₁ , D	113 ²
2	C ₂ , D, E	113 ²
1	A, D	120 ²

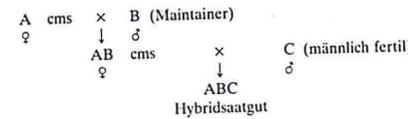
¹ Klone mit gleichen Buchstaben sind nahe verwandt
² Gesichert (p = 0,05) ertragreicher als Vergleichssorte

bestehende Sorte der tetraploiden Luzerne besitzt nämlich eine mindestens ebenso große genetische Diversität wie eine Doppelhybride des diploiden Maises (ROEMER & RUDOLF 1959). Vielmehr zeigt die Erfahrung (SIMON 1971), daß der Ertrag der Syn₁-Generation am größten ist, wenn nur eine geringe Zahl von Klonen mit der besten allgemeinen Kombinationseignung verkreuzt wird. Da aber der Verbraucher gewöhnlich Syn₂-Saatgut erhält, ist der Effekt der Klonzahl auf den Syn₂-Ertrag für die praktischen Verhältnisse bedeutungsvoll. Ob von Syn₁ bis Syn₂ eine Leistungsminderung eintritt, hängt von der genetischen Konstitution der beteiligten Klone

ab (DUDLEY 1964). Um nicht vorhersehbare Inzuchtdepressionen in späteren Generationen sowie mögliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Sortenhomogenität und -beständigkeit infolge des eventuellen Ausfalls von beteiligten Klonen zu vermeiden, ist man der Meinung, daß mindestens vier Klone verwendet werden sollten. Die Herstellung und Prüfung vorläufiger Synthetiks erfordert einen erheblichen Aufwand an Arbeit und Zeit, z. B. sind bei 9 Klonen nicht weniger als 502 verschiedene Synthetiks möglich (ROWE & GURGIS 1982). Man hat daher versucht, den Einfluß der Art und Zahl der beteiligten Klone auf den Ertrag der synthetischen Sorte in verschiedenen Vermehrungsgenerationen vorauszubestimmen (BUSBICE & GURGIS 1976). Da es dazu aber der Herstellung und Nachkommenschaftsprüfung eines Satzes dialleler Kreuzungen bedarf, ist die tatsächliche Arbeits- und Zeiterparnis bei der Verwendung entsprechender Formeln gering.

Die Züchtung von **Luzernehybriden** wurde bereits 1942 von TYSDAL et al. in Anlehnung an das bei Mais erfolgreich angewandte Schema — Herstellung von Inzuchtlinien und Prüfung ihrer allgemeinen und spezifischen Kombinationseignung, Vorhersage der Leistungsfähigkeit von Doppelhybriden, Saatguterzeugung von Doppelhybriden — vorgeschlagen. Aus mehreren Gründen haben sich aber die optimistischen Erwartungen in die Hybridzüchtung bislang nicht erfüllt. Luzerne reagiert auf Inzucht mit erheblicher Ertragsdepression und einem noch stärkeren Rückgang des Samenetrags (zusammenfassende Übersicht bei HANSON 1972). Zahlreiche Untersuchungen lassen es fraglich erscheinen, daß die Kreuzungsnachkommenschaften von Luzerne-Inzuchtlinien die Leistung der Ursprungspopulationen, denen die I-Linien entstammen, erheblich übertreffen. Außerdem ist es zweifelhaft, ob bei der Kreuzung von gewöhnlichen Klonen oder I-Linien die Nachkommenschaft wirklich ganz überwiegend aus Kreuzungen zusammengesetzt und insofern die Bezeichnung Hybridsaatgut im kommerziellen Sinne gerechtfertigt ist. Tatsächlich hat man bei der vermeintlichen Herstellung von 2-Klon-Hybriden statt Kreuzungssaatgut unerwartet hohe (bis 96 %) Anteile von Selbstungen festgestellt (HANSON et al. 1964). Dies wird in erster Linie auf unterschiedliche Bevorzugung der Kreuzungseltern durch die Bienen zurückgeführt. So belliegen nach KAUFFELD & SORENSSEN (1971) Honigbienen am liebsten purpurrote, am wenigsten gelblich-weiße Blüten. Das Problem der unbeabsichtigten und unkontrollierten Selbstungen läßt sich durch die Verwendung von

männlich sterilen Kreuzungspartnern, die inzwischen vielfach gefunden worden sind, lösen. Die erste echte Hybridsorte wurde 1968 in den Vereinigten Staaten gezüchtet (CHILDERS & BARNES 1972). Ein von W. H. DAVIS entwickeltes und in den USA patentiertes Verfahren zur Herstellung von Luzernehybriden mittels cytoplasmatisch-genetisch bedingter Männlichersterilität beruht auf dem folgenden Kreuzungsschema (CHILDERS & BARNES 1972):



Ein ähnliches Schema gibt STEUCKARDT (1971) an. BOJOS (1981) stellte ebenfalls Dreiweg-Hybriden unter Verwendung cytoplasmatisch-genetisch bedingter Männlichersterilität her. Die Hybridsaatgutproduktion leidet allgemein unter dem geringen Samenansatz der männlich sterilen Typen. Sie werden nach MCLENNAN (1963) von Honigbienen wenig befliegen, wengleich in dieser Beziehung wohl auch genetisch bedingte Unterschiede vorhanden sind. W. H. DAVIS (s. CHILDERS & BARNES 1972) hält die Produktionskosten von Hybridsaatgut für zwei- bis viermal so groß wie die von Normalsaatgut und meint, daß die Mehrkosten des Hybridsaatgutes bei einem Mehrertrag von 10–20 % gerechtfertigt seien. Ein Beweis für die Ertragsüberlegenheit einer Hybridsorte in dieser Größenordnung steht jedoch noch aus. Klone mit hoher allgemeiner Kombinationseignung besitzen zumeist auch eine hohe spezifische Kombinationseignung (SIMON et al. 1975). Das bedeutet, daß wahrscheinlich ein ähnlich großer Heterosiseffekt wie in Hybridsorten auch durch die Herstellung synthetischer Sorten erzielt werden kann.

Die **Polyplodisierung** bietet bei der autotetraploiden Kulturluzerne zunächst wenig Aussicht auf Ertragsverbesserung. Experimentell von EVANS (1961) hergestellte Polyplode wiesen folgende relative Ertragsleistungen auf: n = 32 (4 x) 100, (6 x) 79, (7 x) 63, (8 x) 51. Seitdem aber BINGHAM & SAUNDERS (1974) den Weg zur Herstellung haploider Formen gefunden haben, ergeben sich neue Perspektiven der Chromosomenmanipulation. Es eröffnet sich nämlich die Möglichkeit, auf diploider Ebene wilde diploide Typen mit wertvollen Resistenzmerkmalen einzukreuzen und zu selektieren; bei Diploiden ist

die Wahrscheinlichkeit des Auftretens und Auffindens mehrfaktorieller Rekombinationen größer als in Tetraploiden. Die wertvollen Genotypen können dann mittels Colchizinbehandlung, Kreuzung oder spontaner Chromosomenverdopplung in Gewebekultur wieder auf höhere Ploidiestufen gebracht werden. BINGHAM & SAUNDERS (1974) haben auf diese Weise sämtliche Ploidieebenen von diploid bis oktoploid herstellen können.

5.1.6 Zuchtziele

Neben einem möglichst hohen Trockensubstanzertrag, gutem Nachwuchsvermögen, ausreichender Winterhärte und Langlebigkeit sucht man vor allem die Widerstandsfähigkeit gegen die zahlreichen Krankheiten und Schädlinge sowie Qualitätseigenschaften der Luzerne zu verbessern.

5.1.6.1 Resistenz

BARNES et al. (1974) nennen für die Vereinigten Staaten über 35 wichtige Luzernekrankheiten und beschreiben Standardmethoden für die Resistenzprüfung. Eine Übersicht über die in Europa züchterisch bedeutsamen Krankheiten und Schädlinge gibt GUY (1976). Die wichtigsten sind hier die durch den Pilz *Verticillium albo-atrum* Reinke et Berth. hervorgerufene Luzernewelke, nicht zu verwechseln mit der in Amerika verbreiteten Bakterienwelke (*Corynebacterium insidiosum*).

