



Bundesanstalt für  
Landwirtschaft und Ernährung

# Nachhaltige Züchtung

Betrachtungen zum Umgang mit genetischen  
Ressourcen in Nutzungssystemen

- Pflanzenbau – Tierproduktion - Forst- und Fischereiwesen -

Agrobiodiversität | Band 38

Schriftenreihe des Informations- und Koordinationszentrums  
für Biologische Vielfalt



# **Agrobiodiversität**

Schriftenreihe des Informations- und Koordinationszentrums  
für Biologische Vielfalt

**Band 38**

## **Nachhaltige Züchtung**

Betrachtungen zum Umgang mit genetischen Ressourcen  
in Nutzungssystemen

- Pflanzenbau - Tierproduktion – Forst- und Fischereiwesen -

**Herausgeber dieses elektronischen Bandes**

Leo Dempfle, Lothar Frese, Hans-Rolf Gregorius, Alwin Janßen,  
Helmut Wedekind

## **Vorbemerkung**

Mit diesem Reflexionspapier möchten die Autoren einen Diskussionsbeitrag zu Fragen des nachhaltigen Umgangs mit genetischen Ressourcen leisten. Dabei greifen sie Text- und Diskussionsbeiträge auf, die anlässlich des Symposiums „Nachhaltige Züchtung“, welches vom 15./16. September 2011 im Forum des VTI in Braunschweig stattfand, entstanden waren.

## **An der Ausarbeitung folgender Kapitel waren überwiegend beteiligt:**

Grundprinzipien einer nachhaltigen Züchtung<sup>1)</sup>, Fischereiwesen<sup>2)</sup>, Forstwesen<sup>3)</sup>, Pflanzenbau<sup>4)</sup> und Nutztierproduktion<sup>5)</sup>, Vorläufige Bewertung der züchterischen Praxis<sup>6)</sup>, Schlussfolgerungen und Fazit<sup>7)</sup>

## **Federführende Autoren in alphabetischer Reihenfolge**

Leo Dempfle<sup>5)</sup>, Lothar Frese<sup>4), 6), 7)</sup>, Hans-Rolf Gregorius<sup>1), 6), 7)</sup>, Alwin Janßen<sup>3)</sup>, Helmut Wedekind<sup>2)</sup>

Mit Beiträgen von Roland Rösch<sup>2)</sup>, Gregor Schmidt<sup>2)</sup>, Bernd Degen<sup>3)</sup>, Jörg Kleinschmit<sup>3)</sup>, Heino Wolf<sup>3)</sup>, Johannes Engels<sup>4)</sup>, Bernd Hackauf<sup>4)</sup>, Jutta Ahlemeyer<sup>4)</sup>, Heiko Becker<sup>4)</sup>, Eildert Groeneveld<sup>5)</sup>, Pieter Knap<sup>5)</sup>, Matthias Schmutz<sup>5)</sup> und Hermann Swalve<sup>5)</sup>

# Inhaltsverzeichnis

## *Table of Content*

Zusammenfassung .....	III
Abstract .....	IV
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundprinzipien einer nachhaltigen Züchtung .....</b>	<b>3</b>
Fischereiwesen .....	11
Forstwesen .....	17
Pflanzenbau.....	21
Tierproduktion.....	25
<b>3 Bewertung der züchterischen Praxis .....</b>	<b>35</b>
Fischereiwesen.....	36
Forstwesen .....	38
Pflanzenbau.....	40
Tierproduktion.....	41
<b>4 Schlussfolgerungen und Fazit.....</b>	<b>43</b>
<b>5 Literaturhinweise.....</b>	<b>46</b>
<b>6 Schriftenreihe „Agrobiodiversität“ .....</b>	<b>51</b>

## Zusammenfassung

Die Notwendigkeit einer nachhaltig betriebenen Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft steht außer Frage. Der Züchtung kommt hierbei insofern eine zentrale Bedeutung zu, als sie mit der Erzeugung der Ausgangsprodukte für diese Wirtschaftsbereiche befasst ist und damit zugleich Möglichkeiten der nachhaltigen Nutzung der Produkte eröffnet und limitiert. Die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Züchtung muss folglich neben den Methoden der biologischen Produktion schon bei ihren allgemeinen Voraussetzungen und daher bei der Verfügbarkeit ihrer Ressourcen einsetzen.

