

Heiko Becker

# Pflanzen- züchtung

3. Auflage



**Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage**

Böhlau Verlag · Wien · Köln · Weimar  
Verlag Barbara Budrich · Opladen · Toronto  
facultas · Wien  
Wilhelm Fink · Paderborn  
Narr Francke Attempto Verlag · Tübingen  
Haupt Verlag · Bern  
Verlag Julius Klinkhardt · Bad Heilbrunn  
Mohr Siebeck · Tübingen  
Ernst Reinhardt Verlag · München  
Ferdinand Schöningh · Paderborn  
Eugen Ulmer Verlag · Stuttgart  
UVK Verlag · München  
Vandenhoeck & Ruprecht · Göttingen  
Waxmann · Münster · New York  
wvb Publikation · Bielefeld



Heiko Becker

# Pflanzenzüchtung

3., vollständig überarbeitete Auflage

112 Abbildungen  
63 Tabellen

Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

**Prof. Dr. Heiko Becker**, Jahrgang 1950, war von 1995–2018 Professor für Pflanzenzüchtung an der Georg-August-Universität Göttingen. Studium in Freiburg und Berlin, 1994 Diplom in Biologie an der Freien Universität (FU) Berlin. 1978 Dissertation in Agrarwissenschaft an der Universität Hohenheim, 1988 Habilitation für Pflanzenzüchtung an der Universität Hohenheim. 1987–1994 Dozent an der Swedish University of Agricultural Science, Department of Plant Breeding, Svalöv.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 1993, 2019 Eugen Ulmer KG

Wollgrasweg 41, 70599 Stuttgart (Hohenheim)

E-Mail: [info@ulmer.de](mailto:info@ulmer.de)

Internet: [www.ulmer.de](http://www.ulmer.de)

Lektorat: Sabine Mann

Herstellung: Jürgen Sprengel

Umschlagbild: © Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG  
(Erhaltungszuchtanlagen Winterraps in Malchow 2008)

Umschlaggestaltung: Atelier Reichert, Stuttgart

Satz und Repro: Bernd Burkart; [www.form-und-produktion.de](http://www.form-und-produktion.de)

Druck und Bindung: Pustet, Regensburg

Printed in Germany

UTB Band-Nr. 1744

ISBN 978-3-8252-4950-2 (Print)

ISBN 978-3-8385-4950-7 (E-Book)

# Inhalt

Vorwort zur 1. Auflage . . . . .	8
Vorwort zur 3. Auflage . . . . .	8
<b>1 Ziele der Pflanzenzüchtung</b> . . . . .	9
1.1 Evolution und Pflanzenzüchtung . . . . .	9
1.2 Pflanzenzüchtung heute:	
Gesellschaftliche Rahmenbedingungen . . . . .	17
1.3 Pflanzenzüchtung und Welternährung . . . . .	18
1.4 Pflanzen als Nachwachsender Rohstoff und Energiequelle . . . . .	21
1.5 Pflanzenzüchtung und Biologische Vielfalt . . . . .	24
1.6 Zielsetzung und Gliederung dieses Buches . . . . .	26
<b>2 Sortenwesen</b> . . . . .	30
2.1 Organisation von Züchtung und Vermehrung . . . . .	31
2.2 Sortenschutz . . . . .	34
2.3 Sortenzulassung . . . . .	37
2.4 Saatgutanerkennung . . . . .	41
2.5 Saatgut als Betriebsmittel . . . . .	42
2.6 Nachbauregelung . . . . .	44
<b>3 Ertrag</b> . . . . .	48
3.1 Ertrag als Zuchtziel . . . . .	48
3.2 Erfassung des Ertrags in Feldversuchen . . . . .	52
3.3 Pflanzenzüchtung und Ertragsphysiologie . . . . .	55
<b>4 Qualität</b> . . . . .	67
4.1 Anforderungen an die pflanzliche Qualität . . . . .	67
4.2 Drei Beispiele: Raps, Weizen, Kartoffel . . . . .	70
4.3 Möglichkeiten und Grenzen der Qualitätszüchtung . . . . .	78

<b>5 Resistenz und Toleranz</b>	84
5.1 Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge	84
5.2 Strategien der Resistenzzüchtung	90
5.3 Toleranz gegenüber abiotischem Stress	97
<b>6 Populationsgenetik</b>	104
6.1 Einige Grundbegriffe	104
6.2 Zufalls paarung und Inzucht	108
6.3 Selektion und Mutation	112
<b>7 Quantitative Genetik</b>	119
7.1 Quantitative Variation	119
7.2 Heritabilität	125
7.3 Genotyp-Umwelt Interaktion	127
7.4 Zerlegung des genotypischen Wertes	133
7.5 Identifizierung einzelner Gene (QTL-Analyse)	135
<b>8 Der Selektionserfolg</b>	144
8.1 Faktoren des Selektionserfolges	144
8.2 Korrelierter und indirekter Selektionserfolg	150
8.3 Genomische Selektion	154
8.4 Selektion auf mehrere Merkmale	157
8.5 Wahl der Selektionsumwelt	160
<b>9 Heterosis und Inzuchtdepression</b>	167
9.1 Das Phänomen Heterosis	168
9.2 Genetische Basis der Heterosis	171
9.3 Züchterische Konsequenzen	175
<b>10 Genetische Ressourcen</b>	179
10.1 Nutzung genetischer Ressourcen	179
10.2 Erhaltung genetischer Ressourcen	186
<b>11 Kreuzung, Rückkreuzung, Protoplastenfusion</b>	194
11.1 Genetische Rekombination	194
11.2 Rückkreuzung	197
11.3 Protoplastenfusion	203
<b>12 Mutationsauslösung und Polyploidie</b>	207
12.1 Genmutationen	207
12.2 Genom-Editierung (u. a. CRISPR/Cas)	213
12.3 Chromosomenmutationen	217
12.4 Genommutationen	218
<b>13 Gentechnik</b>	226
13.1 Rückblick	226
13.2 Methoden	230

---

13.3 Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	236
13.4 Risiken . . . . .	244
13.5 Gesetzlichen Rahmenbedingungen . . . . .	249
13.6 Ausblick . . . . .	250
<b>14 Die vier Züchtungskategorien . . . . .</b>	<b>255</b>
<b>15 Klonzüchtung . . . . .</b>	<b>259</b>
15.1 Das Zuchtschema . . . . .	259
15.2 Erhaltungszüchtung . . . . .	262
15.3 Weitere Aspekte der Klonzüchtung . . . . .	263
<b>16 Linienzüchtung . . . . .</b>	<b>268</b>
16.1 Zwei klassische Zuchtschemen . . . . .	268
16.2 Einige Modifikationen . . . . .	271
16.3 Bewertung der Methoden . . . . .	274
16.4 Erhaltungszüchtung . . . . .	277
16.5 Rekurrente Selektion bei Selbstbefruchtern . . . . .	278
<b>17 Hybridzüchtung . . . . .</b>	<b>281</b>
17.1 Hybridmechanismen . . . . .	282
17.2 Hybridzüchtung bei Selbstbefruchtern . . . . .	286
17.3 Hybridzüchtung bei Fremdbefruchtern . . . . .	292
17.4 Saatgutproduktion und Erhaltungszüchtung . . . . .	299
<b>18 Populationszüchtung . . . . .</b>	<b>304</b>
18.1 Massenauslese . . . . .	304
18.2 Restsaatgutmethode . . . . .	305
18.3 Synthetische Sorten . . . . .	307
18.4 Bewertung der Methoden . . . . .	312
18.5 Erhaltungszüchtung . . . . .	312
18.6 Rekurrente Selektion bei Fremdbefruchtern . . . . .	314
<b>19 Vergleich der Züchtungskategorien . . . . .</b>	<b>319</b>
19.1 Züchtungsphasen . . . . .	319
19.2 Wahl zwischen verschiedenen Sortentypen . . . . .	323
19.3 Züchtung von Arten mit gemischter Befruchtung . . . . .	326
<b>20 Ausblick . . . . .</b>	<b>328</b>
20.1 Neue Konzepte: „Omics“-basierte Züchtung . . . . .	328
20.2 Neue Techniken: „high-throughput“ Analysen . . . . .	333
20.3 Neue Herausforderungen: Klimawandel und Welternährung	336
20.4 Visionen . . . . .	339
<b>Anhang: Stichworte zur Speziellen Pflanzenzüchtung . . . . .</b>	<b>343</b>
Literaturverzeichnis . . . . .	362
Sachregister . . . . .	364

## Vorwort zur 1. Auflage

*„Alles Gescheite ist schon gedacht worden, man muß nur versuchen, es noch einmal zu denken“*

Johann Wolfgang v. Goethe

*„An allem muß gezweifelt werden“*

Karl Marx

Dieses Buch richtet sich in erster Linie an Studenten der Agrarwissenschaften, die sich auf die Studienrichtung Pflanzenproduktion spezialisieren möchten. Es kann aber auch allen anderen Interessierten einen ersten Überblick über die Pflanzenzüchtung geben. Auswahl und Darstellung des Stoffes bauen auf den Vorlesungen auf, in denen ich bei F. W. Schnell in Hohenheim die Allgemeine Pflanzenzüchtung gelernt habe.

Als ich mit Herrn Roland Ulmer, dem ich für seine Geduld an dieser Stelle herzlich danken möchte, vor langer Zeit vereinbarte, ein „Kurzlehrbuch“ der Pflanzenzüchtung zu schreiben, war mir nur teilweise bewusst, auf was ich mich damit eingelassen hatte. Ich danke allen Kollegen und Freunden für ihr Verständnis, dass während der Arbeit an „meinem Buch“ andere dienstliche Verpflichtungen und private Vergnügungen zeitweise in den Hintergrund traten.

