

Züchtung – Voraussetzung für erfolgreiche Pflanzen im Sektor Nachwachsende Rohstoffe

Ziele und Aussichten dargestellt am Beispiel von Ölpflanzen

W. Friedt, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität, Gießen

Nachwachsende pflanzliche Rohstoffe werden bereits seit längerer Zeit intensiv als Produktions- und Verwendungsalternativen diskutiert. Der in jüngster Zeit dramatisch beschleunigte Verfall der Erzeugerpreise bei Getreide und Ölfrüchten hat die Diskussion verstärkt aufleben lassen. Viele sehen in einer Produktion nachwachsender Rohstoffe eine Chance für die Landwirtschaft. Hierbei wird die Erzeugung von Ölsaaten bzw. alternativer Fette und Öle für technische und oleochemische Zwecke im allgemeinen als kurzfristig besonders aussichtsreich bewertet. Dieser Beitrag versucht darzulegen, welche Pflanzenarten hierfür mit welcher Priorität in Frage kommen und welche Perspektiven sich aus neueren Pflanzenzüchtungsmethoden in Zukunft ergeben können.

Welche Pflanzenarten sind erfolgversprechend?

Im Vergleich zu der Vielfalt der in der Welt vorkommenden ölhaltigen Pflanzen sind derzeit nur wenige unter den Klimabedingungen Mitteleuropas für eine Erzeugung industriell nutzbarer Öle, z. B. mit spezifischen langkettigen oder seltenen Fettsäuren, von Bedeutung. Bei diesen schon bewährten landwirtschaftlichen Kulturarten, wie dem Raps, dem Lein und – regional begrenzt – der Sonnenblume, stehen brauchbare, das heißt leistungsfähige und adaptierte Sorten für eine ökonomisch tragfähige Erzeugung von Industrie-Pflanzenöl zur Verfügung. Die Qualitätsansprüche der oleochemischen Industrie sind mit den verfügbaren, adaptier-

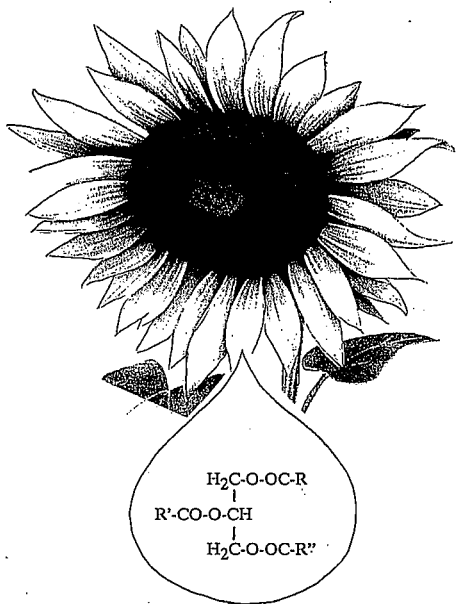


Abb. 1: Fette Öle sind Gemische von Triacylglycerolen (Triglyceride); in der allgemeinen Formel stehen R, R', und R'' für verschiedene Fettsäurereste.

ten Kulturpflanzenarten jedoch nur dann erfüllbar, wenn die Ölqualität mit Hilfe genetisch-züchterischer Methoden entsprechend verändert bzw. den Erfordernissen besser angepaßt werden kann. Das Öl besteht aus Fettsäuren, die an Glycerin als Träger gebunden sind (Triglyzeride, cf. Abb. 1). Auch für eine Verwertung als Hydrauliköl oder Schmierstoffe und als Brenn- oder Treibstoff („Bio-Diesel“) ist das Fettsäuremuster nicht ganz bedeutungslos. Hier fehlt es aber teilweise noch an konkreten Vorstellungen über die jeweils günstigste Ölzusammensetzung.