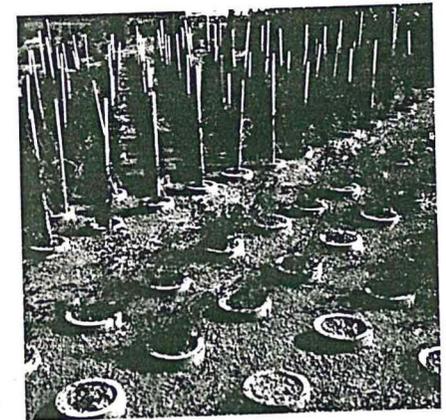


Abb. 5.7: Prüfung der Älchenresistenz bei Luzerne

um [McCull.] H. L. Jens.), der Klappenschorf (*Pseudopeziza medicaginis* [Lib.] Sacc.), die Blattfleckenkrankheit (*Colletotrichum trifolii* Bain) und die Schwarzbeinigkeit (*Phoma medicaginis* Malbr. et Roum. = *Ascochyta imperfecta* Peck). Von den Schädlingen steht das Stengelälchen (*Ditylenchus dipsaci* [Kühn] Filipjev) an erster Stelle (RAYNAL et al. 1976) (Abb. 5.7). Darüber hinaus wird versucht, die Widerstandsfähigkeit gegen eine große Anzahl von schädlichen Insektenarten zu verbessern. Zum wichtigsten Schadinsekt hat sich in den Vereinigten Staaten der Alfalfa Weevil (*Hypera postica* Gyllenhal) entwickelt. Auf die genetischen Grundlagen der Resistenz, die Methoden der künstlichen Infektion, der Resistenzprüfung und Selektion kann hier nicht eingegangen werden. In vielen Fällen wurde jedoch ein verhältnismäßig einfacher Erbgang und hohe Heritabilität nachgewiesen, so daß Resistenzzüchtung sehr erfolgversprechend ist und auch schon zahlreiche Sorten mit verbesserter Widerstandsfähigkeit gezüchtet worden sind. Spezielle Angaben und weiterführende Literatur finden sich bei ROEMER & RUDOLF (1959), HANSON (1972) und MASSENOT (1978).

5.1.6.2 Futterwert

Schon frühzeitig hat man versucht, den Eiweiß- und Carotingehalt durch Selektion blattreicher Typen zu erhöhen. Da jedoch der Eiweißgehalt mit dem Pflanzenertrag meist negativ korreliert ist, muß bei der Selektion auch die Ertragsbeeinflussung beachtet werden. In neuerer Zeit wendet sich das Interesse mehr der Eliminierung von Stoffen zu, die den Wert der Luzerne als Bestandteil von Futtermitteln für Nichtwiederkäuer mindern. Zu diesen gehören wachstumshemmende, hämolytisch und blähend wirkende Saponine, blähend wirkende Eiweißfraktionen, Antivitamine, Atmungs- und Enzyminhibitoren und östrogenartige Verbindungen. Bei all diesen Stoffen hat man eine hohe genetische Variation und z. T. auch beträchtliche Heritabilität festgestellt, so daß Selektion Erfolg verspricht. Ähnliches gilt für das Merkmal *in vitro*-Verdaulichkeit. Eine zusammenfassende Darstellung der Qualitätszüchtung gibt HANSON (1972).

5.1.6.3 Andere Zuchtziele

Die Höhe des Samenertrages hängt u. a. von der Zahl und Fertilität der Blüten, der Attraktivität für bestäubende Insekten, die wiederum mit der Blütenfarbe, der Menge und Zusammensetzung des Nektars und von Duftstoffen in Zusammen-

häng steht, der Zahl der gebildeten Hülsen und der darin enthaltenen Samenkörner ab. Die Möglichkeit der Selektion auf diese Merkmale wurde vielfach nachgewiesen. Ganz bestimmte Eigenschaften werden für spezielle Nutzungszwecke verlangt, z. B. Ausläuferbildung für Weidenutzung in Trockengebieten, Toleranz gegen Azidität oder Alkalinität des Bodens oder Widerstandsfähigkeit gegen Überflutung sowie Fähigkeit zur Symbiose mit Rhizobien.

5.1.7 Sortenentwicklung

Luzernesorten unterscheiden sich grundsätzlich in der Winterhärte. Winterharte Luzerne zeichnet sich nicht nur durch eine größere Kältetoleranz, sondern auch durch ihre Fähigkeit zur Winterruhe aus. Im Herbst werden die Assimilate nicht mehr zum Aufbau oberirdischer Sprosse, sondern zur Anreicherung von Reservestoffen im Wurzelsystem verwendet. Zugleich zieht sich der Wurzelkoppf unter die Erdoberfläche zurück. Die Pflanze bildet eine Rosette. Nichtwinterharter Luzerne fehlt die Fähigkeit, sich auf den Winter vorzubereiten. Aber auch in der winterharten Luzerne ist die Winterfestigkeit graduell verschieden stark ausgeprägt. Als zweites Unterscheidungskriterium benutzt man die Höhe des *Falcata*-Erbgutanteils, die im allgemeinen durch den Grad der Buntblütigkeit gekennzeichnet ist. Mit dem Gewicht des *Falcata*-Erbgutes steigt in der Regel auch die Kältetoleranz. Dem steht nicht entgegen, daß auch reine *Sativa*-Luzerne, wie z. B. anatolische »Kayseri-Luzerne«, zum winterharten Typ gehören kann. In der Sortenliste der Bundesrepublik Deutschland waren 1984 15 Sorten verzeichnet, die alle der winterharten Luzerne zuzuordnen sind. Etwa ein Drittel davon ist französischen Ursprungs und entspricht der sog. flämischen Luzerne (Typ Sorte »Europe«), die alle Merkmale der *Sativa*-Luzerne aufweist. Ein weiteres Drittel läßt sich auf heimische Landsorten mit beträchtlichem *Falcata*-Anteil zurückführen. Unter ihnen war die aus der altfränkischen Landschaft hervorgegangene »Altfranken Schmidt-Steinbach« wohl die bekannteste. Schließlich sind synthetische Sorten unterschiedlicher Zusammensetzung zu nennen, deren erste — »Luna« — hohen Ertrag unter sehr verschiedenen Standortbedingungen mit Eiweißreichtum und Widerstandsfähigkeit gegen Klappenschorf in sich vereinigt. International bedeutsame Züchterfolge sind insbesondere auf dem Gebiet der Resistenzzüchtung errungen worden. Zu den Sorten, die auch praktische Bedeutung erlangt

haben, gehören: »Vernal« (USA) — *Corynebacterium insidiosum*; »Team« (USA) — *Colletotrichum trifolii*; »Lahontan« (USA) — *Ditylenchus dipsaci*; »Luna« (D) — *Pseudopeziza medicaginis*; »Vertus« (S), »Vertibenda« (DDR) — *Verticillium albo-atrum*; »Weevlcek« (USA) — *Hypera postica*. Eine teilweise ausläuferbildende Sorte ist »Rhizoma« (CDN).

5.1.8 Saatguterzeugung

In Mitteleuropa wurde bis in die Mitte dieses Jahrhunderts Luzernesaatgut von Feldfutterflächen gewonnen, deren zweiter Aufwuchs bis zur Samenreife stehen blieb. Diese Art der Saatguterzeugung ist bei dem herrschenden Klima äußerst unsicher. Infolgedessen konnten die vorhandenen Zuchtsorten wegen Saatgutmangels kaum praktische Bedeutung erlangen, und den Markt beherrschten z. T. wenig angepaßte ausländische Herkünfte. Erst nachdem die Voraussetzungen für die Vermehrung in günstigen Gebieten des Auslands geschaffen waren, ist es gelungen, anonyme Saatgutherkünfte zweifelhaften Werts durch Zuchtsaatgut zu ersetzen (SIMON 1970). Heute wird in der Bundesrepublik Deutschland nur noch das für die Anlage der erforderlichen Saatgutvermehrungsflächen benötigte Basissaatgut im Inland erzeugt. Hierfür genügen relativ geringe Mengen, wie das folgende Beispiel zeigt: Bedarf zertifiziertes Saatgut = 100 000 kg; Ertrag zertifiziertes Saatgut = 500 kg/ha; hierfür benötigte Fläche = 200 ha; hierfür bei 2 kg/ha Saatstärke und jährlich 1/3 zu erneuernde Vermehrungsfläche erforderliches Basissaatgut = 134 kg. Bei einem geschätzten Saatgutertrag von 100 kg/ha reicht demnach eine Basissaatgutvermehrungsfläche von 1,5 ha aus, um das Produktionsziel bei zertifiziertem Saatgut zu erreichen. Der angemessene Vermehrungsfaktor von 1 : 250 ist allerdings nur im spezialisierten Luzernesamenbau, wie er z. B. in Kalifornien durchgeführt wird, erreichbar. Unterscheidet sich das ausländische Vermehrungsgebiet klimatisch stark vom Ursprungsgebiet der Sorte, besteht theoretisch die Gefahr, daß infolge natürlicher Selektion landwirtschaftlich wichtige Werteeigenschaften und Sortentyp negativ beeinflußt werden. Zahlreiche Untersuchungen (SIMON et al. 1974) haben zu dem Schluß geführt, daß Saatgut- und Sortenwert bei Vermehrung im Ausland keine Beeinträchtigung erfahren, wenn die Vermehrung auf eine Generation beschränkt bleibt und ein amtliches Zertifizierungsverfahren, das den bundesdeutschen Bestimmungen gleichgestellt ist, die Erhaltung der genetischen Identität der Sorte gewährleistet.