Für Unterstützung, sachliche Hinweise, technische Hilfe und kritische Kommentare zu Manuskriptentwürfen gilt mein Dank G. Röbbelen und D. Adam, D. Borchardt, D. Böringer, R. v. Broock, A. Busch, G. Engqvist, P. Franck, H. H. Geiger, A. Gertz, H. Jaiser, E. Karlsson-Strese, A. E. Melchinger, W. Odenbach, M. Röhrig, B. Sattelmacher, G. Seitz, J. Strahwald, G. Svensson, H. F. Utz, vielen anderen, Tobias Künkle und Wolfgang Link.

Da ich nicht alle gutgemeinten Ratschläge befolgt habe, enthält dieses Buch wahrscheinlich noch sachliche Fehler und mit Sicherheit manche schwerverständliche Passage. Für entsprechende Hinweise bin ich allen Leserinnen und Lesern dankbar.

Svalöv und Hohenheim im Sommer 1992

Heiko Becker

## Vorwort zur 3. Auflage

Für die Neuauflage wurden alle Kapitel durchgesehen und aktualisiert. Wirklich „neu“ ist seit der vorigen Auflage die zunehmende Bedeutung der „Genomischen Selektion“ und das „Genom Editieren“. Für diese Methoden wurden in den entsprechenden Kapiteln (Selektionserfolg, Mutationsauslösung, Gentechnik) neue Abschnitte eingefügt. Für Unterstützung bei der Recherche und Anfertigung von Abbildungen und Tabellen gilt mein Dank wieder Peter Jantsch.

Göttingen, im Januar 2019

Heiko Becker

# 1 Ziele der Pflanzenzüchtung

- 1.1 Evolution und Pflanzenzüchtung
- 1.2 Pflanzenzüchtung heute: Gesellschaftliche Rahmenbedingungen
- 1.3 Pflanzenzüchtung und Welternährung
- 1.4 Pflanzen als Nachwachsender Rohstoff und Energiequelle
- 1.5 Pflanzenzüchtung und Biologische Vielfalt
- 1.6 Zielsetzung und Gliederung dieses Buches

„Wofür arbeitet ihr?  
Ich halte dafür,  
daß das einzige Ziel  
der Wissenschaft  
darin besteht,  
die Mühseligkeit  
der menschlichen  
Existenz zu  
erleichtern“

Bertolt Brecht (1898–1956),  
deutscher Dramatiker  
(aus „Leben des Galilei“)

Die Pflanzenzüchtung hat das Ziel, Pflanzen genetisch so zu verändern, dass sie besser an die Bedürfnisse des Menschen angepasst sind. Sie ist so alt wie die Landwirtschaft, und ihre Zielsetzung ist eng verknüpft mit den allgemeinen Zielen des Anbaus von Kulturpflanzen.

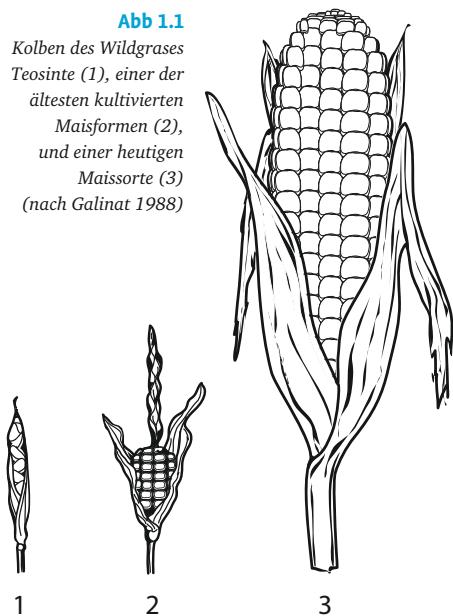
In diesem einführenden Kapitel wird zunächst ein kurzer Überblick über die Geschichte der Pflanzenzüchtung und über die Entwicklung der züchterischen Methoden gegeben. Dann wird der Einfluss gesellschaftlicher und landwirtschaftlicher Rahmenbedingungen auf die Pflanzenzüchtung dargestellt. Es folgt ein Überblick über die Bedeutung der Pflanzenzüchtung für die Welternährung und für die Energie- und Rohstofferzeugung. Es wird auf den Zusammenhang zwischen Pflanzenzüchtung und Biodiversität hingewiesen, und abschließend wird die Gliederung dieses Buches erläutert.

## 1.1 Evolution und Pflanzenzüchtung

Die Pflanzenzüchtung ist keine moderne Erfindung, sondern so alt wie die Landwirtschaft. Die Ernährung der heutigen Menschheit wäre unmöglich, wenn wir nicht die Kulturpflanzen nutzen könnten, die durch menschliche Auslese in den vergangenen Jahrhunderten und Jahrtausenden entstanden sind.

**Abb 1.1**

Kolben des Wildgrases *Teosinte* (1), einer der ältesten kultivierten Maisformen (2), und einer heutigen Maissorte (3) (nach Galinat 1988)



1

2

3

Beispiel: aus Teosinte wird Mais

platzfeste Hülsen

Ähren ohne Spindelbrüchigkeit

Das vielleicht eindrucksvollste Beispiel für die Evolution von Kulturpflanzen ist der Mais. Abbildung 1.1 zeigt neben einem Kolben des Wildgrases *Teosinte* einen etwa 6000 Jahre alten Maiskolben aus einem Höhlenfund in Neu-Mexiko und den Kolben einer heutigen Maissorte. Der älteste angebaute Mais ist entstanden durch eine Auslese aus *Teosinte*; man kann auch heutige Maissorten mit *Teosinte* kreuzen und erhält dann fertile Nachkommen.

Die Entwicklung der Wildpflanze *Teosinte* zu einer der wichtigsten Kulturpflanzen ist keine Leistung moderner „wissenschaftlicher“ Pflanzenzüchtung, sondern das Ergebnis jahrtausendelanger Auslese durch die Indianerinnen Mittelamerikas. Die ersten Maiskolben, die Kolumbus mit nach Europa brachte, waren schon ungefähr so groß wie die unserer heutigen Sorten. Auch wenn seitdem die Flächenerträge von Mais noch um das mehrfache gesteigert werden konnten, fand der „große Sprung“ von der Wildart zur

Kulturpflanze wie auch bei fast allen anderen Pflanzen vor Beginn unserer modernen, von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen beeinflussten Landwirtschaft statt. Die Entwicklung der Kulturpflanzen ist eine der wichtigsten Leistungen in der Geschichte der Menschheit.

### Charakteristische Merkmale von Kulturpflanzen

Als Ergebnis der natürlichen Evolution sind Wildarten darauf ausgerichtet, ihre Nachkommen möglichst weit zu verbreiten. Dies widerspricht aber den Interessen des Menschen, zumindest wenn Samen geerntet werden sollen. Das typischste Merkmal von Kulturpflanzen ist es daher, dass die natürliche Ausbreitung von Samen reduziert ist. So bleiben die Hülsen bei kultivierten Erbsen und Bohnen bei der Reife geschlossen, während sie bei ihren wilden Vorfahren aufplatzen. Entsprechend zeichnen sich unsere Getreidearten dadurch aus, dass die Ähre bis zur Reife auf dem Halm stehen bleibt, während bei wilden Gräsern die Spindel brüchig ist und die reife Ähre auseinander fällt. Besonders deutlich ist dies beim Mais zu erkennen, der eine völlig vom Menschen abhängige „Hauspflanze“ ist, die fast jede Fähigkeit zur natürlichen Ausbreitung verloren hat. Bei einer reifen Maispflanze sitzen die Körner fest am Kolben und würden, wenn sie nicht geerntet würden, irgendwann mit der Pflanze zu Boden fallen und alle an der Stelle liegen bleiben, wo ihre Mutterpflanze stand.

Bei Mais, Getreide und Körnerleguminosen ist auch gut ein zweites Kulturpflanzenmerkmal zu erkennen: in der Regel sind die Samen und

Früchte sehr viel größer als bei wilden Verwandten. Auch dies ist ein Ergebnis der Auslese über Jahrtausende, und fand vor Beginn der modernen Pflanzenzüchtung statt.

Samengröße

Ein drittes typisches Kulturpflanzenmerkmal ist nicht so offensichtlich. Die Samen sehr vieler Wildpflanzen haben eine Keimruhe („Dormanz“), sie keimen nicht sofort nach der Ernte, sondern erst verzögert und häufig über mehrere Jahre verteilt, um sich gegenseitig weniger Konkurrenz zu machen und z. B. Trockenheitsperioden entgehen zu können. Kulturpflanzen sind dagegen darauf selektiert worden, nach Aussaat schnell und gleichmäßig zu keimen, sie haben also keine Dormanz mehr.

keine Dormanz

Schließlich unterscheiden sich Kulturpflanzen von ihren wilden Vorfahren häufig dadurch, dass sie frei sind von Bitterstoffen, die als natürlicher Schutz gegen Fraßfeinde dienen. Bestes Beispiel dafür ist die Kartoffel, von der es etwa 160 wildwachsende Arten gibt, deren Knollen Alkalioide enthalten. Wildkartoffeln sind daher bitter und außerdem giftig. Vor mehr als 4000 Jahren entdeckten Indios im Hochland von Peru spontan aufgetretene Mutanten, die frei von Alkaloiden waren und die den Ursprung unserer heutigen Speisekartoffeln bilden.

keine Bitterstoffe

### Ursprung und Heimat unserer Kulturpflanzen

Unsere Kulturpflanzen haben ihren Ursprung in den verschiedensten Weltteilen. Dies hängt damit zusammen, dass die Landwirtschaft unabhängig voneinander mehrmals „erfunden“ wurde. Das älteste Zentrum des Ackerbaus liegt im „fruchtbaren Halbmond“, einer Gegend die sich vom heutigen Palästina aus halbmondförmig über Israel, Jordanien, Syrien, Ost-Türkei und den Iran bis in den Irak und an den Persischen Golf erstreckt. Dort wurden vor etwa 10 000 Jahren als erste Kulturpflanzen verschiedene Weizenarten, Gerste, Erbsen und Linsen angebaut, die Jahrtausende später von dort aus nach Mitteleuropa gelangten. Ursprüngliche Zentren des Ackerbaus liegen außerdem in Ostasien, in Äquatorialafrika und in Mittelamerika. Diese ältesten Ackerbaukulturen beruhten auf unterschiedlichen Hauptnahrungspflanzen, in der Regel auf Stärke liefernden Getreiden ergänzt durch eiweißreiche Leguminosen. Der Kombination Weizen/Gerste mit Erbse/Linse im Nahen Osten entsprachen in Asien Reis mit Sojabohne, in Afrika Hirse mit Kuhbohne und in Amerika Mais und *Phaseolus*-Bohne.