Neben den genannten Ölpflanzen werden weitere Pflanzenarten – wie Leindotter, Gelbsenf, Brauner Senf, Ölradie, Crambe, Mohn, u. a. – als potentielle Alternativen für eine Erzeugung nachwachsender Rohstoffe diskutiert. Die genannten Arten, von denen die ersten fünf der Familie der Kreuziferen (Kreuzblütler) angehören, waren in früherer Zeit in Deutschland bereits im Anbau oder im Versuch und sind somit für unsere Klimabedingungen geeignet. Daß sie aus dem Anbau verdrängt worden sind, liegt vor allem an der unzureichenden Ertragsleistung bzw. ungünstigeren Ölqualität im Vergleich zu anderen Kulturarten. Eine Erzeugung von industriell nutzbaren Rohstoffen kann deshalb nicht schon allein damit gewährleistet werden, daß man Pflanzen propagiert, die im Wettbewerb mit anderen Kulturen längst ausgeschieden sind. Es ist sicher richtig, möglichst viele Alternativen in die Überlegungen einzubeziehen. Es ist aber nicht minder wichtig, eine kritische Wertung vorzunehmen bzw. darauf hinzuweisen, daß die diskutierten „alternativen Ölpflanzen“ noch intensiv züchterisch bearbeitet werden müssen, um sie konkurrenzfähig zu machen.

Ebenso wie der Industriepflanzenanbau wirtschaftlichen Ansprüchen gerecht werden muß, besteht die berechtigte Forderung nach ökologisch vertretbarer Erzeugung, hier ebenso wie in der modernen Pflanzenproduktion generell. Diesbezüglich läßt der Anbau von industriellen Ölpflanzen keine besonderen oder zusätzlichen Risiken für die Umwelt erwarten. Es kann gezeigt werden, daß im Hinblick auf Düngung und Pflanzenschutz sogar eine Verringerung der Belastung möglich ist. Darüber hinaus kann der Anbau bestimmter Industriepflanzen – wie etwa des Leins oder Flachses – möglicherweise zu einer Entgiftung von schwermetall- oder pathogenverseuchten Böden beitragen helfen.

Ziele der Ölpflanzenzüchtung und ihre Realisierbarkeit

Die Realisierung der von der aufnehmenden Hand vorgegebenen Zuchtziele sollte sinnvollerweise zunächst bei den genannten, heute bereits anbauwürdigen Pflanzenarten angestrebt werden. Denn für eine ökonomische Erzeugung von Ölen, die Fettsäuren mit spezifischer Wirkung enthalten – z. B. Gamma-Linolensäure aus der Nachtkerze (*Oenothera*) bzw. dem Boretsch oder Petroselinensäure aus Doldenblütlern wie dem Koriander – müssen diese und andere bereits genannte Pflanzenarten züchterisch noch wesentlich hinsichtlich ihrer Ertrageigenschaften verbessert werden.

Die im Folgenden näher beschriebenen primären Ziele sind jedoch mit Hilfe der genannten, adaptierten und leistungsfähigen Ölpflanzen – nämlich Raps, Lein und Sonnenblume – heute schon realisierbar; dabei

geht es in jedem Fall um die Maximierung des Anteiles einer Fettsäure im Öl. Die in Abb. 1 und Tab. 1 verwendete Kurzschreibweise weist jeweils auf die Kohlenstoff-Kettenlänge der betreffenden Fettsäure sowie die Anzahl ungesättigter Doppelbindungen hin; C18:1 kennzeichnet also eine Fettsäure mit 18 Kohlenstoff-Atomen und einer Doppelbindung.

1. Beispiel: hoher Ölsäure-Gehalt

Die Ölsäure (C18:1) wird bisher praktisch ausschließlich aus dem Abfallprodukt Rin-

dertalg gewonnen, wobei ein maximaler technischer Reinheitsgrad von ca. 70 % erzielbar ist. Daher sind Pflanzenöle mit einem höheren Ölsäuregehalt für die fetthemische Industrie in jedem Falle interessant. Die vielversprechendsten Kulturarten hierfür sind in Mitteleuropa der Raps und die Sonnenblume (sog. „high-oleic“ Typen); vgl. Tab. 1. Heutiges Rapsöl für Speisezwecke enthält maximal 60 % Ölsäure; allerdings sind auch hier ölsäure-reichere Typen in Entwicklung.