5.2 Rotklee (*Trifolium pratense* L.)

5.2.1 Bedeutung und Verbreitung

Der Rotklee ist in vielen Teilen der gemäßigten Zone die wichtigste überwinternde Futterleguminose. Sein Anbauareal erstreckt sich vom Mittelmeerklima bis zum Polarkreis. Am besten gedeiht er im gemäßigten, luftfeuchten Klima auf Lehm Boden. Die Größe der Anbaufläche ist schwer abzuschätzen, weil die statistischen Erhebungen unvollständig und ungenau sind. Für die Bundesrepublik Deutschland wird im Jahr 1984 für alle Kleearten zusammen eine Fläche von knapp 160 000 ha angegeben. Der Kleeanbau ist hier seit Jahren rückläufig.

Für die Vereinigten Staaten nennen TAYLOR & SMITH (1979) eine Anbaufläche von 5,4 Mio. ha. Rotklee wird entweder rein oder im Gemenge mit Gräsern angebaut, wofür im wärmilderen Klima das Welsche Weidelgras, *Lolium multiflorum*, bei regelmäßig strengem Winter das Lieschgras, *Phleum pratense*, bevorzugt wird. Die Pflanze ist ein bis mehrere Jahre lang lebensfähig. Das kräftige Wurzelwerk besteht aus einer Pfahl- und zahlreichen Nebenwurzeln. Die Hauptwurzel ist am oberen Ende verdickt. Hier entspringen die zahlreichen, bis ca. 1/2 m langen Stengeltriebe mit dreizähligen Blättern und endständigen Blütenköpfchen, in denen bis zu 120 Einzelblüten zusammengefaßt sind. Die rote Blütenfarbe kann von dunkelrot bis fast weiß variieren. Rotklee wird in Mitteleuropa überwiegend zur Heugewinnung angebaut; er kann aber auch frisch verfüttert oder beweidet werden. Die Hauptnutzung erfolgt in der Regel im Jahr nach der Ansaat; es sind dann ein bis mehrere Nutzungen möglich.

5.2.2 Systematik, Abstammung und Cytologie

Trifolium pratense ist formenreich. Man unterscheidet:

1. Ssp. *pratense* (= var. *spontaneum* Wilk.) Wiesenrotklee, verbreitet im Dauergrünland von Europa und Kleinasien bis Mittelasien. Der Wiesenrotklee gilt als Stammform des Kulturrotklee. Im Vergleich zum letzteren ist er niedriger, blattärmer, früherblühend und weniger ertragreich. Manche Autoren stellen gewisse alte kultivierte Landsorten, z. B. den »Schweizer Matenklee«, zu dieser Form.

2. Ssp. *sativum* (Schreib.) Schübl. et Mart. (= var. *subnudum* Witte), europäischer Kulturrotklee, blattreich, hochwüchsig. Er kommt in zwei distinkten Formen vor

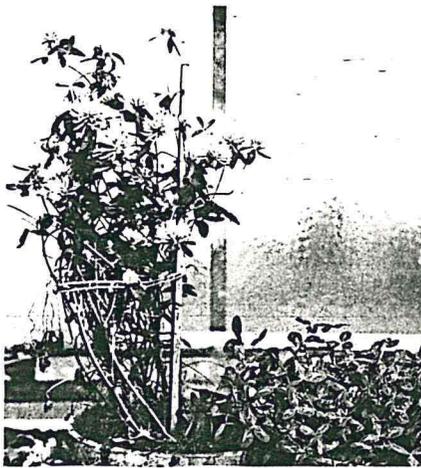


Abb. 5.8: Frühklee (links) und Spätklee (rechts) im 15-Stundentag

— var. *praecox* Witte, Frühklee oder zweischüriger Klee, kommt bereits im Ansaatjahr zur Blüte, blüht nach Überwinterung relativ früh und erneut im zweiten Aufwuchs.

— var. *serotinum* Witte, Spätklee oder einschüriger Klee, blüht im Ansaatjahr nicht und nach Überwinterung zwei bis vier Wochen später als der Frühklee, verharrt nach dem ersten Schnitt im Blattrosettenstadium, ist winterhärter und ausdauernder als der Frühklee. Dieses Verhalten läßt sich damit erklären, daß die Blühbereitschaft des Spätklees erst bei wesentlich höherer Tageslänge als beim Frühklee einsetzt. Nach dem Schnitt erfolgt der Wiederaustrieb schon im abnehmenden Langtag, die Tageslänge reicht dann nicht mehr zur Induktion des generativen Wachstums aus. Die von der Blattrosette gebildeten Assimilate werden überwiegend als Reservestoffe gespeichert, die Pflanze geht gekräfftigt in den Winter.

3. Ssp. *expansum* (W. et K.) Simk., amerikanischer Kulturrotklee, aus dem europäischen Kulturrotklee wahrscheinlich durch natürliche Auslese hervorgegangene stark behaarte Form.

Zwischen allen Typen gibt es Übergänge, und in den verschiedenen geographischen Gebieten sind jeweils angepaßte Ökotypen entstanden. In Deutschland herrscht wie allgemein im mittleren, südlichen und westlichen Europa der mehrschnittige Rotklee vor, während in Skandinavien, dem nördlichen Rußland und in Kanada überwiegend der Spätklee verbreitet ist (Abb. 5.8). Wann und wo der Übergang vom Wildklee zur Kulturform

stattgefunden hat, wissen wir nicht. Sicher ist lediglich, daß der Kulturrotklee zuerst um die Mitte des 16. Jahrhunderts in den Niederlanden angebaut wurde. Von dort hat er sich zunächst nach Osten und Norden, später in der ganzen gemäßigten Klimazone ausgebreitet.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Arten der Gattung *Trifolium* weist der Rotklee die Chromosomengrundzahl 7 auf. Die natürlich vorkommenden Formen sind diploid ($2n = 14$). Durch künstliche Chromosomenverdoppelung mittels Colchizin, die bei Rotklee unschwer gelingt, sind inzwischen zahlreiche tetraploide Formen hergestellt worden.

5.2.3 Fortpflanzungsbiologie

Die Rotkleeblüte entspricht in ihrem Bau einer normalen Schmetterlingsblüte. Die Geschlechtssäule ist im Schiffehen verborgen. Übt ein bestäubendes Insekt auf das Schiffehen Druck aus, treten Narbe und Antheren daraus hervor. Das Insekt belädt sich mit Pollen und überträgt zugleich fremden Blütenstand auf die Narbe. Danach kehrt die Geschlechtssäule in die Ausgangslage zurück. Die Bestäubung ist am erfolgreichsten, wenn die Blüten zur Hälfte entfaltet sind. Die Empfängnisbereitschaft der Narbe und die Funktionsfähigkeit des Pollens halten etwa 10 Tage lang an. Die Blütenblätter sind an ihrer Basis zu einer 5 bis 10 mm langen Röhre verwachsen, auf deren Grund reichlich Nektar produziert wird. Von den wildlebenden Insekten wirken als Bestäuber vor allem die mit einem relativ langen Saugrüssel ausgestatteten Hummelarten (*Bombus* spec.). Aber auch Honigbienen, die wegen ihres viel kürzeren Rüssels den Nektar gewöhnlich nicht erreichen, bewirken beim Pollensammeln eine effektive Bestäubung. Die Frucht ist gewöhnlich eine einsamige Hülse, da in der Regel nur eine der beiden vorhandenen Samenanlagen bis zur Reife gelangt. Die Samenfarbe variiert zwischen rein gelb und rein dunkelviolett.

Rotklee ist ein obligater Fremdbefruchter. Selbstbefruchtung wird durch ein System multippler Sterilitätsallele verhindert. Nur in Ausnahmefällen kommt es nach Selbstung zur Samenbildung (Pseudo-Selbstkompatibilität). Der Selbstungsansatz kann jedoch durch Hitzebehandlung der Blütenköpfchen (LEFFEL 1963) auf bis zu 10 % erhöht werden. Auch in colchizininduziertem autotetraploidem Rotklee ist die Selbstfertilität beträchtlich erhöht (DENNIS 1975).