„fruchtbarer Halbmond“

Über die Anfänge der Landwirtschaft gibt es keine schriftlichen Dokumente und daher unterschiedliche Theorien. Es erscheint aber plausibel, dass es dabei eine Arbeitsteilung gab. Bevor die Menschen sesshaft wurden, Gärten und Felder anlegten und Vieh hielten, haben die Frauen Samen, Früchte und Wurzeln essbarer Pflanzen gesammelt, während sich die Männer die Zeit mit der Jagd vertrieben. Wahrscheinlich waren es daher vor allem Frauen, die begannen in der Nähe der Wohnstätten Pflanzen anzubauen und dabei eine ständige Auslese zu treiben.

Beginn des Ackerbaus

In der Geschichte der Menschheit kam es zu großen Wanderungsbewegungen und oft wurden dabei Samen der wichtigsten Nahrungspflanzen mitgenommen. Später wurden bei Eroberungs- und Entdeckungsreisen

Völkerwanderungen und Saatguttausch gerne exotische Pflanzen gesammelt. Dadurch gelangten schon vor Jahrtausenden Weizen, Gerste, Roggen, Hafer, Linsen, Erbsen, Ackerbohnen und Lein aus dem Nahen Osten nach Mitteleuropa, ebenso der Hanf aus China. Erst in historischer Zeit kamen Mais und Kartoffeln aus Mittel- und Südamerika und die Sonnenblume aus Nordamerika nach Europa. Umgekehrt wurde der Weizen von Europa aus nach Afrika und Amerika ausgebreitet, die Sojabohne von Asien nach Amerika, die Erdnuss von Amerika nach Afrika und das Zuckerrohr von Asien über Europa nach Amerika. Daher ist der Begriff „einheimisch“ bei Kulturpflanzen fragwürdig; im Grunde haben Kulturpflanzen keine Heimat. Zumindest die wichtigsten unter ihnen sind Kosmopoliten, die um die Welt wandern und überall dort angebaut werden, wo sie die Bedürfnisse der einheimischen Bevölkerung befriedigen.

„Heimat“ von Kulturpflanzen?

### **Beginn der modernen Pflanzenzüchtung**

Im Laufe des 19. Jahrhunderts begann eine neue Epoche in der Geschichte der Pflanzenzüchtung in Europa. Während bis dahin die Auslese und Saatguterzeugung für die Landwirte weitgehend Teil ihrer normalen Arbeit war, begannen nun einige Landwirte sich stärker auf die Züchtung zu konzentrieren. Die Produktion von Verkaufssaatgut wurde vor allem für einige Großbetriebe zu einem wichtigen Betriebszweig, und nach und nach entwickelten sich so die ersten Saatzuchtunternehmen. Einige dieser Betriebe bestehen bis heute als mittelständische Familienunternehmen.

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts beruhte die Züchtung fast ausschließlich auf Erfahrungswissen der Züchter. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entstand dann die Genetik als neue Wissenschaft, die sich von Anfang an auch mit züchterischen Fragen beschäftigte. Dies hat zu einem wesentlich besseren Verständnis der Zuchtmethoden geführt, und auch zu einer sehr viel effizienteren Planung von Zuchtprogrammen. Die grundlegenden Prinzipien unserer heutigen Zuchtmethoden haben sich aber seit dem 19. Jahrhundert nicht geändert. Eine bemerkenswerte Ausnahme ist die Hybridzüchtung, die sich erst im Laufe des 20. Jahrhunderts bei vielen wichtigen Fruchtarten durchsetzte. Die Hybridzüchtung erfordert Grundkenntnissen der Genetik, da sie die genetischen Phänomene Heterosis und Inzuchtdepression nutzt.

→ Kap. 8:  
Der Selektionserfolg

→ Kap. 9:  
Heterosis und Inzuchtdepression

### **Der Grundgedanke aller Zuchtmethoden: Rekurrente Selektion**

Im Grunde können alle Zuchtmethoden als rekurrente, d. h. wiederkehrende Selektion (engl. *recurrent selection*) aufgefasst werden: jedes Zuchtschema führt zu einer neuen Sorte, die in der Regel in sich weitgehend einheitlich ist und kaum noch genetische Variabilität enthält. Daher muss für die Züchtung der nächsten Sorte wieder neue Variabilität geschaffen werden. Die Züchtung ist also gewissermaßen ein ständiges Wechseln zwischen Einschränkung und Schaffung von Variation.

Ein allgemeines Schema der rekurrenten Selektion ist in Abbildung 1.2 dargestellt. Das Zuchtmaterial wird dabei schrittweise verbessert. In

einer genetisch variablen Ausgangspopulation werden die besten Genotypen selektiert. Sie dienen zur Entwicklung von neuen Sorten, gleichzeitig werden sie aber auch durch Kreuzungen rekombiniert, um neue Variabilität zu schaffen. In dieser verbesserten Population werden nun wiederum die besten Genotypen selektiert und anschließend rekombiniert. Durch Nutzung genetischer Ressourcen wird dabei auch ständig neue Variation in dieses System eingeführt, da sonst früher oder später die vorhandene genetische Variation erschöpft wäre.

Das Schema in Abbildung 1.2 ist sehr allgemein und zugegebenermaßen etwas abstrakt. Die konkrete Ausgestaltung hängt stark vom natürlichen Befruchtungssystem einer Art ab, das für die Populationsstruktur einer Sorte bestimmt ist. Je nach Befruchtungssystem gibt es daher unterschiedliche Züchtungskategorien mit unterschiedlichen Zuchtmethoden. Bei einigen Arten, wie z. B. der Kartoffel, erfolgt die Vermehrung nicht über Samen, sondern durch eine **vegetative Vermehrung**. Dies führt zu Sorten, bei denen die Pflanzen untereinander genetisch identisch sind, also zu Klonen. Bei Arten, die ihre Samen durch **Selbstbefruchtung** bilden, führt die Selektion zu Liniensorten, bei **Fremdbefruchtung** zu Populationssorten. Eine spezielle Situation liegt bei Hybridsorten vor, die durch die **gezielte Kombination** von zwei Komponenten entstehen. Die Diskussion von Vor- und Nachteilen der Hybridzüchtung ist sehr spannend, da es bei einigen wichtigen Fruchtarten wie Raps oder Roggen zurzeit neben Hybridsorten auch andere Sortentypen auf dem Markt gibt.

wiederholte Zyklen von Selektion und Rekombination

→ Kap. 6. Populationsgenetik

→ Kap. 14.

Die vier Züchtungskategorien

→ Kap. 15. Klonzüchtung

→ Kap. 16. Linienzüchtung

→ Kap. 18. Populationszüchtung

→ Kap. 17. Hybridzüchtung

→ Kap. 19. Vergleich der Züchtungskategorien

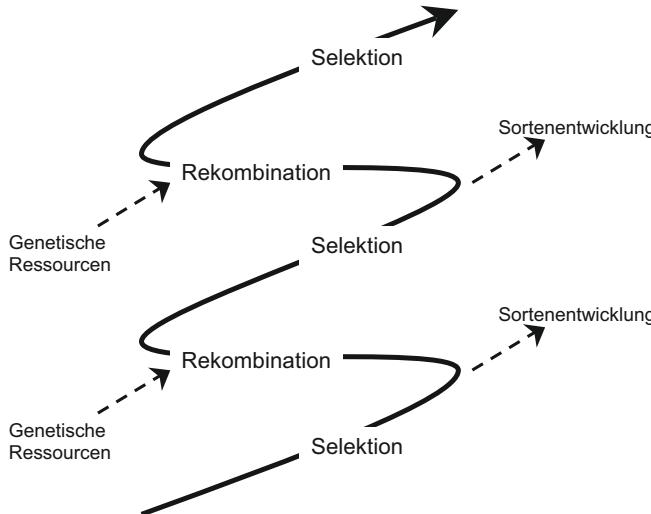


Abb. 1.2

Allgemeines Schema einer rekurrenten Selektion

### Entwicklung pflanzenzüchterischer Techniken

Auch wenn die Pflanzenzüchtung so alt ist wie die Landwirtschaft, haben sich die verwendeten technischen Verfahren natürlich im Laufe der Zeit stark verändert. Der einfachste und über Jahrtausende angewendete Weg der Züchtung ist die Auslese unter der spontan auftretenden Variation. Etwa seit 1800, also schon lange vor Mendels berühmten Versuchen, wurden aber z.B. bei Erbsen oder Kartoffeln auch künstliche Kreuzungen durchgeführt, um neue Variation zu erzeugen. Im Gegensatz zur Nutzung der spontanen Variation setzte dies sowohl Kenntnisse über spezielle Kreuzungstechniken als auch eine gezielte Planung von einem Zuchtprogramm voraus. Im 20. Jahrhundert entdeckte man dann die Möglichkeit, durch Bestrahlung oder durch chemische Behandlung künstlich Mutationen auszulösen. Seit über 30 Jahren ist es darüber hinaus möglich, einzelne Gene zu isolieren und in andere, auch weit entfernte Organismen zu übertragen. Diese „Gentechnik“ hat dazu geführt, dass die Pflanzenzüchtung in den Blickpunkt einer breiten Öffentlichkeit geraten ist. Die bisherige Entwicklung der züchterischen Techniken ist in Tabelle 1.1 zusammengefasst. Über die zukünftige Entwicklung der Pflanzenzüchtung soll ganz am Ende dieses Buches etwas spekuliert werden.