Diesem Sachverhalt wird durch eine Gliederung Rechnung getragen, die sich vorerst einer Klärung der Grundprinzipien einer nachhaltigen Züchtung widmet, um hierauf aufbauend die gängigen züchterischen Nutzungssysteme im Fischereiwesen, im Forstwesen, im Pflanzenbau und in der Nutztierproduktion zu beleuchten. Den Abschluss bilden eine Zusammenstellung von Schlussfolgerungen und offenen Fragen sowie ein vorläufiges Fazit.

## ***Sustainable breeding: Reflexions on the treatment of genetic resources in utilization systems***

### ***Abstract***

*The necessity of sustainability in agriculture, forestry, and fisheries is beyond question. Breeding takes a central position with respect to sustainability in that it is concerned with the generation of the fundamental products of these economic sectors, i.e. improved varieties and breeds, while at the same time it sets boundaries on the sustainable utilization of these products. Assessment of the sustainability of breeding efforts must not be limited to evaluation of the applied methods of biological production but must commence with the conditions under which breeding is to be performed and thus with the availability of its resources.*

*The outline of the present paper takes these considerations into account by beginning with an explanation of the basic principles of sustainable breeding, upon which subsequent analyses of the common systems of breeding in fisheries, forestry, agriculture and livestock farming are based. The deliberations close with a compilation of implications and open questions as well as a summary.*

# 1 Einleitung

Für unser Überleben ist eine ausreichende Erzeugung von Lebensmitteln und eine Vielzahl weiterer landwirtschaftlicher<sup>1</sup> Produkte von zentraler Bedeutung. Die Menge und Güte landwirtschaftlicher Erzeugnisse hängt primär vom genetischen Potenzial genutzter Arten und der Möglichkeit ihrer kontinuierlichen genetischen Anpassung durch Züchtung an sich ändernde Produktionsbedingungen ab. Diese Anpassungsleistungen kann Züchtung heute und in Zukunft nur hervorbringen, wenn sie selbst nachhaltig mit ihren Ausgangsressourcen umgeht. Eine nachhaltige Züchtung ist deshalb eine zwingende und unverzichtbare Voraussetzung für eine insgesamt nachhaltige Landwirtschaft.

Die zentrale Rolle der Domestikation von Nutzpflanzen und -tieren für die Entstehung der Landwirtschaft und der Beitrag insbesondere der modernen Züchtung für die Landwirtschaft, wie wir sie heute kennen, wurden in der Vergangenheit in der Debatte über die Möglichkeiten und Grenzen einer nachhaltigen Landwirtschaft nicht angemessen berücksichtigt. Genetische Ressourcen und ihre züchterische Bearbeitung erwähnen Linckh *et al.* (1997) in ihrem Buch „Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft – Voraussetzungen, Möglichkeiten und

1 In diesem Beitrag wird der Begriff Landwirtschaft in einem umfassenden Sinne gebraucht, der die Produktion aquatischer Nutzorganismen (Fische), Forstpflanzen (Bäume), anderer Nutz- und Kulturpflanzen sowie von Nutztieren umfasst. In den stärker industrialisierten Ländern entstanden aus Gründen der wirtschaftlichen Effizienzsteigerung die hoch spezialisierten Wirtschaftszweige Fischzucht, Pflanzenbau, Waldbau und Tierproduktion einschließlich der Milchwirtschaft. Im Bereich der Energiepflanzenproduktion ist der Übergang vom Pflanzenbau zum Waldbau fließend (Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen); teilweise verwenden beide Wirtschaftszweige dieselben Arten (z.B. Prunus). Die weitgehende Entkopplung der Tierproduktion von der Pflanzenproduktion hat negative Folgen für die Umwelt, wie im Abschnitt Nutztierproduktion angedeutet wird. In anderen Ländern und unter anderen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind stärker integrierte Produktionssysteme für eine sichere Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen besser geeignet. Ein prägnantes Beispiel dafür ist die gleichzeitige Produktion einer großen Vielfalt aquatischer Nutztiere und -pflanzen im bewässerten Reisanaubau (sogenannte rice-fish systems) (Halwart und Bartley, 2007). Ob hoch spezialisierte Wirtschaftsweisen dem Ideal einer nachhaltigen Landwirtschaft näher kommen als stärker integrierte ist eine noch offene Frage. Auch deshalb halten wir eine umfassende Definition des Begriffs für angebracht.