5.2.4 Zuchtmethoden

Als Ausgangsmaterial für die Züchtung steht eine große Anzahl von Zuchtsorten zur Verfügung. Rund 130 Sorten sind allein in der OECD-Liste

(OECD 1984) verzeichnet. In manchen Ländern sind auch noch Landsorten vorhanden. Bei der Wahl des Ausgangsmaterials wird man sich vom angestrebten Zuchtziel leiten lassen. Nordischer Spätklee ist besonders winterhart und langlebig, wächst aber nach dem 1. Schnitt nur wenig nach. Südeuropäische Typen wachsen rasch und sind blühfreudig, jedoch krankheitsanfällig und wenig winterhart. Als Frühkleeform mit großer Langlebigkeit gilt der »Schweizer Mattenklee«. Darüber hinaus werden Ökotypen verschiedenster Provenienz in Genbanken aufbewahrt. Weitere Angaben finden sich bei TAYLOR & SMITH 1979. Auch der Wiesenrotklee wird zuweilen als Ausgangsmaterial herangezogen. Da Wiesen- und Kulturrotklee frei miteinander kreuzbar sind, findet man in der Natur nicht selten Kreuzungsprodukte zwischen beiden Formen.

Die Auslesezüchtung in ihren verschiedenen Varianten war früher das vorherrschende Verfahren zur züchterischen Verbesserung des Rotklees. In der Form der Mutterstammbaumzüchtung hat sie auch heute noch besonders in der Anfangsphase eines Züchtungsprogramms beim Vorhandensein eines breiten genetischen Ausgangsmaterials ihre Berechtigung. Viele der älteren Rotkleesorten sind auf diese Weise aus vorhandenen Lokal- oder Landsorten entwickelt worden. In neuerer Zeit hat man mit Hilfe der Auslesezüchtung vor allem auf dem Gebiet der Resistenzverbesserung gute Fortschritte erzielt (TAYLOR & SMITH 1979).

Die Erfolgsaussichten der Mutterstammbaumzüchtung sind allerdings durch die verhältnismäßig geringe Übereinstimmung zwischen den selektierten Einzelpflanzen und ihren Nachkommenschaften eingeschränkt. Nachkommenschaftsprüfungen sollten in Form von Saatparzellen durchgeführt werden. Oft ist jedoch hierfür wegen geringen Einzelpflanzensamenertrags nicht genügend Saatgut verfügbar. Auch die Aufbewahrung selektierter Einzelpflanzen bis zum Ergebnis der Nachkommenschaftsprüfung scheitert meist am vorzeitigen Tod der Elitepflanzen bzw. -klone.

Die Prüfung der allgemeinen Kombinations-eignung mit anschließender Bildung synthetischer Sorten stößt wegen der bereits erwähnten Probleme (niedriger Einzelpflanzensamenertrag), geringe Lebensdauer der ausgewählten Pflanzen) bei Rotklee auf technische Schwierigkeiten. Man umgeht sie, indem man das erforderliche Saatgut mit Hilfe von verklonten Einzelpflanzen erzeugt, und die Polycrossanlage sowie die synthetische Sorte nicht mit Klonen, sondern mit Sämlingen herstellt. Die amerikanischen Sor-

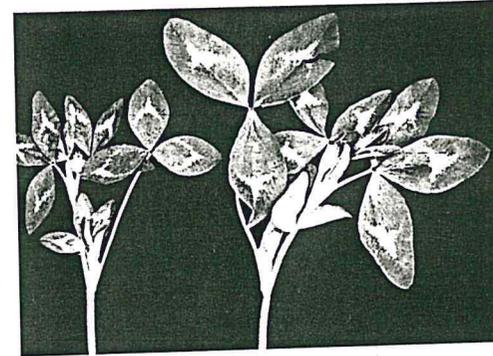


Abb. 5.9: Rechts tetraploider, links diploider Rotklee, ca. 1/2 nat. Größe (aus HOFFMANN et al. 1970).

ten »Arlington«, »Kenstar« und »Norlac« sind Beispiele für die erfolgreiche Anwendung des Polycross-Verfahrens (TAYLOR & SMITH 1979).

Die Hybridzüchtung befindet sich beim Rotklee noch im Stadium der experimentellen Prüfung theoretischer Überlegungen. In Anbetracht der stark ausgeprägten Selbstinkompatibilität erscheint die Notwendigkeit, sich für die Herstellung von Hybridsorten der auch bei Rotklee vorkommenden Männlichsterilität zu bedienen, zweifelhaft. ANDERSON et al. (1972) haben stattdessen vorgeschlagen, Doppelhybriden durch die Kreuzung von reinerbigen S-Allel-Inzuchtlinien zu bilden. Auch bei Rotklee stellt sich die grundsätzliche Frage, ob es notwendig ist, für die Erzielung des Heterosiseffektes Inzuchtlinien herzustellen und zu kreuzen. Die vorliegenden Versuchsergebnisse sprechen nicht dafür.

Die Verdoppelung des Chromosomensatzes durch Colchizin ist ein Verfahren, das seit Ende der 30er Jahre mit Erfolg beschritten wird (Abb. 5.9). Allerdings führt Colchizinierung nicht automatisch zu massenwüchsigeren Formen. MANSAT et al. (1966) stellten bei den tetraploiden Nachkommen von mixoploidem Rotklee zwar sehr viel schwerere Einzeltriebe, aber eine verringerte Triebzahl, niedrigeren Trockenmassegehalt und vor allem eine stark reduzierte Fertilität im Vergleich zu den diploiden fest (Tab. 5.10). Allgemein hat man aber doch gefunden, daß tetraploide Rotkleesorten vergleichbare diploide Sorten bezüglich Frisch- und Trockenmasseertrag, Nachwuchsvermögen, Winterfestigkeit, Ausdauer, Widerstandsfähigkeit gegen Klee- Krebs und Stengelbrenner übertreffen. Auch der

Tab. 5.10: Die Ausbildung verschiedener Merkmale bei diploiden und tetraploiden Nachkommen von mixoploidem Rotklee (MANSAT et al. 1966)

Merkmal	Diploid-Tetraploid		Tetraploid Diploid
	Diploid	Tetraploid	
Frischgewicht/Trieb (g)	27,3	40,3	148
Triebzahl/Pflanze	23,9	15,9	66
Trockensubstanz (%)	22,2	20,7	93
Samenzahl/100 Blüten	66,5	16,8	23,4

Futterwert der Tetraploiden ist wegen des höheren Eiweiß- und des geringeren Rohfasergehalts, der größeren Verdaulichkeit und vermehrten Aufnahme durch Rinder und Schafe höher einzuschätzen.

Der Erfolg der Polyploidiezüchtung hängt entscheidend davon ab, daß man ein möglichst breites diploides Ausgangsmaterial verschiedenen Ursprungs benutzt (JULÉN 1970). Da der Selektionsgewinn auf der tetraploiden Ebene geringer als auf der diploiden ist, wird man nach Möglichkeit die interessierenden Pflanzenmerkmale bereits im diploiden Ausgangspflanzenmaterial auslesen und für die Chromosomenverdoppelung vorselektiertes Material verwenden.

Trotz der unbestreitbaren Vorzüge der tetraploiden Sorten entspricht ihre Verbreitung in der Praxis noch nicht den Erwartungen. Das größte Hindernis liegt in dem im Vergleich zu diploiden Sorten stark verringerten Samenertrag. Hierfür werden hauptsächlich zwei Faktoren verantwortlich gemacht: Geringe Fertilität und die Blütenmorphologie. Chromosomenverdoppelung führt nämlich besonders in den nächstfolgenden Generationen zu Meiose-Störungen, die eine erhebliche Aneuploidie mit reduzierter Befruchtungsrate und frühzeitiger Embryo-Abortion zur Folge haben (JULÉN 1975). Die Zahl der Blüten, bezogen auf die Flächen-einheit, ist bei tetraploidem Rotklee stark reduziert. Die beträchtlich verlängerte Blütenkronröhre macht tetraploiden Rotklee für Honigbienen noch weniger attraktiv als diploiden. Angesichts der dominierenden Rolle, die das Samenbildungsvermögen für die Verbreitung tetraploider Sorten in der Praxis spielt, konzentriert sich das züchterische Interesse auf die Steigerung des Samenansatzes. Aber die Verbesserung einzelner Samenertragskomponenten hat trotz ihrer beachtlichen Variabilität bisher noch nicht zu einem durchgreifenden Erfolg geführt. DENNIS (1975) konnte nachweisen, daß die Verbesserung des Samenertrages in autotetraploidem Rotklee vornehmlich auf einer vergrößerten Selbstfertilität beruht, die ihrerseits Inzuchtdepression zur Folge hat. Auf jeden Fall ist die Selektion auf Samenertrag langwieriger als Verbesserung des Futterertrages.