→ Kap. 11. Kreuzung

→ Kap. 12. Mutationsauslösung

→ Kap. 13. Gentechnik

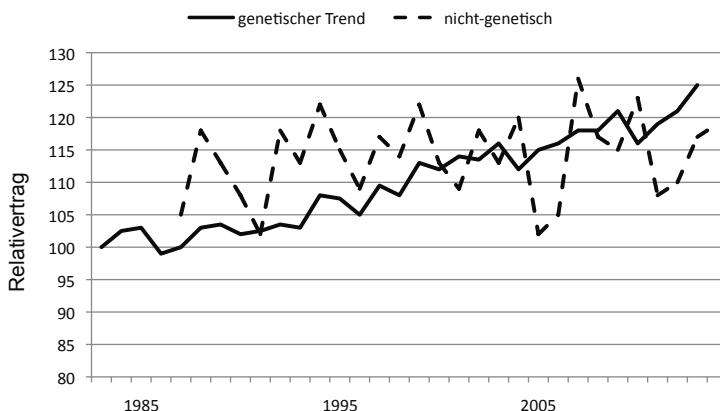
→ Kap. 20. Ausblick

### Die historischen Leistungen der Pflanzenzüchtung

Die Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft beruhen auf Fortschritten in der Anbautechnik, einer Intensivierung von Pflanzenschutz und Mineraldüngung, und auf genetisch verbesserten Sorten. Der Beitrag der Pflanzenzüchtung an den Ertragssteigerungen lässt sich auf zwei unterschiedlichen Wegen bestimmen. Man kann entweder alte und neue Sorten vergleichend anbauen, oder man kann aus langjährigen Versuchsserien rückblickend versuchen, genetische und nicht-genetische Ertragsentwicklungen zu berechnen. Als Beispiel für den zweiten Weg zeigt Abbildung 1.3 die Ertragsentwicklung von Winterweizen in der Bundesrepublik Deutschland. Der genetische Trend wurde aus offiziellen Versuchen zur Sortenzulassung berechnet, in denen neu angemeldete Sorten mit älteren Standardsorten verglichen werden. Aus den tatsächlichen Jahreserträgen in der Praxis wurde außerdem ein nicht-genetischer Einfluss auf die Erträge ermittelt, der im Wesentlichen die jährlichen Witterungsschwankungen wiedergibt. In den untersuchten 30 Jahren wurde eine genetische Ertragssteigerung von etwa 25 % beobachtet, also knapp 1 % züchterisch bedingter Ertragsfortschritt je Jahr. Auch andere Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass die züchterisch bedingten Ertragssteigerungen in Mitteleuropa je nach Fruchtart in der Größenordnung von jährlich 1 bis 2 % liegen.

Tab. 1.1 Quellen genetischer Variation in der Pflanzenzüchtung

Verfahren	Genutzt seit
Auslese spontaner Variation	mindestens 10 000 Jahren
Gezielte Kreuzung	ca. 1800
Künstliche Mutationsauslösung	1927
Transfer isolierter Gene	1983



**Abb. 1.3**  
Ertragsentwicklung bei Winterweizen in der Bundesrepublik Deutschland 1983–2014 (relativ, 1983 = 100), verändert nach Laidig et al. 2017

### Die Zuckerrübe

Als Beispiel für die Entstehung einer Kulturpflanze wird in Box 1.1 die Entwicklung der Zuckerrübe etwas ausführlicher dargestellt. Sie ist eine unserer jüngsten Kulturpflanzen, und daher ist ihre Geschichte genau bekannt. Anstoß für die Züchtung und den Anbau von Zuckerrüben war die politisch bedingte Knappeit von Rohrzucker im 18. Jahrhundert. Bis gegen Ende des 20. Jahrhunderts hatten Zuckerrohr und Zuckerrübe weltweit ähnliche Bedeutung, dann wurde aber der Anbau von Zuckerrohr sehr stark ausgeweitet, teilweise nach Rodung von Regenwäldern in Südamerika, während der Zuckerrübenanbau zurückging. Heute (2009) werden etwa 4,3 Millionen ha Zuckerrüben gegenüber etwa 23,7 Millionen ha Zuckerrohr angebaut, und etwa 75 % der Weltproduktion an Zucker stammt von Zuckerrohr. Das Beispiel Zuckerrübe zeigt, dass die Entwicklung der Pflanzenzüchtung bestimmt wird durch die biologischen Gegebenheiten und durch zuchtmethodische Fortschritte, aber auch durch sozio-ökonomische und politische Interessen.

→ Box 1.1.  
Zuckerrübe

### Box 1.1 Kulturpflanzenrevolution und Züchtungsgeschichte (Beispiel Zuckerrübe)

Zur Zuckerproduktion werden weltweit im Wesentlichen zwei Fruchtarten verwendet: die Zuckerrübe (*Beta vulgaris*) und das Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*). Zuckerrohr gehört zu der Familie der *Gramineae* (Süßgräser), ist also eng verwandt mit den Getreidearten. Die Zuckerrübe dagegen ist eine *Amaranthaceae* (Fuchsschwanzgewächs), und die Art *Beta vulgaris* umfasst

neben der Zuckerrübe auch die Futterrübe, den Mangold, und die Rote Bete.

Historisch gesehen ist die Zuckergewinnung aus Zuckerrohr weit älter. Die Zuckerrübe wird erst seit wenigen Jahrhunderten zur Zuckergewinnung genutzt. Ihr Erfolg ist ganz wesentlich ein Ergebnis züchterischer Auslese.

### Zuckerrohr

- 4000 v. Chr. Anbau von Zuckerrohr in Indien zur Zuckergewinnung
- 800 n. Chr. Anbau von Zuckerrohr in Italien und Spanien

- 1493 Christoph Columbus bringt Zuckerrohr nach Lateinamerika
- 1806: „Kontinentalsperre“: Napoleon verhindert Importe aus Übersee, u. a. von Rohrzucker.

### Zuckerrübe

- 4000 v. Chr. Anbau von *Beta* als Blatt- und Wurzelgemüse im Mittelmeerraum.
- Ca. 800 Verbreitung von Mangold und Roter Bete durch die Römer auch in Deutschland
- 1561 erste Erwähnung des Anbaus von Futterrüben als Viehfutter im Rheinland
- 1747 Nachweis von Zucker in Rüben durch den Physiker Andreas S. Marggraf
- 1786 Beginn der Auslese auf hohen Zuckergehalt durch Marggrafs Schüler Friedrich Carl Achard, Züchtung der „Weißen Schlesischen Zuckerrübe“, wahrscheinlich aus einer Kreuzung zwischen Futterrübe und Mangold
- 1802 Gründung der ersten Zuckerfabrik durch Achard in Cunern/Schlesien
- 19. Jahrhundert: kontinuierliche Steigerung des Zuckergehalts (Abbildung 1.4)

- 1945: Entdeckung einer cytoplasmatisch bedingten männlichen Sterilität durch den Amerikaner F. V. Owen; Voraussetzung zur Erzeugung von Hybridsaatgut;
- 1952: Entdeckung genetischer Einzelfruchtigkeit (Monogermie) durch den russischstämmigen Amerikaner Viacheslav F. Savitsky. Normalerweise sind mehrere Früchte zu einem Knäuel verwachsen (Abbildung 1.5) und die Keimlinge müssen von Hand vereinzelt werden.
- ca. 1960 Künstliche Polyploidisierung und Einführung polyploider Sorten.
- Heute werden ausschließlich monogerme Zuckerrüben als Hybridsorten angebaut, die entweder diploid oder triploid (aus Kreuzung zwischen diploiden und tetraploiden) sind.

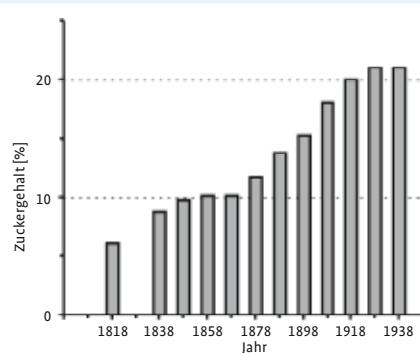


Abb. 1.4

Die Steigerung des Zuckergehalts der Zuckerrübe durch züchterische Selektion

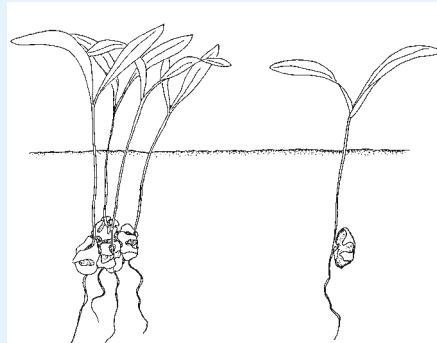


Abb. 1.5

Keimpflanzen von multigermen (links) und monogermen (rechts) Früchten der Zuckerrübe

## 1.2 Pflanzenzüchtung heute: Gesellschaftliche Rahmenbedingungen

In Deutschland und vielen anderen europäischen Ländern wird die Züchtung von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Pflanzen nahezu ausschließlich von privaten Unternehmen durchgeführt. Tabelle 1.2 zeigt, dass es sich bei der Saatgutindustrie um eine wichtige Branche handelt, in der eine vergleichsweise große Zahl von Unternehmen tätig ist.

Auch wenn die Pflanzenzüchtung privatwirtschaftlich organisiert ist, unterliegt sie in Deutschland und den meisten anderen Ländern umfangreichen gesetzlichen Regelungen. Diese betreffen sowohl die Zulassung neuer Sorten als auch den Handel mit Saatgut. Die Bestimmungen zum Sortenschutz sind seit 1961 in den Industrieländern weitgehend einheitlich. Erst seit 2004 gibt es darüber hinaus ein internationales Abkommen über pflanzengenetische Ressourcen, das auch die Rechte zur Verwendung von Genmaterial aus Entwicklungsländern regelt.