Bei der Sonnenblume sind die derzeit für die Speiseölgewinnung angebauten Sorten zwar ausnahmslos Linolsäure-Typen, aber in

Tab. 1: Vergleichende Gegenüberstellung von Ertragsleistung, Ölgehalt und Ölzusammensetzung aktueller Lein-, Sonnenblumen- und Winterraps-Sorten

	Fettsäuren * (% Öl)					Ölgehalt (%)	Ertrag Samen	(dt/ha) Öl
	18:1	18:2	18:3	22:1	sonst.			
Lein	15	15	<u>60</u>	—	10	42–46	22–30	10–14
Sonnenblume								
akt. Sorten	20	70	0	—	10	45–50	29–46	14–21
Ölsäure-Typ	<u>88</u>	<u>3</u>	1	—	8	45–50	25–40	12–20
Raps								
00-Sorten	62	20	9	1	8	40–45	30–50	15–20
„E-Typ“	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>8</u>	<u>55</u>	10	40–45	30–40	15–20

* Reihenfolge: gesättigte Fettsäuren, Öl (18:1), Linol- (18:2), Linolensäure (18:3) und Erucasäure (22:1); letztere kommt nur bei den Kreuzifern vor. Die Hauptfettsäure ist jeweils unterstrichen.

jüngster Zeit befinden sich Sorten mit bis zu 90 % Ölsäure im Öl in Entwicklung und werden in wenigen Jahren für den Anbau zur Verfügung stehen. Für unsere Verhältnisse ist neben der Selektion möglichst frühreifer Linien mit maximalem Ölsäureanteil auch die Auslese auf Resistenz gegen Krankheiten, wie die Stengel- und Korbfäule (Schad-erreger Sclerotinia) und den Grauschimmel (Botrytis) unabdingbar für einen ausgedehnten, ökonomisch und ökologisch vertretbaren Anbau von „Industriesonnenblumen.“

2. Beispiel: hoher Linolsäure-Gehalt

Auch hier ist an erster Stelle die Sonnenblume zu nennen. Das Öl heutiger hochleistungs-fähiger Sonnenblumensorten („konventioneller Typ“) enthält die Linolsäure (C18:2) als Hauptfettsäure (ca. 70 %, vgl. Tab. 1); hierzu gibt es derzeit keine Alternative. Das Ertragspotential moderner Sonnenblumen-Hybriden darf in klimatisch günstigen Lagen mit wenigstens 40 dt/ha beziffert werden. Darüber hinaus darf davon ausge-

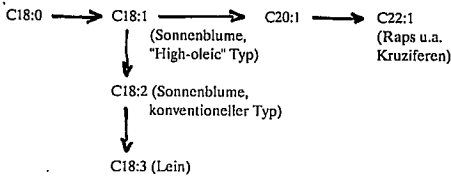


Abb. 2: Wesentliche Schritte der Fettsäurebildung in den Zellen von Ölpflanzen. Über zyklische Verlängerung der Kohlenstoff(C)-Ketten entsteht schließlich die Stearinsäure (C18:0), aus der durch Einführung einer Doppelbindung die Ölsäure (C18:1) gebildet wird. Daraus werden – vor allem bei Kreuzblütlern – über weitere Elongation (Kettenverlängerung) die Eicosen- (C20:1) und Erucasäure (C22:1) gebildet. Andererseits werden durch Desaturation (Einfügung von Doppelbindungen) die Linol- (C18:2) und Linolensäure (C18:3) gebildet; in Klammern: Pflanzen bei denen die jeweilige Fettsäure am stärksten vertreten ist.

gangen werden, daß mit Hilfe einer noch besseren Ausschöpfung der „Heterosis“ (Bastardwüchsigkeit) mit zukünftigen Hybriden bei der fremdbefruchtenden Sonnenblume noch höhere Ertragsleistungen erreichbar sein werden.

Auch der Raps könnte eine Alternative für die Gewinnung linolsäurereicher Öle werden, wenn es züchterisch gelingt, den C18:2-Gehalt weiter zu steigern. Ansätze da-

für sind vorhanden, und insbesondere die große „Flexibilität“ der Raps-pflanze in fortpflanzungsbiologischer und leistungsmäßiger Hinsicht in Verbindung mit den gegebenen Anwendungsmöglichkeiten von „Biotechniken“ (s.u.) lassen noch wesentliche Verbesserungen der agronomischen Leistungseigenschaften erwarten.