5.2.5 Zuchtziele

Die wirksamste Methode zur direkten Steigerung des Massenertrages ist zur Zeit ohne Zweifel die Chromosomenverdoppelung. Das dem Rotklee innewohnende Ertragspotential kann aber in der Praxis nur zum Teil ausgeschöpft werden, weil zahlreiche Schadorganismen den Ertrag empfindlich schmälern oder ganz zunichte machen. FERGUS & HOLLOWELL (1960) schätzen, daß 50 % der Rotklee-Ernte durch Krankheitsbefall verloren gehen. Aus diesem Grunde kommt der Züchtung auf Krankheitsresistenz größte Bedeutung zu. Auch Winterfestigkeit und die Langlebigkeit sind eng mit der Resistenz gegen Krankheiten verknüpft (Abb. 5.10). Ist verlängerte Lebensdauer das Zuchtziel, so bietet sich einerseits der Spätklee als Ausgangsmaterial an, der aber den Nachteil geringen Nachwuchsvermögens hat. Durch Kombination von dänischem Spätklee und frühblühendem schweizerischem »Mattenklee« hat man in Weihenstephan die relativ langlebigen zweischnittigen Sorten »Steinacher« und »Oberhaunstädter Violettsamiger« gezüchtet. Die Hauptursache für schlechtes Überwintern ist in Mittel- und Nordeuropa der Befall mit dem Kleekrebspilz *Sclerotinia trifoliorum* Erikss. Durch wiederholten Anbau mit Selektion auf verseuchten Flächen ist eine Anreicherung widerstandsfähiger Genotypen in der Zuchtpopulation möglich. Als wirkungsvoller hat sich wiederholte künstliche Infektion mit nachfolgender Selektion erwiesen (Abb. 5.11 und 5.12). Bei Anwendung der von BEHRINGER (1963) beschriebenen Infektionsmethode wurden in Weihenstephan die in Tabelle 5.11 dargestellten Ergebnisse erzielt.

Eine vollständige Kleekrebsresistenz läßt sich wahrscheinlich nicht erreichen, weil der Resistenzmechanismus offenbar polygen bedingt ist. Bekannte Züchtungserfolge auf dem Gebiet der Kleekrebsresistenz sind neben skandinavischen Sorten die aus den Weihenstephaner Arbeiten hervorgegangenen und in die Sortenliste eingetragenen Sorten »Glauka«, »Lucrum« und »Lutea«.

Was die wirtschaftlichen Verluste anlangt, steht der durch das Stock- und Stengelälchen (*Ditylenchus dipsaci* [Kühn] Filipjev) verursachte Schaden den Kleekrebschäden kaum nach. Mit Hilfe der von BINGEFORS & ERIKSSON (1968) und anderen Autoren entwickelten Infektionsmethoden läßt sich der Resistenzgrad rasch steigern, weil die Älchenresistenz des Rotkleees wahrscheinlich nur durch ein bis zwei Genpaare bedingt ist. Der ersten in Schweden gezüchteten nematodenresistenten Rotkleeart »Merkur-



Abb. 5.10: Auf Winterhärte, Langlebigkeit und Kleekrebsresistenz selektierter Rotklee (rechts)

sind inzwischen hier und anderswo weitere gefolgt.

Zu den Pilzkrankheiten, die dem Rotklee gefährlich werden, gehören ferner die Stengelbrenner, *Kabatiella* (*Gloeosporium*) *caulivora* (Kirchn.) Karak und *Colletotrichum trifolii* Bain et Essary, der Mehltau *Erysiphe polygoni* D. C. sowie durch verschiedene Erreger wie *Cercospora zebrina* Pass., *Phoma* spec., *Pseudopeziza trifolii* (Rostr.) Petr., *Rhizoctonia* spec. und *Stem-*

phylium sarcinaeforme (Lav.) Wilts. verursachte Blattkrankheiten. Außerdem wird Rotklee von zahlreichen Viren befallen. Gegen alle diese Schadorganismen ist Resistenzzüchtung aussichtsreich.

Größte Bedeutung besitzt das Merkmal **Samenertrag**, dessen Verbesserung eine entscheidende Voraussetzung für die Verbreitung der wertvollen tetraploiden Sorten in der Praxis ist.

Erfolgversprechend ist auch die Züchtung auf **höhere Futterqualität**. JULÉN (1974) stellte z. B. für den Eiweißgehalt hohe Heritabilität fest. Als Ergebnis der Selektion auf niedrigen Gehalt des Phytoöstrogens Formononetin wurde die Sorte »Redwest« amtlich registriert (FRANCIS & QUINLAN 1974).

Gelegentlich wird auch auf Merkmale selektiert, die in keinem direkten Zusammenhang mit der Leistung des Rotkleees stehen, wohl aber zur Sortenidentifizierung brauchbar sind. Dazu gehören weiße Blütenfarbe, gelbe (»Lutea«) oder violette (»Oberhaunstädter Violettsamiger«) Samenfarbe oder auch Vielteilblättrigkeit (SIMON 1962).

Tab. 5.11: Überlebensrate von Rotkleeplanzen nach mehreren Generationen künstlicher Infektion mit *Sclerotinia trifoliorum* und Selektion

Pflanzenmaterial	Zahl der Generationen	Überlebende Pflanzen %
Sorte »Lembkes«	0	17
Weihenstephan	5	24
Weihenstephan	7	39
Weihenstephan	9	41

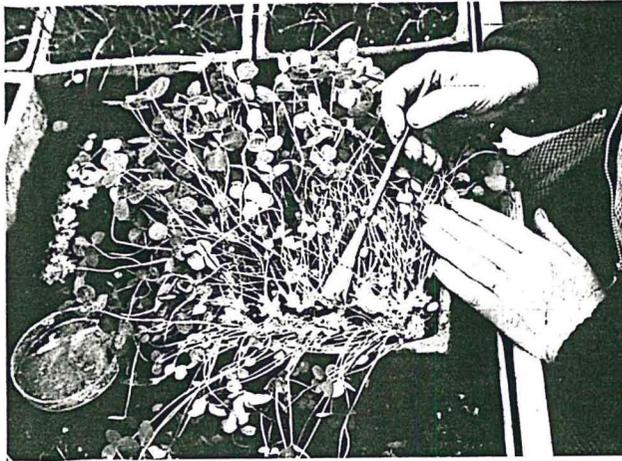


Abb. 5.11 (oben): Rotkleepflanzen werden mit Kleckrepsmyzel infiziert



Abb. 5.12 (unten): 10 Tage nach künstlicher Kleckrepsinfektion: links anfällig, rechts widerstandsfähig

5.2.6 Sortenentwicklung

In der Sortenliste der Bundesrepublik Deutschland sind zur Zeit (Stand 1. 4. 1984) 19 Rotkleearten verzeichnet, wovon zwei nicht zum Anbau in der Bundesrepublik bestimmt sind. Sämtliche Sorten gehören dem Typ des Frühklee an, und über die Hälfte sind außerhalb der Bundesrepublik gezüchtete tetraploide Sorten. Als kleckrepswiderstandsfähig und langlebig gilt die diploide Weihenstephaner Züchtung »Lucrum«. Von den tetraploiden Sorten dürften »Hungaro-

poly« (Herkunft Ungarn) und »Perenta« (DDR) in Deutschland zur Zeit die verbreitetsten sein. Landsorten gibt es in Deutschland nicht mehr. Der gemeinsame Sortenkatalog für landwirtschaftliche Pflanzenarten in der Europäischen Gemeinschaft umfaßt derzeit (31. 12. 1983) 68, davon 18 tetraploide Sorten. Die meisten Rotkleearten (22) sind in Großbritannien eingetragen. Auch hierbei handelt es sich überwiegend um mehrschnittigen Rotklee. Spätkleearten werden in Europa fast ausschließlich in Skandinavien angebaut.