Die Züchtung neuer Sorten dauert lange, in der Regel etwa 10 Jahre, und erfordert hohe Investitionen. Daher konzentriert sich die Züchtung vor allem auf die wichtigsten Fruchtarten, und Veränderungen in der Anbaubedeutung einzelner Arten wirken sich auf den Umfang der züchterischen Aktivitäten aus. Abbildung 1.6 zeigt, dass sich die Anbauflächen der Hauptgetreidearten in den letzten Jahrzehnten stark verändert haben. Dementsprechend gibt es heute sehr große Zuchtprogramme bei Weizen und nur relativ geringe züchterische Aktivitäten bei Hafer. Bei Körnererbsen und Ackerbohnen mit noch geringeren Anbauflächen gibt es heute in Deutschland nur noch sehr wenige züchterische Aktivitäten.

Ein großes Problem für die Landwirtschaft zu Beginn des 21. Jahrhunderts sind extrem große Schwankungen in den Preisen für landwirt-

Tab. 1.2 Kennzahlen zur vorgelagerten Industrie im Bereich der Pflanzenproduktion in Deutschland

Branche	Anzahl Unternehmen	Umsatz (Milliarden €)
Düngemittel	8	1,6
Pflanzenschutz	15	1,4
Saatgut	41	0,9

Stand: 2009; Quelle: Agrarzeitung Ernährungsdienst

→ Kap. 2.  
Sortenwesen

Anbauumfang  
bestimmt  
Züchtungsintensität

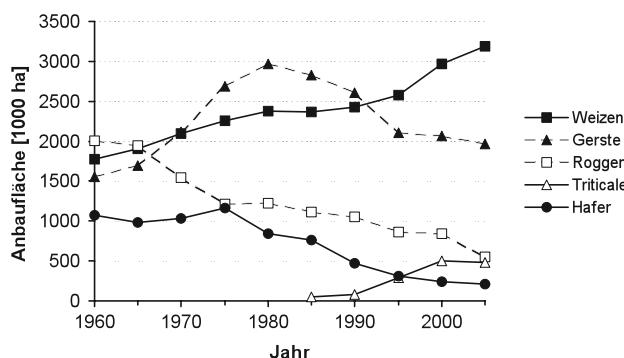


Abb. 1.6  
Entwicklung der Anbauflächen verschiedener Getreidearten in der Bundesrepublik Deutschland (ohne neue Bundesländer) 1960 bis 2005

Tab. 1.3 Nutzungsmöglichkeiten für pflanzliche erzeugnisse	
Nutzungsrichtung	Zukünftiger Bedarf
Menschliche Ernährung	Stark zunehmend
Tierernährung	Stark zunehmend
Energieerzeugung	vorübergehend zunehmend
Stoffliche Nutzung	möglicherweise zunehmend

schaftliche Produkte. So halten langfristige Prognosen Schwankungen des Weizenpreises zwischen 100 und 400 € je Tonne für möglich. Solche Preisentwicklungen beeinflussen natürlich Anbauentscheidungen und damit indirekt auch die Züchtung. So sind bei niedrigen Getreidepreisen extensivere Anbausysteme mit reduzierten Aufwendungen für Pflanzenschutz

Extensiv oder intensiv

attraktiv, und Sorten mit hoher genetisch bedingter Krankheitsresistenz gewinnen an Bedeutung. Bei hohen Getreidepreisen dagegen ist eine höhere Anbauintensität ökonomisch sinnvoll, und Aufwendungen für z.B. teures Hybridsaatgut sind lohnender. Leider können weder Züchter noch Ökonomen Preisentwicklungen zuverlässig vorhersagen.

Die Preise für Getreide im Verhältnis zum Rohölpreis und politischen Steuerungsmaßnahmen sind entscheidend für dessen Verwendung als Nahrungsmittel oder als Energiequelle. Die wichtigsten Nutzungsmöglichkeiten für Pflanzen sind in Tabelle 1.3 aufgeführt. Sie konkurrieren teilweise miteinander, und erfordern die Berücksichtigung unterschiedlicher Zuchtziele. Auf die Nutzung zur menschlichen Ernährung und zur Energieerzeugung wird in den nächsten beiden Abschnitten näher eingegangen.

### 1.3 Pflanzenzüchtung und Welternährung

Bekämpfung von Armut

Auf dem Welternährungsgipfel der UN 1996 wurde als ein „Milleniumsziel“ beschlossen, die Zahl der hungernden Menschen von damals 800 Millionen bis zum Jahr 2015 zu halbieren. Tatsächlich hungern aber immer noch über 800 Millionen Menschen. Der Hunger ist zweifellos auch ein Verteilungs und Armutsproblem, rein theoretisch könnten für die heutige Weltbevölkerung ausreichende Nahrungsmittel erzeugt werden. In Ländern wie Deutschland liegt heute der Anteil der Nahrungsmittel an den privaten Ausgaben unter 20 Prozent, wobei sogar Alkohol und Zigaretten mitgerechnet sind. In vielen Entwicklungsländern beträgt dieser Anteil aber 70–90%, so dass Armut bei steigenden Nahrungsmittelpreisen eine wichtige Ursache für Hunger ist.

Steigerung der Produktion

Andererseits sind aber etwa 50% der hungernden Menschen Kleinbauern und ihre Familien, denen eine Erhöhung der Erträge ihrer Felder unmittelbar zu Gute käme. Daher ist zur Sicherung der Welternährung neben der Armutsbekämpfung eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion eine ebenso wichtige Strategie.

Die Nachfrage nach Nahrungsmitteln wird sich in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts wahrscheinlich verdoppeln. Dies beruht einerseits auf den Anstieg der Weltbevölkerung um etwa 50%, und andererseits an zunehmendem Wohlstand in vielen Ländern Afrikas und vor allem Asiens. Bei steigendem Wohlstand ändern sich in der Regel die Ernährungsge-

wohnheiten stark und der Verzehr an tierischen Produkten nimmt zu. Für die Erzeugung von 1 kg Fleisch werden zwischen 3 kg (Geflügel und Schwein) bis zu 10 kg (Rind) Getreide benötigt. Bereits heute wird fast 40% der Weltproduktion an Getreide an Tiere zur Fleischproduktion verfüttert, und dieser Bedarf wird weiter erheblich ansteigen.

Änderung im Konsumverhalten

### Möglichkeiten zur Produktionssteigerung

Es gibt Schätzungen, dass es grundsätzlich möglich ist, die landwirtschaftliche Produktion bis 2050 weltweit zu verdoppeln. Die europäische Landwirtschaft war über mindestens zwei Jahrzehnte von Überschüssen geprägt. Es gab einen Zwang zu Flächenstilllegungen, der erst 2008 wegfiel, und die subventionierten Billig-Exporte in Länder der dritten Welt behinderten dort die Entwicklung der einheimischen Landwirtschaft. In einigen Regionen der Welt bestehen durchaus noch Möglichkeiten, bisher nicht genutzte Flächen in die landwirtschaftliche Produktion zu nehmen. Eine Produktionssteigerung wird aber vor allem durch eine Erhöhung der Erträge je Fläche zu erreichen sein.

Ausdehnung der Anbauflächen?

Vor allem in Afrika sind erhebliche Ertragssteigerungen durch intensive Düngung, Pflanzenschutz und Bewässerung zu erreichen. In Europa und vielen Teilen Asiens sind diese Möglichkeiten allerdings schon stark ausgeschöpft, und Produktionssteigerungen sind vor allem durch die Züchtung zu erwarten. Dabei geht es zunächst um eine weitere Steigerung des genetisch bedingten Ertragspotentials. Gleichzeitig sind zunehmend komplexere Qualitätsmerkmale zu berücksichtigen, die häufig nur schwer mit maximalen Erträgen zu kombinieren sind. Eine besondere Herausforderung an die Züchtung wird die Entwicklung von Sorten mit geringer Krankheitsanfälligkeit und hoher Widerstandskraft gegen Stressfaktoren wie Trockenheit oder Kälte sein. Welche Erfolge durch gezielte Züchtungsprogramme möglich sind, zeigt ein historischer Rückblick auf die „Grünen Revolution“ vor etwa 50 Jahren. In dieser Periode betrug die jährliche Steigerungsrate in der Getreideproduktion teilweise über 3%, während sie heute weltweit bei unter 1% liegt.

Steigerung der Flächenerträge

→ Kap. 3. Ertrag

### Die „Grüne Revolution“

In einem gemeinsam von der mexikanischen Regierung und der Rockefeller-Stiftung finanzierten Projekt wurden in den 40er und 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts Sorten entwickelt, die sich durch zwei Eigenschaften auszeichneten: einerseits führte die Einkreuzung von „Zwerg-Genen“ zu einer wesentlich kürzeren Wuchshöhe, andererseits wurde die Krankheitsresistenz durch Prüfungen und Auslese an sehr vielen unterschiedlichen Umwelten wesentlich erhöht. Dies führte zu großen Ertragssteigerungen; während Mexiko 1943 die Hälfte des Weizenbedarfs importieren musste, konnte bereits 1956 Weizen exportiert werden. Später wurde dieser Erfolg mit dem Schlagwort „Grüne Revolution“ versehen. In den 60er Jahren konnten in Indien die Erträge von Weizen und Reis durch die Einführung von Kurzstrohsorten in ähnlicher Weise gesteigert werden. Eine wichtige Rolle haben dabei internationale Forschungsinstitu-

Kurzstroh-Weizen

CIMMYT und IRRI

tute gespielt, die bis heute für die Züchtung und die Entwicklung von Anbausystemen eine sehr große Bedeutung haben, wie zum Beispiel das CIMMYT (Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo) in Mexiko und das IRRI (International Rice Research Institut) auf den Philippinen.

Wie Abbildung 1.7 zeigt, beruhten die Ertragssteigerungen jedoch nicht nur auf der Einführung besserer Sorten, sondern auch auf einer wesentlich höheren Mineraldüngung. Die neuen Sorten hatten ohne zusätzliche Mineraldüngung kaum einen höheren Ertrag als die traditionell angebaute Sorte „Yaqui“, aber sie waren in der Lage aufgrund ihrer besseren Standfestigkeit ein hohes Stickstoffangebot in eine Verdopplung des Ertrages umzusetzen. Dies ist ein typisches Beispiel für eine Wechselwirkung oder Interaktion zwischen den Genotypen und Umweltfaktoren, in diesem Fall der N-Düngung. Solche **Genotyp-Umwelt-Interaktionen** haben in der Pflanzenzüchtung eine sehr große Bedeutung und werden später ausführlich besprochen.