Im Bereich der Aquakultur ist die Betrachtung im vorliegenden Werk auf Fische beschränkt. Krestiere, Muscheln und aquatische Pflanzen bleiben unberücksichtigt.

Maßnahmen“ nur mit wenigen Sätzen am Rande. Vor allem finden sich keinerlei Hinweise auf die Bedeutung von genetischen Ressourcen und Züchtung in den zusammenfassenden Empfehlungen der Autoren, obwohl erst durch den Domestikationsprozess Landwirtschaft überhaupt entstehen konnte, und die domestizierten Pflanzen und Tiere durch Züchtung fortlaufend an veränderte Produktionsbedingungen angepasst wurden und werden.

Heute bestimmt der Markt die Züchtungsziele, die Züchtung aber lebt von ihren genetischen Ressourcen, und so ist letztlich die Entwicklungsfähigkeit des Marktes durch die Vielfältigkeit der züchterisch nutzbaren Ressourcen geprägt. Die Dominanz marktwirtschaftlicher Einflüsse auf die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft hat ein Ausmaß erreicht, welches bereits die Marktakteure selbst an der Aufrechterhaltbarkeit (also der Nachhaltigkeit) ihrer Wirtschaftsweisen zweifeln lässt (BMELV, 2012). Die in Forschung und Politik zunehmende Befassung mit den Mechanismen einer nachhaltigen Landwirtschaft spiegelt diese Zweifel wider. Allerdings wird die Rolle der Züchtung und ihrer Grundlagen in diesem Zusammenhang nur mittelbar gewürdigt. Und hier wollen wir ansetzen.

Keinesfalls können hier alle ökologischen, sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung oder Fragen der intra- und intergenerationellen Verteilungsgerechtigkeit dargelegt werden. Vielmehr wird die Züchtung als ein Kernelement nachhaltiger Lebens- und Wirtschaftsweisen, in den Fokus gestellt; auch in der Absicht, eine operative Ebene zu erreichen, auf der nach wissenschaftlichen Kriterien überprüfbares nachhaltiges Handeln möglich ist.

Aus vergleichbaren Beweggründen befasste sich das Ad Hoc Technical Committee on Sustainable Use of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture des International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture im März 2015 mit der Entwicklung von Leitlinien für ein Arbeitsprogramm zur nachhaltigen Verwendung pflanzengenetischer Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft (FAO, 2015).

## 2 Grundprinzipien einer nachhaltigen Züchtung

Die Erfolgsgeschichte moderner Landwirtschaft beruht auf vier Faktoren (nach WBGU, 2000):

1. der Dominanz weniger Nutzarten in landwirtschaftlichen Produktionssystemen,
2. der vorrangigen Nutzung von relativ wenigen, leistungsfähigen Genotypen innerhalb dieser Arten,
3. der Schaffung optimaler Bedingungen für die gewählten Arten und Genotypen und
4. der immer weiteren Verbreitung landwirtschaftlicher Produktionssysteme, für die die Punkte (1) bis (3) charakteristisch sind.

Die Erfolgsgeschichte wurde von einem Wachstum der Weltbevölkerung begleitet, welche inzwischen in Zahl und Lebensansprüchen die Tragfähigkeit des Planeten zu überschreiten scheint. Die Menschheit verbraucht Ressourcen in einer Rate, wie sie die Biosphäre lang- und kurzfristig nicht mehr kompensieren kann (Rockström *et al.*, 2009). Eine dauerhafte Ernährung der Weltbevölkerung ist nur mit leistungsfähigen Kulturpflanzen möglich und trägt zum Weltfrieden bei (Röbbelen, 2008). Der immer wieder beschworene rasante Verlust wildlebender Arten sowie der aus ihnen erzeugten domestizierten Arten spricht hier für sich. Dessen ungeachtet gehen alle Projektionen des zukünftigen Bedarfs an Nahrungsmitteln und Energie von einer weiterhin wachsenden Bevölkerung aus. Alleine schon diese Tatsache erlaubt den Schluss, dass sich offensichtlich die sozialen, technologischen, ökonomischen und möglicherweise auch ethischen Leitbilder des Menschen nicht im Einklang mit den ökologischen Voraussetzungen einer dauerhaften Koexistenz von Mensch und Mitgeschöpfen befinden.