5.2.7 Saatguterzeugung

Die früher übliche Samengewinnung aus dem zweiten Aufwuchs von Futterschlägen ist in Deutschland praktisch verschwunden. Wegen der großen Ertragsunsicherheit ist die Erzeugung von Rotkleeaatgut fast vollständig in günstigere Gebiete des Auslands verlagert worden. In der Bundesrepublik Deutschland beschränkt sich infolgedessen die Rotkleeermehrung auf die Produktion des erforderlichen Basissaatgutes. Von der 1984 insgesamt 180 ha umfassenden Vermehrungsfläche entfielen rund 90 % auf diploide Sorten. Haupterzeugungsland für Rotkleeaatgut ist in der Europäischen Gemeinschaft Frankreich. Von dort stammen ca. 80 % der bundesdeutschen Importe. Der Rest verteilt sich auf verschiedene Länder, vor allem Ungarn. Der Effekt der natürlichen Selektion bei der Rotkleeermehrung in Gebieten, die klimatisch vom Ursprungsland der Sorten stark abweichen, ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen (SIMON et al. 1974). Wie bei Luzerne hat sich gezeigt, daß die geltenden gesetzlichen Bestimmungen Gewähr für die Erhaltung des Sortenwertes bieten.

5.3 Andere Futterleguminosen

Wenngleich im globalen Maßstab Luzerne und Rotklee die wirtschaftlich wichtigsten und zugleich züchterisch am intensivsten bearbeiteten kleeartigen Futterpflanzen sind, spielen regional oft andere Arten eine größere Rolle. Die für die gemäßigten Klimazone bedeutungsvollsten sind in Tabelle 5.1, Kap. 5.0.1 aufgeführt. Eine eingehende Darstellung einzelner Arten verbietet sich hier. Die wichtigsten sollen jedoch erwähnt werden.

5.3.1 Weißklee (*Trifolium repens* L.)

Der Weißklee ist eine ausdauernde Kleeart, die durch ihre der Bodenoberfläche angepreßten Kriechtriebe, von denen nur die langstieligen Blätter und weißen Blütenköpfchen aufragen, besonders gut dem Fraß und Tritt der Weidetiere sowie häufigem Schnitt angepaßt ist. Der Klee wird gewöhnlich im Gemenge mit Gräsern angebaut. Die lichtbedürftige Pflanze wird durch dichte und hohe Grasbestände, wie sie sich bei starker Stickstoffdüngung bilden, unterdrückt. Von züchterischem Interesse sind die folgenden

Formen der sehr variablen, vermutlich amphidiploiden Spezies:

f. *sylvestre*, relativ kleinblättrig und niedrigwachsend, von geringer Konkurrenzkraft. Hierzu zählen einige Landsorten, wie z. B. die englische »Kent Wild White«. f. *hollandicum*, mittelgroßblättrige Form. Ihr gehört die Mehrzahl der in Mitteleuropa gezüchteten Sorten an. Eine stark verbreitete Sorte dieses Typs ist die dänische »Milkanova«.

f. *giganteum*, in allen Pflanzenteilen üppiger und größer als die beiden vorhergehenden und deshalb einem polyploiden Typ ähnlich, in Wirklichkeit aber mit normaler Chromosomenzahl ($2n = 32$) ausgestattet. Der üppige Wuchs wird durch vergrößerte Pflanzenteile hervorgerufen. Zur f. *giganteum* zählt der »Ladinoklee«, der zuerst in der Po-Ebene kultiviert wurde. Die Form ist die konkurrenzfähigste, aber weniger winterhart als die beiden vorhergenannten und deshalb mehr im wintermildem Klima verbreitet. Mit Erfolg hat man die wertvollen Eigenschaften der Formen *hollandicum* und *giganteum* miteinander kombiniert. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Sorte »N. F. G. Gigant«.

Die Blüten- und Befruchtungsbio-logie entspricht im wesentlichen der des Rotklee, jedoch sind die Hülsen mehrsamig. Als Ausgangsmaterial für die Züchtung kommen neben den in alten Dauerweiden noch verbreiteten Ökotypen vor allem Zuchtsorten infrage. Als Zuchtmethoden finden die Auslesezüchtung und das Polycross-Verfahren Anwendung. Auch Hybriden versucht man herzustellen (CONNOLLY & WRIGHT-TURNER 1982).

Neben allgemein ertragsrelevanten Merkmalen interessieren das Konkurrenzvermögen im Mischbestand und Ausdauer. Die letztere wird durch Befall mit Kleekebs und anderen Pilzen sowie durch verschiedene Nematodenarten und auch durch Viren eingeschränkt. Hier ergeben sich gute Möglichkeiten der Resistenzzüchtung. Neuerdings versucht man Typen zu selektieren, die einerseits in Symbiose mit bestimmten Rhizobiumstämmen effizienter Luftstickstoff fixieren, andererseits aber auch hohe Stickstoffdüngung tolerieren. Von den Inhaltsstoffen hat ein Blausäureglykosid Beachtung gefunden. Angaben darüber, ob die Aufnahme glykosidreichen Weißklee bei Haustieren gesundheitsschädlich wirkt, widersprechen sich. In der Bundesrepublik Deutschland wird das Merkmal amtlich zur Sortenunterscheidung herangezogen. Der Samenansatz ist einerseits stark umweltabhängig, andererseits insbesondere durch die Zahl der Blütenköpfchen je m^2 bedingt. In dieser Beziehung ist infolge ihrer verlängerten Internodien die *Giganteum*-Form benachteiligt. Weißklee ist neben Rotklee die züchterisch am meisten bearbeitete *Trifolium*art. Die OECD-Liste (OECD 1984) enthält ca. 60 Sorten, der gemeinsame Sortenkatalog der Europäischen Gemeinschaft rund 50. Sorten, die in der Praxis große Verbreitung ge-

funden haben, sind vor allem in Dänemark, Belgien, Neuseeland und den Vereinigten Staaten gezüchtet worden. In der Bundesrepublik Deutschland sind gegenwärtig (1984) 9 Sorten eingetragen, davon eine vom Typ *giganteum*. Saatgut wird in der Bundesrepublik Deutschland außer geringen Mengen Basissaatgut nicht erzeugt. Das hier benötigte zertifizierte Saatgut wird vorwiegend in Dänemark und Neuseeland produziert.

5.3.2 Schwedenklee (*Trifolium hybridum* L.)

Der Schwedenklee oder Bastardklee kommt bei uns in feuchten Wiesen auf kühlem, vielfach anmoorigem Standort vor. Im Habitus dem Rotklee ähnlich, unterscheidet er sich von diesem durch die fehlende Behaarung und die blattachselständigen, rosafarbenen Blütenköpfchen. Die Pflanze lebt 2 bis 3 Jahre lang. Im Nachwuchsvermögen und Ertrag ist Schwedenklee dem Rotklee auf normalen Standorten unterlegen. Als Kulturpflanze spielt er nur im kühl gemäßigten Klima wie z. B. in Skandinavien und Kanada eine größere Rolle, wo er in der Regel im Gemenge mit Gräsern angebaut wird. Blütenbiologisch verhält sich Schwedenklee ähnlich wie Rot- und Weißklee. Dies gilt auch für Zuchtmethoden und Zuchtziele. Mit Erfolg sind in Skandinavien tetraploide Sorten hergestellt worden. Die Saatguterzeugung scheint bei ihnen nicht so schwierig wie bei tetraploidem Rotklee zu sein. In der OECD-Liste (OECD 1984) sind 10, davon 6 tetraploide Sorten eingetragen. Die Sortenliste der Bundesrepublik Deutschland enthält eine diploide und eine tetraploide Sorte. Das Interesse an dieser Art ist in Deutschland stark zurückgegangen. Der geringere Saatgutbedarf wird durch Einfuhren aus Kanada gedeckt.

5.3.3 Inkarnatklee (*Trifolium incarnatum* L.) und Pfeilblattklee (*Trifolium vesiculosum* Savi)

Der Inkarnatklee, ursprünglich auf der iberischen Halbinsel beheimatet, ist eine Pflanze des überwinternden Zwischenfruchtbaus. In Deutschland wird er hauptsächlich als Bestandteil des sog. Landsberger Gemenges verwendet. Die Art ist teilweise selbstfertil. Tetraploide Formen sind zwar hergestellt worden, aber nicht als Sorten verfügbar. Zu den wichtigsten Zuchtzielen gehört die Verbesserung der Winterhärte und

der Kleekrebsresistenz. Die OECD-Liste (OECD 1984) enthält 12, die Sortenliste der Bundesrepublik Deutschland 3 Sorten. Das in Deutschland benötigte Saatgut wird hauptsächlich in Frankreich vermehrt.

Der Pfeilblattklee (Arrowleaf Clover) ist eine aus dem Mittelmeergebiet stammende Kleeart, die in neuerer Zeit im Südwesten der USA Bedeutung erlangt hat (HEATH et al. 1973). Er wird ähnlich wie Inkarnatklee genutzt. Es gibt drei amerikanische Sorten.