3. Beispiel: hoher Linolensäure-Gehalt

Hierher gehören vor allem der Lein und der Leindotter. Die Leinpflanze wird bereits seit Jahrtausenden auf vielfältigste Weise genutzt – u. a. auch als Quelle für „Nichtnahrungsole“. Leinöl enthält durchschnittlich 60 % (Tab. 1) und maximal bis zu 70 % Linolensäure (C18:3) und ist daher eine der wenigen Quellen, aus der diese Fettsäure mit einer Reinheit von mehr als 95 % hergestellt werden kann. Die Samenerträge beim Öllein variieren bei optimaler Produktionstechnik zwischen 20 und 30 dt/ha (Tab. 1); in der landwirtschaftlichen Praxis werden diese Erträge wegen mangelhafter Kenntnis der Kulturart Lein vielfach nicht erreicht. Eine intensive züchterische und pflanzenbauliche Bearbeitung ist daher erforderlich, um über eine wesentliche Verbesserung der Ertrags-höhe und Stabilität den Öllein-Anbau für die Landwirtschaft ökonomisch interessanter zu gestalten. In dieser Richtung wurden in jüngster Zeit Fortschritte gemacht. Allerdings darf nicht erwartet werden, daß Erträge deutlich über 30 dt/ha kurzfristig realisierbar sein werden, denn der Zuchtfortschritt bei dem selbstbefruchtenden Lein ist eher langsam, und die Biotechnologie hat bisher noch nicht entscheidend zu einer Beschleunigung beitragen können.

Auch bei Leindotter konnten die Erträge durch züchterische Bearbeitung mittlerweile auf über 20 dt/ha angehoben werden. Allerdings bedarf hier die Ölqualität noch einer wesentlichen Verbesserung, da neben Linolensäure (ca. 35 %) erhebliche Anteile an Eicosensäure (C20:1) und fünf weitere Fettsäure vorhanden sind. Eine weitere intensive züchterische Verbesserung wäre somit auch hier Voraussetzung für die spätere Bereitstellung marktfähiger Sorten.

Tab. 2: Verwendungszwecke für wichtige Fettsäuren und deren Derivate (nach verschiedenen Quellen)

Fettsäure	Realisierbare Verwendungsmöglichkeiten
Ölsäure (C18:1)	Nahrungsfette, Fritierfett, oleochemische Industrie (Olefin-Ersatz) Speiseöl, Margarine Lacke u. Farben (trocknende Öle), Linoleum Tenside, Detergentien, Additive
Linolsäure (C18:2)	
Linolensäure (C18:3)	
Erucasäure (C22:1)	

4. Beispiel: hoher Erucasäure-Gehalt

Bezüglich der Gewinnung von Erucasäure (C22:1) sind ausschließlich Kreuzifern-Arten von Bedeutung, wie der Raps sowie die Senfarten *B. juncea* (Brauner Senf) und *Sinapis alba* (Weißer/Gelber Senf). Alle Arten sind von Natur aus reich an Erucasäure im Öl. In aktuellem Zuchtmaterial wurden die höchsten Gehalte mit mehr als 60 % beim Weißen Senf gefunden. Dennoch kommt kurzfristig nur der Raps für eine ökonomisch vertretbare Erucasäuregewinnung in Betracht, da nur hier leistungsstärkere Winterformen mit einem Ertragspotential von wenigstens 50 dt/ha verfügbar sind und erucasäurereiche Formen mit gleichzeitig niedrigem Glucosinolat-Gehalt im Schrot derzeit schon in Zuchtprogrammen entwickelt werden, so daß eine Verwertung der Preßrückstände in der Tierfütterung in Zukunft möglich wird.

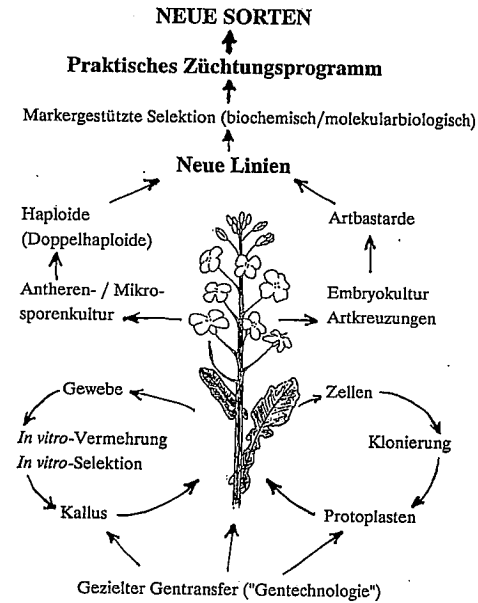


Abb. 3: Die „Biotechnologie“ beinhaltet verschiedene zell- und molekularbiologische Methoden, die für die Pflanzenzüchtung von mehr oder weniger großer Bedeutung sind.