Angesichts dieser Sachlage muss die Frage nach der Ausschöpfung aller Möglichkeiten des nachhaltigen Umgangs mit unseren Ressourcen umso nachdrücklicher und umfassender gestellt werden. Der Umgang mit Ressourcen zeichnet sich vor allem dadurch als nachhaltig aus, dass er unter den jeweiligen Rahmenbedingungen unbegrenzt aufrechterhalten werden kann und zugleich die Entwicklungsfähigkeit der Ressourcen wahrt. Zentrales Anliegen eines nachhaltigen Umgangs ist somit die Vermeidung einer Übernutzung der Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft und damit die Sicherung ihrer Selbstregenerationsmechanismen. Deutschland hat sich dazu verpflichtet, die natürlichen Ressourcen im Sinne einer starken Nachhaltigkeit zu nutzen. Nur so lässt sich eine inter- und intragenerationelle Verteilungsgerechtigkeit herstellen und Voraussetzungen für die langfristige Sicherung des Ernährungs-, Rohstoff- und Energiebedarfs einer wachsenden Weltbevölkerung schaffen (BMU, 2007, Gregorius *et al.*, 2007).

Züchtung nutzt eine wesentliche biologische Ressource: Nutz- und Kulturpflanzen und Tierarten sowie deren verwandte Wildarten. Eine nachhaltige Züchtung hat somit eine zentrale Funktion im Hinblick auf die Entwicklung einer insgesamt nachhaltigen Landwirtschaft. Was jedoch ist nachhaltige Züchtung? Verfolgen wir nachhaltige Züchtungsziele? Welches sind die Voraussetzungen für nachhaltige Züchtung und können wir sie erfüllen? Welche Grenzen setzt nachhaltige Züchtung den Lebensstilen und demographischen Entwicklungen? Diese Fragen bedürfen umso mehr einer Diskussion und Klärung, als der Begriff „Nachhaltigkeit“ von der Wissenschaft, Wirtschaft und Politik unterschiedlich definiert und instrumentalisiert wird (Grober 2010, Tremel 2003, WBGU, 2000). Der Begriff wird oftmals als Synonym für ressourcenschonende Wirtschaftsweisen verwendet, so im Beitrag von Alpmann (2010) zur nachhaltigen Produktion von Winterraps. Ein schonender Umgang mit Ressourcen ist an sich noch nicht nachhaltig, sondern erlaubt gegebenenfalls lediglich die längere Nutzung einer erschöpfbaren Ressource.

Die Zielsetzungen, Strategien und Methoden einer nachhaltigen Züchtung sollten sich orientieren an:

1. einem nachhaltigen Umgang mit ihren Ressourcen und
2. an den Möglichkeiten eines nachhaltigen Umgangs mit ihren Produkten.

Züchtungsmethoden sind vor allem durch die verwendeten Vermehrungsprozesse charakterisiert.

Zum nachhaltigen Umgang mit landwirtschaftlichen Produkten zählen auch die für die Nutzbarmachung der Produkte eingesetzten Prozesse und erforderlichen Flächen.

Um nachhaltig zu sein, dürfen Züchtung und ihre Folgeprodukte, in Anlehnung an Kleinschmit (2005):

1. die genetischen Ausgangsressourcen, aus welchen sie schöpft, nicht beeinträchtigen (**erstes Prinzip**);
2. müssen genetische Ausgangsressourcen sich selbst regenerierende Populationen mit hohen Anpassungskapazitäten sein (**zweites Prinzip**) und
3. dürfen von Züchtung und ihren Folgeprodukten keine nachteiligen Wirkungen auf andere Ressourcen ausgehen (**drittes Prinzip**).

Wenn Züchtungs- oder Produktionspopulationen physisch ihre Ausgangsressourcen ersetzen, und/oder genetisch modifizieren, Züchtungsstrategien die Erhaltung ihrer genetischen Ausgangsressourcen nicht berücksichtigen und/oder Züchtungspopulationen andere Ressourcen einschließlich der abiotischen Ressourcen nachteilig beeinflussen, so liegen Formen nicht-nachhaltiger Züchtung vor. Soweit die aus Züchtungspopulationen hervorgegangenen Produktionspopulationen einen wirtschaftlichen Einsatz nur unter den letztgenannten Bedingungen ermöglichen, ist nicht nur der Anbau sondern bereits die Züchtung als nicht nachhaltig einzustufen.