5.3.4 Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum* L.)

Der Alexandrinerklee wird von alters her im Mittelmeerraum kultiviert. In Mitteleuropa spielt er als nicht winterharte Pflanze bei Frühjahrsausaat als Sommerklee eine gewisse Rolle. Man unterscheidet eine mehrschnittige (Typ Muskowi) und eine einschnittige (Typ Fahli) Form. Sie sind morphologisch kaum unterscheidbar. Die mehrschnittige Form weist jedoch ein deutlich geringeres Tausendkorngewicht auf. Die Grenze liegt bei dem TKG 3,3 g. Von den sechs vorhandenen Zuchtsorten sind je eine einschnittige und mehrschnittige Sorte auch in der Bundesrepublik Deutschland eingetragen. Die Chromosomenverdoppelung gelingt zwar, aber tetraploide Sorten ($2n = 32$) sind noch nicht auf dem Markt. Das im Handel verfügbare Saatgut stammt zum überwiegenden Teil aus Italien und Israel.

5.3.5 Persischer Klee (*Trifolium resupinatum* L.)

In Ursprung und Gebrauch ähnelt der Persische Klee dem Alexandrinerklee. Seit 1964, als die Art in der Bundesrepublik Deutschland erstmals im praktischen Anbau erprobt wurde, hat sie, was den Saatgutbedarf betrifft, nach Luzerne den zweiten Platz erringen können. Der Persische Klee ist außerordentlich formenreich. Am wertvollsten ist die großblättrige und nach dem Schnitt gut nachwachsende ssp. *suaveolens*. Bei vorherrschender Fremdbefruchtung ist die Art teilweise selbstfertil. Als erste marktgängige Zuchtsorte hat sich die portugiesische »Marak« auch in der Bundesrepublik Deutschland bewährt. Aus der Zuchtarbeit von ZIEGENBEIN in Bad Hersfeld ist eine deutsche Sorte hervorgegangen. Die OECD-Liste (OECD 1984) enthält sieben Sorten. Auf dem Saatgutmarkt herrschen Iran-Herkünfte vor.

5.3.6 Hornschotenklee (*Lotus corniculatus* L.)

Der Hornschotenklee ist von Natur aus eine ausdauernde, winterharte Kleeart der Wiesengesellschaften auf relativ trockenem, kalkhaltigem Boden. Charakteristisch sind die fünfgeteilten Blätter und die gelben Blütendolden. Die Art ist praktisch selbststeril. Als besondere Zuchtziele gelten geringer Gehalt des zyanogenen Wirkstoffes Lotaustralin, Platzfestigkeit der Hülsen und Langlebigkeit. Der verwandte Sumpfschotenklee, *L. uliginosus* Schkuhr, unterscheidet sich durch unterirdische Ausläufer und hohle Stengel; er hat in Neuseeland als *L. pedunculatus*, von dem auch eine Sorte existiert, eine gewisse Verbreitung gefunden. Die OECD-Liste (OECD 1984) verzeichnet 18 Sorten. In der Bundesrepublik Deutschland sind drei Sorten registriert. Das benötigte Saatgut kommt aus Frankreich.

5.3.7 Steinklee (*Melilotus alba* Med.) und (*M. officinalis* [L.] Pall.)

Die beiden Steinkleearten, nämlich der weißblühende, *M. alba* und der gelbblühende, *M. officinalis*, besitzen große Bedeutung für den Futterbau in den Vereinigten Staaten und Kanada. Als bodenverbessernde Pflanzen sind sie infolge ihres tiefreichenden, verzweigten Wurzelsystems unübertroffen.

Steinklee ist zweijährig, nur vom weißen Steinklee gibt es auch eine einjährige Abart, den Hubamklee. In Europa hat sich Steinklee, obwohl als Ruderalpflanze überall verbreitet, als Kulturpflanze bisher nicht durchsetzen können. Hauptnachteil ist der hohe Cumarin Gehalt, der nicht nur die Schmackhaftigkeit beeinträchtigt, sondern auch bei Haustieren zu schweren Erkrankungen mit Todesfolge führen kann. SMITH (1964) ist es erstmals gelungen, durch Einkreuzung von *M. dentata* in *M. alba*, später auch in *M. officinalis*, cumarinarmen Steinklee zu züchten. Gegenwärtig sind zwei weißblühende und drei gelbblühende Steinkleesorten amtlich registriert. Weiterführende Literatur bei ROEMER & RUDOLF (1959) und HEATH et al. (1973).

5.3.8 Esparsette (*Onobrychis viciifolia* Scop.)

Die Esparsette ist eine winterharte, ausdauernde Pflanze kalkreicher trockener Böden. Sie ist durch gefiederte Blätter und blattachselständige, langgestielte, ährige, fleischfarbene Blütenstände

gekennzeichnet. In Europa konzentriert sich der Anbau auf die Mittelmeerländer und Osteuropa. Neuerdings findet sie in USA und Kanada als Alternative zu Luzerne vermehrt Beachtung. In Deutschland ist sie durch die ertragreichere Luzerne fast gänzlich verdrängt worden. Die Esparsette ist fremdbefruchtend. Es gibt ein- und mehrschnittige Formen, wobei im praktischen Anbau die ersteren überwiegen. Seit alters wird der hohe Futterwert gerühmt. Im Gegensatz zu anderen Kleearten soll die Esparsette kein Aufblähen verursachen. Tetraploide Formen sind hergestellt, aber noch nicht zu Sorten entwickelt worden. In der OECD-Liste (OECD 1984) sind 13 Sorten verzeichnet.

5.3.9 Sonstige Arten

Zu den Leguminosen, die außerhalb Europas, insbesondere in USA und Australien, eine mehr oder minder große Bedeutung erlangt haben und wovon Zuchtsorten vorliegen, gehören die folgenden (die Zahl der in der OECD-Liste (OECD 1984) verzeichneten Sorten ist in Klammern gesetzt): *Astragalus cicer* L. (1 CDN); *Centrosema pubescens* Beuth. (1 AUS); *Coronilla varia* L., vornehmlich als Erosionsschutz für Straßenböschungen zuerst in USA, neuerdings auch in Deutschland (3 USA, H); *Lathyrus cicera* L. (3 GR, P); *Lespedeza stipulacea* Maxim. (2 USA); *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, tropischer Strauch (1 AUS); *Macropitium atropurpureum* (DC.) Urb. (1 AUS); *Medicago litoralis* Rohde ex Loisel. (1 AUS); *M. lupulina* L. (1 DK); *M. rugosa* Desr. (3 AUS); *M. scutellata* (L.) Will. (1 AUS); *M. tornata* (L.) Mill. (1 AUS); *M. truncatula* (L.) Gaertn. (3 AUS); *Ornithopus sativus* Brot. (1 P); *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Swartz (4 AUS); *S. hamata* (L.) Taub. (1 AUS); *S. humilis* H. B. K.; *S. scabra* Vog. (2 AUS); *Trifolium fragiferum* (3 AUS, USA); *T. semipilosum* Fres. (1 AUS); *T. subterraneum* L. (17 AUS).

Literatur

- ANDERSON, M. K., N. L. TAYLOR & R. KIRTHAVIP, 1972: Development and performance of double-cross hybrid red clover. *Crop. Sci.* 12, 240-242.
- BARNES, D. K., E. T. BINGHAM, R. P. MURPHY, O. J. HUNT, D. F. BEARD, W. H. SKRDLA & L. R. TEUBER, 1977: Alfalfa germplasm in the United States: Genetic vulnerability, use, improvement, and maintenance. US. Dept. Agr., Agr. Res. Serv., Tech. Tull. 1571.
- , F. J. FROHNEISER, E. L. SORENSSEN et al., 1974: Standard tests to characterize pest resistance in alfalfa varieties. US. Dept. Agr., Agr. Res. Serv., Leaflet NC-19.
- BEHNINGER, P., 1963: Ein Beitrag zur Sicherheit des Rotklee-Anbaues, insbesondere durch Bekämpfung des Kleekrebes (*Secerotinia trifoliorum* Erikss.). Bayer. Landwirtschaft. Jahrb. 40, 643-670.
- BINGFORS, S., & K. B. ERIKSSON, 1968: Some problems connected with resistance breeding against stem nematodes in Sweden. *Z. Pflanzenzüchtg.* 59, 359-375.