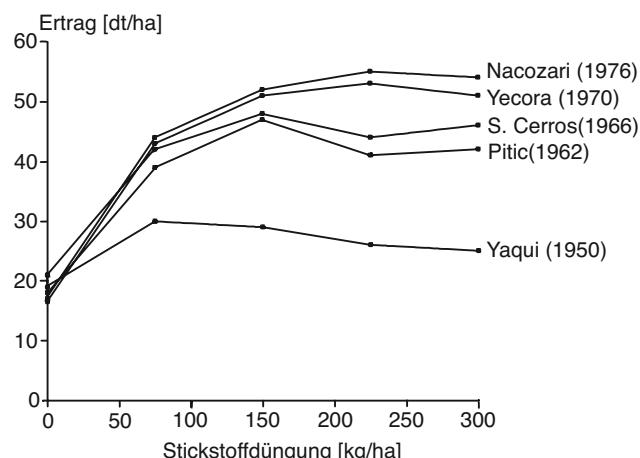
→ Kap. 7.  
Quantitative Genetik

Norman Borlaug  
(1914–2009)

Die Kombination von Züchtung und Intensivierung des Anbaus hat dazu geführt, dass die „Grüne Revolution“ auch auf heftige Kritik gestoßen ist. Vor allem in Indien kam es zu großen sozialen Problemen, und die Situation von Kleinbauern hat sich teilweise nur wenig verbessert. Auch hat sich die „Grüne Revolution“ zunächst auf Weizen und Reis konzentriert und dadurch zum Rückgang des Anbaus einheimischer Nahrungsplanten beigetragen.

Als „Vater der Grünen Revolution“ gilt der amerikanische Weizenzüchter Norman Borlaug. Er leitete seit 1944 das oben erwähnte mexikanische Weizenprogramm und arbeitete später auch in Indien an Kurzstrohsorten bei Reis. Er erhielt 1970 den Friedensnobelpreis und war danach jahrzehntelang der populärste Fürsprecher der Pflanzenzüchtung für Entwicklungsländer, und wies unermüdlich darauf hin, dass trotz aller Erfolge der Hunger in der Welt noch nicht beseitigt ist.

**Abb. 1.7**  
Reaktion von traditionellen mexikanischen Weizensorten und Sorten der „Grünen Revolution“ auf steigende Stickstoffdüngung (in Klammern: Jahr der Einführung der Sorte; nach Fasoulas 1988)



## 1.4 Pflanzen als Nachwachsender Rohstoff und Energiequelle

Die Nutzung von Pflanzen als Energiequelle und als Rohstoff hat heute eine große, möglicherweise noch zunehmende Bedeutung. Auch wenn es umstritten ist, „mit Weizen zu heizen“, sollte nicht vergessen werden, dass Pflanzen seit Beginn der Landwirtschaft auch für andere Zwecke als nur zur Ernährung von Mensch und Tier genutzt werden. Faserpflanzen wie Hanf und Baumwolle gehören zu den ältesten Kulturpflanzen der Menschheit. Pflanzen waren auch die erste Energiequelle, die der Mensch entdeckte und nutzte. Ein wichtiger Schritt in der Entwicklung der Menschheit war die Kontrolle über das Feuer und die damit verbundene Möglichkeit, die in Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie bei Bedarf in Wärmeenergie umzuwandeln. In vielen Teilen der Welt wird Wärme noch immer vor allem durch die Verbrennung von Holz oder Stroh erzeugt. Auch die Nutzung von pflanzlichen Ölen zu „non-food“ Zwecken ist sehr alt, wie antike tönerne Öllämpchen bezeugen.

Hanf und Baumwolle

### Nachwachsende Rohstoffe

Produkte aus pflanzlichen Rohstoffen haben zwei wesentliche Vorteile: erstens sind sie ein Beitrag zur Einsparung fossiler Rohstoffe, vorwiegend Erdöl, und zweitens sind sie leicht biologisch abbaubar und belasten die Umwelt relativ wenig. Historisch gesehen war über eine lange Zeit die Bedeutung von Pflanzen als Rohstoff rückläufig. Nessel, Hanf, Lein, Kautschuk und viele andere Pflanzen wurden ganz oder überwiegend durch synthetische Erdölprodukte ersetzt.

Seit einigen Jahrzehnten findet aber die Nutzung von Pflanzen als Rohstoff wieder eine zunehmende Beachtung. Es wurden zahlreiche neue Produkte auf der Basis pflanzlicher Rohstoffe entwickelt. Dies ist aus züchterischer Sicht sehr interessant, da viele Arten in der Zusammensetzung ihrer Inhaltsstoffe genetisch sehr variabel sind und daher für spezielle Anwendungszwecke „maßgeschneidert“ werden können; dazu werden später einige Beispiele besprochen. Zurzeit wird das Interesse an einer Nutzung von Pflanzen als Rohstoff allerdings etwas verdrängt durch die verstärkte Nutzung von Pflanzen zur Erzeugung von Bioenergie.

→ Kap. 4. Qualität

### Umweltschonende Energieerzeugung aus Biomasse

Die Wärmeerzeugung aus Biomasse trägt verglichen mit der Verbrennung fossiler Stoffe wie Erdöl oder Kohle weniger stark zu einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre und damit zum „Treibhauseffekt“ bei: zwar wird auch bei der Verbrennung von Pflanzenmaterial CO<sub>2</sub> freigesetzt, aber dies entspricht der CO<sub>2</sub>-Menge die vorher während des Pflanzenwachstums aus der Luft aufgenommen wurde. Der CO<sub>2</sub>-Kreislauf ist aber nicht wirklich geschlossen, da die Produktion der pflanzlichen Biomasse fossile Energie für Maschineneinsatz, Herstellung von Mineraldüngern usw. erfordert. Die Energiebilanz ist jedoch in Europa fast immer positiv. Werden allerdings wie in einigen Regionen Asiens tropische

CO<sub>2</sub>-Bilanz

Wälder gerodet um Ölpalmen zur Energiegewinnung anzubauen, ist die Ökobilanz sehr stark negativ, da bei Brandrodungen sehr große CO<sub>2</sub>-Mengen freigesetzt werden.

Für eine thermische Nutzung wird neben Getreide auch die Verwendung von schnell wachsenden Gehölzen wie Weide und Pappel oder von Elefantengras (*Miscanthus*) diskutiert. Diese Arten sind mehr oder weniger Wildpflanzen, durch züchterische Auslese sind daher sehr schnelle Ertragssteigerungen zu erwarten. Durch Kurzumtriebsplantagen wird bei niedrigem Subventionsbedarf ein höherer Klimaschutzbeitrag geleistet als mit Biogas oder Biodiesel, allerdings können dadurch keine Flüssigkraftstoffe ersetzt werden.

Als Treibstoff für Motoren kann Äthanol verwendet werden, das durch die Umwandlung von Stärke aus Mais, Weizen oder Kartoffeln gewonnen wird. Außerdem können Pflanzenöle direkt oder als „Biodiesel“ eingesetzt werden; ein mit Erdnussöl betriebener Dieselmotor konnte schon

#### Treibstoffe

#### → Kap. 4.1

auf der Weltausstellung 1900 in Paris bewundert werden. Eine Züchtung von Stärke oder Öl liefernden Pflanzen zur Energiegewinnung ist relativ einfach, da kaum besondere Qualitätsansprüche zu berücksichtigen sind, die bisher teilweise den Ertragsanstieg gebremst haben. Allerdings reichen in Industrieländern die landwirtschaftlichen Flächen schon rein rechnerisch bei weitem nicht aus, um einen großen Anteil des Treibstoffbedarfs zu decken, heute beträgt die Weltproduktion von pflanzlichen Ölen etwa 2 % der Förderung von Mineralölen. Eine interessante Perspektive eröffnet die Treibstoffherzeugung aus Pflanzen für Entwicklungsländer, um die Abhängigkeit von Erdölimporten zu reduzieren. Die Bioenergie ist aber ähnlich wie die Windenergie wohl eher eine „Brückentechnologie“ auf dem Weg ins Solarzeitalter. Eine Fläche von 5 % der Sahara reicht theoretisch aus, um den weltweiten Energiebedarf zu decken. Solange dies technisch nicht realisierbar ist, leisten Pflanzen einen begrenzten, aber wichtigen Beitrag zur umweltschonenden Energieversorgung.

### **Biodiesel und Biogas**

Die Verwendung von Rapsöl zur Erzeugung von Biodiesel ist eine beispiellose „Erfolgsstory“ für die Verwendung pflanzlicher Rohstoffe zur Energieerzeugung. Der Erfolg von Biodiesel beruht aber auch auf einer sehr effizienten Lobbyarbeit und staatlicher Förderungen. Rapsöl aus deutscher Herstellung geht nur zu etwa einem Viertel in den Nahrungsmittelkonsum.

#### Die Wundernuss

Außer Raps werden weltweit auch andere Ölpflanzen als Energiequelle diskutiert. Besonders große Erwartungen werden an die „Wundernuss“ *Jathropha* gestellt, eine tropische Pflanze mit sehr hohen Ölerträgen. Die Nutzung einer solchen „neuen“ Ölpflanze ist züchterisch äußerst reizvoll, Anbauversuche haben allerdings teilweise auch schon zu ersten Ernährungsstörungen geführt.

Neben Biodiesel hat in Deutschland auch Biogas eine zunehmende Bedeutung. Als pflanzliches Material wird dabei überwiegend Mais verwendet. Der Anbau von Mais zur Biogaserzeugung stieg in etwa 10 Jahren

(2004 bis 2016) von 4000 ha auf fast 1 Million ha an und ist seitdem auf gleichbleibendem Niveau. Züchterisch ist die Entwicklung von speziellen „Energiemaissorten“ sehr interessant, die sehr spät blühen und niedrige Stärkegehalte, aber höhere Trockenmasse als herkömmliche Silo-mais-Sorten haben.