Züchtungsstrategien lassen sich nach der Art der Nutzung ihrer Produkte zwei Kategorien zuordnen:

1. **Züchtung durch Nutzung:** Züchtung und Produktion finden in derselben Population statt, Nutzungsformen und Züchtungsmethoden bedingen sich gegenseitig (z.B. Waldbau, Landsorten, Landrassen).
2. **Züchtung für Nutzung:** Züchtungspopulationen sind von Produktionspopulationen getrennt (z.B. Inzucht-Heterosis Züchtung).

Züchtung durch Nutzung, wie sie etwa im Waldbau oder im Anbau von Landsorten betrieben wird, findet in persistierenden Populationen statt. Die züchterische Steuerung der Population strebt einen Zustand an, welcher gemäß dem Züchtungsziel für bestimmte Nutzungen geeignet ist, ohne hierbei den reproduktiven Zusammenhang der Populationsmitglieder über die Generationen hinweg zu unterbrechen (Wahrung der genealogischen Kontinuität). Die für Arten und ihre Populationen charakteristischen Mechanismen der Reproduktion und Selbstregulation bleiben folglich weitgehend unberührt oder werden sogar instrumentalisiert. Die zur Anwendung kommenden Selektionsregimes können die natürlichen Regimes in Hinsicht auf Variabilität, Fertilität, Fekundität und in den Paarungsverhältnissen modifizieren. Da Produktion und Züchtung in derselben persistierenden Population stattfinden (Identität von Züchtungspopulation und Produktionspopulation), können sich Züchtungsmethoden und Nutzungsformen gegenseitig bedingen. Selektive Formen der Nutzung sind integraler Bestandteil der Züchtungsmethoden. Aus der Persistenz der Population folgt, dass Nutzungen nur in Form einer Beerntung und nicht etwa in Form eines (nicht-regenerativen) Verbrauchs stattfinden können.

Letzteres unterscheidet die Züchtung für Nutzung von der Züchtung durch Nutzung. In der Züchtung für Nutzung ist die Produktionspopulation für den Verbrauch bestimmt und hat daher keine reproduktive Rückkopplung mit den sie erzeugenden Züchtungspopulationen. So bilden etwa in der Hybridzüchtung die einzelnen Inzuchtlinien die (persistierenden) Züchtungspopulationen, aus deren Kreuzung für den Verbrauch vorgesehene Produktionspopulationen entstehen. Eine reproduktive Rückkopplung findet nicht statt, wodurch die Möglichkeit der direkten Rückmeldung von Nutzungsdefiziten an die Züchtungspopulationen

ausgeschlossen ist. Damit können die mit Ausfällen in der Produktionspopulation verbundenen komplexen Anpassungsprozesse in ihren genetischen Konsequenzen nicht unmittelbar für eine Optimierung der Züchtungspopulationen genutzt werden. Diese Problematik verringert sich natürlich in dem Umfang, wie Produktionspopulationen aus Beerntung von Züchtungspopulationen hervorgehen, und letztere den gleichen Bedingungen wie die Produktionspopulationen ausgesetzt sind. Im Bereich der landwirtschaftlichen Züchtung kann die Entwicklung von Elternlinien für die Erzeugung von Hybridsorten als eine „Beerntung“ von Züchtungspopulationen aufgefasst werden, die die Ausgangspopulation nicht beeinträchtigt (vergl. Kapitel Pflanzenbau, Roggen). Letztlich nähert man sich hiermit allerdings wieder den für die Züchtung durch Nutzung charakteristischen Methoden.

Eine weitgehende Entkopplung von Züchtungs- und Produktionspopulationen schränkt also zumindest die Möglichkeiten der Anpassung an komplexe Umweltveränderungen und im Gefolge auch die Zahl realisierbarer Züchtungsziele ein. Hierin zeigt sich deutlich die für eine nachhaltige Züchtung zentrale Bedeutung persistierender Züchtungspopulationen, die variierenden Anpassungsanforderungen ausgesetzt sind und in einem weiteren Sinne gemäß den Prinzipien der Züchtung durch Nutzung bewirtschaftet werden. Die Anpassung an variierende Bedingungen erfordert wiederum die Präsenz und Erhaltung genetischer Variation im Hintergrund aber auch für die Zielmerkmale. Letzteres setzt die Funktionsfähigkeit der Selbstregulationsmechanismen von Populationen voraus. Züchtungspopulationen werden auf diese Weise zu abgeleiteten genetischen Ressourcen für gegenwärtig und zukünftig relevante Züchtungsziele.