- BINGHAM, E. T.: 1971: Isolation of haploids of tetraploid alfalfa. *Crop. Sci.* **11**, 433-435.
- , & J. W. SAUNDERS, 1974: Chromosome manipulations in alfalfa: Sealing the cultivated tetraploid to seven ploidy levels. *Crop. Sci.* **14**, 474-477.
- BOITOS, Z.: 1981: Breeding hybrid lucerne for high forage yield combined with good seed yield. Rep. Eucarpia Fodder Crops Sect. Meeting, 107-116.
- BUSHICE, T. H., & R. Y. GURGIS, 1976: Evaluating parents and predicting performance of synthetic alfalfa varieties. US. Dept. Agr., Agr. Res. Serv., Leaflet S-130.
- CHILDERS, W. R.: 1952: Male sterility in *Medicago sativa* L. *Sci. Agr.* **32**, 351-364.
- , & D. K. BARNES, 1972: Evolution of hybrid alfalfa. *Agr. Sci. Rev.* **10**, 11-18.
- CONNOLLY, V., & R. WRIGHT-TURNER, 1982: White clover breeding. E. E. C. Workshop: The efficiency of N-utilization by grass and legume and on grass clover swards. 13-20. Braunschweig.
- DAVIS, W. H., & J. M. GREENBLATT, 1967: Cytoplasmic male sterility in alfalfa. *J. Hered.* **58**, 301-305.
- DENNIS, B.: 1975: Self-compatibility and inbreeding in autotetraploid red clover. Rep. Eucarpia Fodder Crops Sect. Meeting, 43-45.
- DUDLEY, J. W.: 1964: A genetic evaluation of methods utilizing heterozygosity and dominance in autotetraploids. *Crop. Sci.* **4**, 410-413.
- EVANS, A. M.: 1961: Polyploid production in lucerne. Rep. Welsh Pl. Breed. Stn. 1960, 38.
- FERGUS, E. N., & E. A. HOLLOWELL, 1960: Red clover. *Adv. Agron.* **12**, 366-436.
- FRANCIS, C. M., & B. J. QUINLIVAN, 1974: Selection for formononin content in red clover (*Trifolium pratense*). Proc. XII. Int. Grassl. Congr. **3**, 754-758. Moscow, Ausgabe MIR.
- GUMANIUC, L.: 1973: Male sterility in lucerne. *Probl. Genet. Teor. Apl.* **5**, 373-388.
- GUY, P.: 1976: Amélioration de la luzerne pour la résistance aux ravageurs et aux parasitismes européens. Compt. Rend. Réunion d'Eucarpia-Group *Medicago sativa*, 54-67.
- HANSON, C. H. (ed.), 1972: Alfalfa science and technology. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- , H. O. GRAUMANN, L. J. ELLING, J. W. DUDLEY & H. L. HOVIN, 1964: Performance of two-clone crosses in alfalfa and an unanticipated self-pollination problem. US. Dept. Agr., Agr. Res. Serv., Techn. Bull. 1300.
- , —, W. R. KEHR, H. L. CARNAHAN, R. L. DAVIS, J. W. DUDLEY, L. J. ELLING, C. C. LOWE, D. SMITH, E. L. SORENSEN & C. P. WILSIE, 1964: Relative performance of alfalfa varieties, variety crosses, and variety mixtures. US. Dept. Agr., Agr. Res. Serv., Proc. Res. Rep. 83.
- HEATH, M. E., D. S. METCALFE & R. F. BARNES, 1973: Forages. 3rd Ed., Ames, Iowa: Iowa State University Press.
- HOFFMANN, W., A. MUDRA & W. PLARRE, 1971: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Bd. 1, S. 107 ff. Berlin—Hamburg: Verlag Paul Parey.
- JULÉN, G.: 1970: Breeding for increased yield of dry matter and of seed in tetraploid red clover. Rep. Eucarpia Fodder Crops Sect. Meet. 157-167.
- , 1974: Selection for improved protein content in red clover. *Växtdödling* **29**, 121-125.
- , 1975: The current situation in the tetraploid red clover. Rep. Eucarpia Fodder Crops Sect. Meet. 79-89.
- KAUFFELD, N. M., & E. L. SORENSEN, 1971: Interrelations of honeybee preference of alfalfa clones and flower color, aroma, nectar volume, and sugar concentration. *Kansas Agric. Exp. Stn., Res. Publ.* No. 163.
- LEFFEL, R. C.: 1963: Pseudo-self-compatibility and segregation of gametophytic self-incompatibility alleles in red clover, *Trifolium pratense* L. *Crop Sci.* **3**, 377-380.
- LESINS, K.: 1961: Mode of fertilization in relation to breeding methods in alfalfa. *Z. Pflanzenzüchtg.* **45**, 31-54.
- MANSAT, P., J. PICARD & F. BARTHOT, 1966: Value of selection at diploid level before tetraploidization. Proc. X. Intern. Grassl. Congr. 672-676. Helsinki, Finn. Grassl. Assoc.
- MCLENNAN, H. A.: 1963: Honey bees selective of male fertile over male sterile alfalfa plants in growth chamber top cross. *Forage Notes* **9**, 47-48.
- MASSENOT, M.: 1978: Données utiles au sélectionneur pour améliorer la résistance des luzernes à l'égard des maladies et ravageurs. Éditions S. E. J., C. N. R. A., Versailles, Étude No. 64.
- National Alfalfa Improvement Conference, 1981: Alfalfa Scientists. Address and Activity Directory.
- OECD, 1984: List of cultivars eligible for certification. Organisation for Economic-Co-operation and Development, Paris.
- PEDERSEN, M. W.: 1967: Cross-pollination studies involving three purple-flowered alfalfas, one white-flowered line, and two pollinator species. *Crop Sci.* **7**, 59-62.
- PIRIE, N. W.: 1971: Leaf protein: Its agronomy, preparation, quality and use. IBP Handbook No. 20. Oxford—Edinburgh: Blackwell Scientific Publications.
- RAYNAL, G., J. GONDRAN & P. GUY, 1976: Enquête sur les maladies de la luzerne. Compt. Rend. Réunion d'Eucarpia-Group *Medicago sativa*, 68-82.
- ROEMER, TH., & W. RUDORF, 1959. In: KAPPERT, H., & RUDORF (ed.), *Handbuch der Pflanzenzüchtung*, 2. Aufl., Bd. IV. Berlin—Hamburg: Verlag Paul Parey.
- ROWE, D. E., & R. Y. GURGIS, 1982: Evaluation of alfalfa synthetic varieties: Prediction of yield in advanced generations and average clone effects. *Crop Sci.* **22**, 868-871.
- SIMON, U.: 1962: Inheritance of polyphyly in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Crop Sci.* **2**, 258.
- , 1969: Beitrag zur Selektion und Sortenbildung in der Luzernezüchtung. Bayer. Landwirtschaft. Jahrb. **46**, 346-358.
- , 1970: Advances in the production and use of bred forage crop varieties in Germany and their genetic quality after multiplication in different environments. Proc. XI Intern. Grassl. Congr. 308-312. St. Lucia, Queensland; Univ. Queensland Press.
- , 1971: Einfluß der Zusammensetzung auf den Ertrag synthetischer Luzernesorten. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* **134**, 165-174.
- , A. KASTENBAUER & C. S. GARRISON, 1974: Growth type and yield comparisons of forage species after seed multiplication in Germany and in the United States I. Red clover, alfalfa and white clover. *Crop Sci.* **14**, 682-686.
- , A. SPANAKAKIS & H. SCHELLER, 1975: Combining effects in a complete reciprocal diallel cross of nine non-inbred lucerne clones. *Z. Pflanzenzüchtg.* **74**, 322-330.
- SMITH, W. K.: 1964: Denta sweet clover (Reg. No. 5). *Crop Sci.* **4**, 666-667.
- STUECKARDT, R.: 1971: Die Ausnutzung allgemeiner und spezifischer Kombinationseffekte bei pollenfertilen und -sterilen Luzerneklonen. *Archiv Züchtungsforsch.* **1**, 259-274.
- TAYLOR, N., & R. R. SMITH, 1979: Red clover breeding and genetics. *Adv. Agron.* **31**, 125-154.
- TYSDAL, H. M., & J. R. GARL, 1940: A new method of emasculation. *J. Amer. Soc. Agron.* **32**, 405-406.
- , T. A. KIESSELBACH & H. L. WESTOVER, 1942: Alfalfa breeding. *Nebraska Agric. Exp. Sta. Res. Bull.* **124**, 1-46.
- WRIGHT, C. E.: 1961: A systematic polycross design. *Res. Exp. Rec. Min. Agr., Northern Ireland* **1961**, **11**, Pt. 1, 7-8.