Methodische Weiterentwicklungen – Aussichten und Grenzen

In der pflanzenzüchterischen Forschung haben moderne zell- und molekularbiologische Methoden – oft auch unter dem Begriff „Biotechnologie“ zusammengefaßt – eine erfolgversprechende praxisorientierte Weiterentwicklung erfahren. Die im folgenden genannten „Bio-Techniken“ stehen heute für mehr oder weniger gezielte Modifikationen von Einzelzellen oder Geweben zur Verfügung (vgl. Abb. 3):
– somatische Gewebe- oder Zellkultur zur schnellen Vermehrung über die Regene-

MERKMAL

("Phänotyp", z.B. Ölqualität)

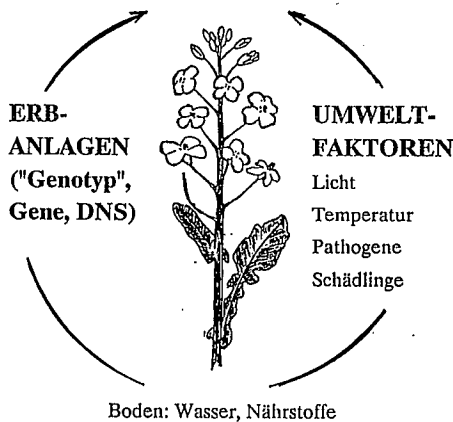


Abb. 4: Die Leistungseigenschaften der Sorten – wie Resistenz, Ertrag und Qualität (der Phänotyp) – werden nur zum Teil durch die Erbanlagen (den Genotyp) bestimmt, denn die Ausprägung dieser Eigenschaften kann u. U. in beträchtlichem Maße durch Umweltfaktoren (d. h. den Standortbedingungen) modifiziert werden.

mäßig in vielen Zuchtprogrammen bei der schwierigen Selektion in frühen Generationen hilfreichen Einsatz finden werden.

Dies trifft umso mehr für weniger komplex vererbte Merkmale zu. Gemeint sind Merkmale wie die oben besprochene Fett- bzw. Ölqualität sowie Krankheits- oder Streß-Resistenzen, die von einzelnen oder wenigen Genen bestimmt und daher hochgradig erblich sind. Diesbezüglich dürfte auch eine praktische Anwendung der Gentechnik bald möglich werden.

Die Aussichten für schnelle Fortschritte durch die Anwendung solcher neuer Züch-

tungsmethoden sind jedoch – bei verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlich zu beurteilen. Beispielsweise sind die Anwendungschancen bei Kreuzblütlern wie dem Raps sehr gut, bei anderen Pflanzenarten – wie etwa der Sonnenblume – bisher dagegen noch nicht sehr verlockend. Eine denkbare zukünftige Kombination der Entwicklung verbesserter Linien über Haploide (Antheren-, Pollenkultur) mit einer systematischen Nutzung der „Heterosis“ in Form von Synthetischen Sorten oder Hybriden dürfte noch wesentlich verbesserte Winterrapsorten hervorbringen. Insbesondere die Hybridzüchtung ist im Hinblick auf eine Optimierung von Ertrag, Qualität und Resistenz bei fremdbefruchtenden Arten – vor allem bei der Sonnenblume aber auch beim Raps – von außerordentlich großem Interesse. Auch bei den übrigen Ölpflanzen können zuchtmethodische Alternativen entwickelt werden. Mit Hilfe molekularbiologischer Methoden und der Gentechnologie wird es außerdem in absehbarer Zeit möglich werden, fast beliebige Ölqualitäten in unterschiedliche Pflanzenarten einzubringen.