Energiemaissorten

### **Energie oder Rohstoff?**

Ob pflanzliche Erzeugnisse eher zur Energieerzeugung oder eher als Rohstoff verwendet werden hängt stark von ökonomischen Überlegungen ab. Aus züchterischer Sicht ist eine stoffliche Nutzung von Pflanzen sehr viel interessanter und auch sinnvoller. Die Erzeugung von Energie aus Biomasse stellt kaum spezifischen Anforderungen an das Ausgangsmaterial; verbrennen kann man alles, sogar Müll. Für eine stoffliche Nutzung von Fasern, Stärke, oder Pflanzenölen sind dagegen oft hohe Qualitätsanforderungen zu erfüllen. Dies erfordert die Züchtung geeigneter Sorten und die Entwicklung angepasster Anbausysteme. Die große Vielfalt an pflanzlichen Inhaltsstoffen wird bei einer Nutzung als Rohstoff ebenso wie bei der Nutzung als Nahrungsmittel in sehr viel höherem Maße genutzt als bei einer energetischen Nutzung.

### **„Tank oder Teller?“**

Die Nutzung von Pflanzen zur Energieerzeugung wurde zunächst von der europäischen Politik nahezu euphorisch begrüßt und massiv gefördert. Heute wird aber zunehmend die Frage gestellt, ob es ethisch vertretbar ist, Nahrungsmittel zur Energieerzeugung zu verwenden, solange eine Milliarde Menschen hungern. Nachfolgend möchte ich einige Tatsachen aufführen, die mosaikartig zeigen sollen, wie komplex diese Problematik ist.

- Getreide wird weltweit zu 95% als Nahrungs- und Futtermittel verwendet
- Pflanzenöle werden weltweit zu 75% in der Nahrungsmittelindustrie und zu 25% in der Oleochemie und als Biodiesel verwendet (2015)
- Auf die Weltmarktpreise haben aber schon geringe Schwankungen in der Nachfrage eine sehr große Auswirkung, und die erhöhte Nachfrage nach Bioenergie kann zu hohen Nahrungsmittelpreisen führen
- Bei industriell verarbeiteten Lebensmitteln spielen die Kosten landwirtschaftlicher Produkte kaum eine Rolle: der Anteil der Kosten für das Mehl am Brötchenpreis beträgt weniger als einen Cent, die Kosten der Braugerste für ein Glas Bier etwa vier Cent (2017); selbst eine Verdopplung der Getreidepreise wirkt sich daher für den Verbraucher in Europa kaum aus.
- In Entwicklungsländern wird dagegen Getreide, Mais und Reis überwiegend direkt verzehrt, und steigende Preise führen unmittelbar zu Versorgungsproblemen bei dem ärmsten Teil der Bevölkerung
- Heizöl kostete in Deutschland zeitweise (2006) etwa doppelt so viel wie die zur Erzeugung des gleichen Brennwertes benötigte Menge an Getreide

- In Brasilien kann Bioethanol zu niedrigeren Kosten produziert werden als Benzin aus Erdöl
- Noch vor 70 Jahren wurde auch in Deutschland der überwiegende Teil landwirtschaftlicher Arbeit von Tieren geleistet, und ein erheblicher Teil der Fläche wurde dafür zur Futtererzeugung benötigt. Nachdem Arbeitstiere durch Maschinen ersetzt wurden, ist es logisch, einen Teil der Flächen für die Erzeugung von Treibstoff zu verwenden.

Mit dieser Aufzählung möchte ich vor allem zeigen, wie komplex die Zusammenhänge zwischen Nahrungsmittel- und Energieerzeugung sind. Zu einer Schlagzeile der Bild-Zeitung: „Brotpreise steigen wegen Getreideverbrennung“ kann man daher mit Karl Kraus nur sagen: „Es gibt Aussagen die sind so falsch, dass nicht einmal das Gegenteil wahr ist“. Für den zweifellos bestehenden Konflikt zwischen Nahrungsmittel- und Energieerzeugung gibt es kurzfristig keine einfache Lösung. Unzweifelhaft ist nur, dass alle Anstrengungen unternommen werden müssen, die globale Produktion an pflanzlichen Erzeugnissen weiter zu steigern. Dabei spielt die Pflanzenzüchtung eine zentrale Rolle.

## 1.5 Pflanzenzüchtung und Biologische Vielfalt

Es gibt ein zunehmendes Bewusstsein über den Wert der biologischen Vielfalt. Trägt die Pflanzenzüchtung dazu bei, die biologische Diversität zu erhöhen? Oder ist sie eher mit verantwortlich für den Verlust an Vielfalt? Dabei ist es zunächst wichtig zu unterscheiden, ob die Vielfalt der angebauten Fruchtarten gemeint ist oder die genetische Diversität der Sorten innerhalb einer Art.

### Artenvielfalt

Heute beruht global betrachtet die Ernährung der Menschheit zu etwa 60% auf lediglich drei Arten: Weizen, Mais und Reis (Abb. 1.8). Dies ist erstaunlich, da etwa 7000 Pflanzenarten als Nahrungsplanten angebaut werden und eine noch viel größere Zahl von wildwachsenden Arten zur Ernährung genutzt werden oder genutzt werden könnten. Eine hohe Artenvielfalt trägt zweifellos zur Stabilität von Ökosystemen bei. Es ist unmittelbar einleuchtend, dass eine Landwirtschaft, in der z. B. nur Weizen oder Mais angebaut wird, anfälliger gegen Schädlinge, Krankheiten und unerwartet auftretende Stressfaktoren ist als ein System, in dem viele Fruchtarten genutzt werden.

Bedeutung der Vielfalt

Aber es hat natürlich einen Grund, dass z. B. der moderne Brotweizen andere Weizenarten wie Einkorn oder Emmer ersetzt hat: er besitzt eben ein wesentlich höheres Ertragspotential. Aus dem gleichen Grund wird heute in vielen Teilen Afrikas statt einheimischer Arten der Mais angebaut. Kommerzielle Zuchtfirmen arbeiten natürlich bevorzugt mit den am weitesten angebauten Arten. Aber auch staatliche Forschungs- und Züchtungsaktivitäten konzentrieren sich weitgehend auf die wichtigsten

Verlust an Vielfalt

Fruchtarten, weil so die Ergebnisse möglichst vielen Landwirten zu Gute kommen. Es sollten aber daneben auch möglichst viele andere Arten züchterisch bearbeitet werden, da diese durch veränderte Umweltbedingungen oder zunehmendes Interesse von Verbrauchern an einer vielfältigen Ernährung langfristig wieder bedeutender werden können.

Änderungen in der Pflanzenproduktion müssen nicht zwangsläufig zu einem Verlust an Biodiversität führen, die Einführung bisher nicht oder kaum angebauter Arten kann auch zu einer Erweiterung der Fruchtfolge und einer Zunahme an Diversität beitragen. Vor allem für eine Nutzung als Energiequelle oder als Rohstoff sind viele Arten interessant, die traditionell nicht oder nicht mehr angebaut werden. Einige Beispiele dafür sind in Tabelle 1.4 aufgeführt. Eine erfolgreiche Etablierung solcher Arten in der landwirtschaftlichen Produktion setzt intensive züchterische Arbeiten zur Entwicklung angepasster Sorten vor aus, allerdings auch die Entwicklung geeigneter Anbausysteme und vor allem erfolgreicher Vermarktungsstrategien.

**250 000** Pflanzenarten sind weltweit bekannt

**50 000** Arten können zur Ernährung des Menschen genutzt werden

**7 000** Arten werden als Kulturpflanzen angebaut

**15** Arten liefern 95 % der Nahrungsernergie

**3** Arten liefern 60 % der Nahrungsernergie

**Abb. 1.8**

Die Ernährung der Menschheit beruht auf sehr wenigen Fruchtarten

Selektion =  
Einschränkung  
der Vielfalt

### Genetische Vielfalt innerhalb einer Art

Die genetischen Diversität innerhalb einer Art ist die Ausgangsbasis jeder Züchtung, andererseits wird während der Züchtung die genetische Variation durch Selektion eingeschränkt, indem alle Genotypen mit unerwünschten Eigenschaften entfernt werden. Für den langfristigen Erfolg ist es von großer Bedeutung, die genetische Vielfalt zu bewahren, auch

**Tab. 1.4 Beispiele für mögliche „neue“ Kulturpflanzen zur Energieerzeugung oder als Rohstoffquelle**

Energiepflanzen	Ölpflanzen		
Chinaschilf	<i>Miscanthus</i> spp.	Koriander	<i>Coriandrum sativum</i>
Durchwachsende Silphie	<i>Silphium perfoliatum</i>	Krambe	<i>Crambe abyssinica</i>
Elefantengras	<i>Pennisetum purpureum</i>	Leindotter	<i>Camelina sativa</i>
Igniscum	<i>Fallopia sachalinensis</i>	Ölmadie	<i>Madia sativa</i>
Pappel	<i>Populus</i> spp.	Ölriske	<i>Eruca sativa</i>
Pfahlrohr	<i>Arundo donax</i>	Ölrettich	<i>Raphanus sativus</i>
Purgiernuss	<i>Jatropha curcas</i>	Ringelblume	<i>Calendula officinalis</i>
Schilfrohr	<i>Phragmites</i> spp.	Saflor	<i>Carthamus tinctorius</i>
Sorghum Hirsen	<i>Sorghum</i> spp.	Wolfsmilch	<i>Euphorbia</i> spp.
Steinklee	<i>Melilotus</i> spp.	Faserpflanzen	
Topinambur	<i>Helianthus tuberosus</i>	Fasernessel	<i>Urtica dioica</i>
Virginiamalve	<i>Sida hermaphrodita</i>	Hanf	<i>Cannabis sativa</i>
Weide	<i>Salix</i> spp.	Kenaf	<i>Hibiscus cannabinus</i>
		Rohrkolben	<i>Typha</i> spp.

→ Kap. 10:  
Genetische  
Ressourcen

wenn in aktuellen Sorten jeweils nur ein bewusst stark eingeschränkter Teil der genetischen Variation genutzt wird. Zur Erhaltung der genetischen Vielfalt als Ressource für die zukünftige Züchtung wurden in vielen Ländern große Sammlungen von Samen oder Pflanzen angelegt, so genannte „Genbanken“. Man schätzt, dass heute für die wichtigsten Kulturpflanzen 95 % der existierenden genetischen Diversität in Genbanken gelagert ist.

Verschwinden von  
Landsorten

Es ist eine populäre und weitverbreitete Meinung, dass durch die moderne Pflanzenzüchtung die genetische Vielfalt zurückgeht. Dies ist wahrscheinlich zutreffend für den Beginn der modernen Pflanzenzüchtung, als eine Vielzahl von regional angebauten traditionellen Landsorten durch „Hochzuchtsorten“ ersetzt wurden. In Deutschland fand dies gegen Ende des 19. Jahrhunderts statt, in Entwicklungsländern ist diese Umstellung teilweise bis heute noch nicht abgeschlossen. Daher ist es sehr sinnvoll, durch geeignete Maßnahmen dort möglichst viel der genetischen Vielfalt zu erhalten. Es ist aber weder sinnvoll noch möglich, die Einführung moderner Sorten grundsätzlich aufzuhalten, da diese zur Sicherung der Ernährung wesentlich beitragen können.

Altes verschwindet,  
Neues entsteht

Führt die moderne Pflanzenzüchtung zu einem immer stärkeren Verlust an genetischer Vielfalt? Gelegentlich wird kritisch angemerkt, dass Tausende von Sorten, die vor 50 oder 100 Jahren angebaut wurden, verschwunden sind. Dies stimmt zwar, gleichwohl ist eine solche Argumentation zu schlicht, da ja gleichzeitig durch die moderne Züchtung auch Tausende neuer Sorten entstanden sind. Es gibt zwar Beispiele, dass manche Eigenschaften alter Sorten im modernen Sortiment nicht mehr vorhanden sind, aber es gibt ebenso Beispiele, dass durch den weltweiten Austausch von Zuchtmaterial in modernen Sorten neue Eigenschaften auftauchen die es früher nicht gegeben hat. Untersuchungen mit Hilfe molekularer Marker zeigen, dass es in den vergangenen 100 Jahren in der Regel zu keinem generellen Verlust an genetischer Diversität gekommen ist. Es hat eher ein „Umbau“ des genetischen Materials stattgefunden. Viele Allele, die in alten Sorten auftraten, findet man heute nicht mehr, dafür treten in etwa gleichem Umfang neue Allele auf, die es in den alten Sorten nicht gab.

## 1.6 Zielsetzung und Gliederung dieses Buches

Dieses Buch richtet sich an alle, die sich für Pflanzenzüchtung interessieren. Für Studierende der Agrarwissenschaften enthält es den Lehrstoff für das Bachelorstudium und die wichtigsten Teile des Lehrstoffes für das Masterstudium. Es soll aber auch interessierten Praktikern, Saatzuchtechnikern, Biologielehrern und -schülern, oder Gentechnikfreunden und -gegnern als ein Überblick über die klassische und moderne Pflanzenzüchtung dienen. Gewisse Grundkenntnisse in Genetik werden allerdings vorausgesetzt.

Die Pflanzenzüchtung wird in fünf Abschnitten mit jeweils mehreren Kapiteln behandelt:

- die **Einführung** besteht aus diesem Kapitel und dem anschließenden Kapitel über das Sortenwesen Kap. 1-2
- die wichtigsten **Zuchziele** werden in drei Kapiteln behandelt, die sich mit Ertrag, Qualität und Resistenz beschäftigen Kap. 3-5
- die **Genetischen Grundlagen** der Pflanzenzüchtung werden anschließend in den Kapiteln Populationsgenetik, Quantitative Genetik, Selektionserfolg und Heterosis behandelt Kap. 6-9
- die Voraussetzung für die Pflanzenzüchtung ist eine **Genetische Variation**, und die Möglichkeiten zur Erzeugung genetischer Variation werden in den vier Kapiteln über Genetische Ressourcen, Kreuzung, Mutationsauslösung und Gentechnik dargestellt Kap. 10-13
- die **Zuchtmethodik** hängt ab vom Vermehrungsprozess, durch den das Saatgut erzeugt wird. Daher gibt es grundsätzlich verschiedene Zuchtmethoden in der Klonzüchtung, Linienzüchtung, Hybridzüchtung und Populationszüchtung, die abschließend verglichen werden Kap. 14-19
- und in einem **Ausblick** werden zukünftige Entwicklungen der Pflanzenzüchtung besprochen. Kap. 20

In einem **Anhang** werden tabellarisch und in Stichworten Besonderheiten der Züchtung spezieller Fruchtarten dargestellt. Jedes Kapitel endet mit einigen Übungsfragen.

Anhang

### Zusammenfassung

1. Seit Beginn der Landwirtschaft wurden Pflanzen durch ständige Auslese an die Bedürfnisse des Menschen angepasst. Seit etwa 100 – 150 Jahren findet dies in Deutschland überwiegend in spezialisierten Zuchtfirmen statt.
2. Die landwirtschaftliche Pflanzenzüchtung ist in Deutschland nahezu ausschließlich privatwirtschaftlich organisiert und konzentriert sich daher stark auf die wichtigsten Fruchtarten.
3. Die Nachfrage nach pflanzlichen Produkten wird weltweit in den kommenden Jahrzehnten stark ansteigen. Dies erfordert eine weitere Steigerung der Flächenerträge und die Pflanzenzüchtung wird daran einen steigenden Anteil haben.
4. Auch die Nachfrage nach pflanzlichen Rohstoffen und Energiepflanzen wird weiter ansteigen. Besonders die Qualität pflanzlicher Rohstoffe kann züchterisch stark verbessert werden.
5. Zur Erhaltung der biologischen Vielfalt sind vielgestaltige Fruchtfolgen anzustreben. Daher sollten auch heute weniger bedeutende Fruchtarten weiter züchterisch verbessert werden.

**Fragen:**

- 1 In welcher Weise unterscheiden sich Wildarten und Kulturpflanzen in der Regel hinsichtlich der Spindelbrüchigkeit von Ähren oder Platzfestigkeit von Hülsen?
- 2 Nennen Sie bitte drei Beispiele für wichtige Fruchtarten, die vor etwa 1000 Jahren in Mitteleuropa unbekannt waren.
- 3 Welche der folgenden Aussagen (nur eine) ist richtig?
  - Künstliche Kreuzungen wurden erstmals 1867 von Gregor Mendel durchgeführt.
  - Künstliche Kreuzungen waren schon bei den Rekombinanermönchen im Spätmittelalter bekannt.
  - Künstliche Kreuzungen wurden bereits um 1800 zur Entwicklung neuer Sorten verwendet.
  - Künstliche Kreuzungen sind erst seit der Entdeckung der Sexualität bei Pflanzen um 1880 möglich.
  - Künstliche Kreuzungen wurden erstmals 1914 von Erwin Baur durchgeführt
- 4 Nach welchem Kriterium kann man verschiedene Zuchtmethoden einteilen?
- 5 Welche beiden Fruchtarten wurden bevorzugt während der „Grünen Revolution“ züchterisch bearbeitet?
- 6 Nennen Sie bitte drei Beispiele für Pflanzenarten, die schon seit Jahrhunderten als „nachwachsende Rohstoffe“ verwendet werden.
- 7 In einer Informationsbroschüre des zuständigen Bundesministeriums (2008) konnte man lesen: „Bei der energetischen Nutzung von Biomasse, also z. B. durch Verbrennung oder Vergärung in der Biogasanlage, ist der Kohlendioxidkreislauf geschlossen.“ Bitte kommentieren Sie diese Aussage kritisch.
- 8 Warum ist aus züchterischer Sicht die stoffliche Nutzung von Pflanzen als Rohstoff interessanter als eine energetische Nutzung z. B. durch Verbrennen?
- 9 Heute versorgen drei Pflanzenarten die Weltbevölkerung mit 60% der Nahrungsenergie. Welche Arten sind das?

**Weiterführende Literatur:**

Seyffert (2003) oder Henning und Graw (2015) zu den Grundlagen der klassischen und molekularen Genetik; Miedaner (2005) als sehr unterhaltsam zu lesender Überblick über die Geschichte der Landwirtschaft; Röbbelen (2008) zur Geschichte der deutschen Pflanzenzüchtung; die Homepage der „Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe“ [www.fnr.de](http://www.fnr.de) zu allgemeinen Informationen über die energetischen Nutzung von Pflanzen. Ein ganz hervorragendes Lehrbuch der Pflanzenzüchtung ist Sleper und Poehlman (2006), zwar aus einer US-amerikanischen Perspektive geschrieben, aber jedem an der Pflanzenzüchtung Interessierten zum intensiven Studium empfohlen. Schließlich ist Miedaner (2017) eine gute Ergänzung zu anderen Lehrbüchern, da es viele sehr anschauliche Fotos enthält.

- Henning W, Graw J (2015) Genetik. Springer Verlag  
Miedaner T (2005) Von der Hacke bis zur Gentechnik. DLG Verlag  
Miedaner T (2017) Grundlagen der Pflanzenzüchtung, 2. Aufl. DLG Verlag  
Röbbelen G (Herausg) (2008) Die Entwicklung der Pflanzenzüchtung in Deutschland (1908–2008). Gesellschaft für Pflanzenzüchtung  
Seyffert W, (Herausg) (2003) Genetik, 2. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag  
Sleper DA, Poehlman JM (2006) Breeding Field Crops 5<sup>th</sup> ed. Blackwell Ames IA USA