Schließlich wird es aber auch in Zukunft erforderlich bleiben, die Leistungsfähigkeit und Stabilität der gezüchteten Sortenkandidaten – ob sie nun auf „klassische“ oder „moderne“ Weise erzeugt worden sind – unter variierenden Standortbedingungen und in verschiedenen Jahren zu prüfen. Denn nicht allein genetische Faktoren – d. h. die Erbanlagen (der „Genotyp“) – bestimmen die pflanzlichen Eigenschaften, wie Ölqualität, Krankheitsresistenz oder Ertrag, sondern die Ausprägung dieser Eigenschaften wird durch Umweltfaktoren mehr oder weniger stark modifiziert (Abb. 4). Aus diesem Grunde ist es stets notwendig, im Rahmen produktionstechnischer Versuche die Anbauverfahren für die Kulturen – sowohl altbewährte als auch neue Pflanzen – fortwährend zu optimieren.

ration von Pflanzen aus Kallus, z. B. bei den Kreuziferen-Arten (v. a. Raps).

- Kultur von Staubgefäßen oder Pollen (Antheren- oder Mikrosporenkultur) zur Regeneration haploider Pflanzen („Haploid-Technik“), z. B. bei Raps und Lein.
- Embryokultur zur Rettung von „weiten“ Kreuzungen zwischen Kultur- und Wildformen, z. B. in der Gattung Helianthus, zu der die Sonnenblumen gehört.
- Protoplasten-Kultur und Regeneration für die Herstellung „asexueller“ Art- oder Gattungsbastarde oder die gezielte Übertragung fremden genetischen Materials („Gentechnik“), bisher v. a. in der Familie der Kreuzblütler.
- Entwicklung indirekter, markergestützter Selektionsmethoden mit Hilfe molekularbiologischer Techniken – insbesondere über die Auswertung von „Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismen“ („RFLP-Technik“).
- Anwendung der Gentechnologie (vgl. K. Dohmen, 1988: Gentechnologie – Die andere Schöpfung?, J. B. Metzler) mit Hilfe geeigneter Vektorsysteme (z. B. Agrobacterium tumefaciens), bisher praktisch ausschließlich bei zweikeimblättrigen Pflanzen – vor allem auch bei den Kreuzifern.

Indes, erst wenn aus den modifizierten Zellen/Geweben auch intakte Pflanzen regeneriert werden können, können diese Techniken in der praktischen Pflanzenzüchtung wirksam Anwendung finden. Der Einsatz von Zell- und Gewebekultur-Techniken in der Pflanzenzüchtung wird zwar zunehmend propagiert und beispielsweise in der Rapszüchtung auch schon praktiziert, bleibt aber noch immer durch genotypisch bedingte, weniger gute Reaktion verschiedener Arten – z. B. der Sonnenblume – eingeschränkt. Selbst bei allgemein gut reagierenden Arten ist z. T. eine beträchtliche Variation zwischen verschiedenen Genotypen feststellbar, z. B. beim Lein: Aufgrund zahlreicher Untersuchungsergebnisse schein „Gewebekulturtauglichkeit“ eine zwar komplexe, aber immerhin erbliche Eigenschaft zu sein. Deshalb dürften Zuchtfortschritte hinsichtlich dieses Merkmals in Kombination mit agronomischen Leistungseigenschaften möglich sein. Beispielsweise zeigt die Ölleinsorte „Atalante“ eine recht gute Eignung für die Antherenkultur. Reinerbige („doppelhaploide“) Linien aus Kreuzungen mit dieser oder ähnlichen Sorten gewonnene können durchaus mit konventionell selektierten Stämmen konkurrenzfähig sein. Solche „Haploid-Schritte“ können dazu dienen, die Züchtung in jungen Generationen zu beschleunigen und zu vereinfachen.

Die kommerzielle Pflanzenzüchtung wird heute noch weitgehend „konventionell“ praktiziert – das heißt mit den in Jahrzehnten bewährten Methoden und dabei äußerst erfolgreich. Insbesondere bei sogenannten quantitativen Merkmalen, wie z. B. dem Kornertrag, der von vielen Genen („polygenisch“) bestimmt wird, wird dies wohl auch auf absehbare Zeit so bleiben. Solche Merkmale weisen im allgemeinen eine geringe Erblichkeit („Heritabilität“) auf und sind daher züchterisch schwierig beeinflussbar. Hier ist auf absehbare Zeit wenig direkte Hilfe durch die Gentechnik zu erhoffen. Andererseits darf erwartet werden, daß molekulargenetische Techniken – wie die erwähnte „RFLP-Technik“ – schon sehr bald routine-