Die gegenwärtigen Züchtungsaktivitäten und -theorien sind nahezu vollständig auf die Strategie „Züchtung für Nutzung“ ausgerichtet, zumeist mit Schwerpunkt auf kurzzeitige Perspektiven sowie Trennung von Züchtung und Produktion. Sie verfügen nur begrenzt über Züchtungsmethoden zur Umsetzung der Strategie „Züchtung durch Nutzung“ oder über Methoden der selbsterhaltenden Züchtung.

Das etablierte Wissen bietet Möglichkeiten zur Umsetzung der Strategie „Züchtung durch Nutzung“ und zur selbsterhaltenden Züchtung in Herkunftsgebieten, die als Populationsareale definiert sind oder in Landrassen und -sorten.

Sie ermöglichen die Erhaltung von Variation im genetischen Hintergrund von Züchtungspopulationen z.B. durch “multiple population breeding” oder durch Maximierung effektiver Populationsgrößen in Verbindung mit Inzucht reduzierenden Züchtungsplänen (vergl. Kapitel Pflanzenbau, Roggen).

Zu den elementaren Züchtungszielen gehören die Vermehrung ökonomisch und ökologisch erwünschter Eigenschaften, die Erhaltung und gegebenenfalls Erhöhung der Anpassungskapazität (z.B. durch Stabilisierung degradierter Populationen) und als unverzichtbares, zwingend notwendiges Teilziel eines jeden Zuchtziels die Erhaltung genetischer Ressourcen.

Die nachhaltige Umsetzung der Ziele setzt die Erhaltung der Anpassungsfähigkeit in das Zentrum aller züchterischen Aktivitäten. Die Erhaltung der Anpassungsfähigkeit findet auf der Ebene der (a) Zielmerkmale und (b) Hintergrundmerkmale statt. Sie ist erreichbar auf Ebene (a) durch Vermeidung von Reinzucht, auf der Ebene (b) durch Minimierung der Assoziationen zwischen Zielmerkmal und genetischem Hintergrund.

Die methodischen Möglichkeiten zur Erhaltung von Anpassungsfähigkeit umfassen die Auswahl von Material aus den Ausgangsressourcen mit den geringsten Assoziationen zwischen den Zieleigenschaften (Zielmerkmalszuständen) und dem genetischen Hintergrund. Die Züchtung sollte bestrebt sein, in persistierenden Züchtungspopulationen die Zielmerkmalsloci von ihrem genetischen Hintergrund durch mehrere der Selektion vorgeschaltete Zyklen erhöhter Fremdbefruchtung zu entkoppeln. Im Fall selbstbefruchtender Arten müssen hierfür eine große Zahl von Kreuzungen vornehmlich, aber nicht nur, unter den Trägern der Zieleigenschaften durchgeführt werden. Marker ohne funktionelle Beziehung zum Zielmerkmal oder Marker mit hoher Pleiotropie (wie konstitutive Enzyme) sind für die Beprobung des genetischen Hintergrundes zu verwenden. In das Selektionsregime sollten nicht nur Träger der Zieleigenschaften einbezogen werden (keine vollständige Reinzucht). Bei Begrenzungen der züchterischen Handlungsmöglichkeiten durch die Generationszeit und die Testperiode sollten die Möglichkeiten der Marker-gestützten Frühselektion (im Idealfall durch Fingerabdruck von Allelen, gegebenenfalls aus QTLs) genutzt werden. Im Bereich der Klonzüchtung ist auf die Verwendung großer Klonzahlen zu achten.

Die Gentechnik bietet Möglichkeiten der Erhöhung von Anpassungsfähigkeit. Ihr Einsatz ist jedoch strikt an Bedingung gebunden. So dürfen die transferierten Gene nicht die evolutionär-adaptive Koordination des Empfängergenoms gefährden. Durch eine bessere Kenntnis der Struktur von Genomen könnten effiziente Methoden der homologen Rekombination möglich werden und vielleicht sogar für interspezifischen Gentransfer im Sinne der oben ausgeführten Rahmenbedingungen genutzt werden.

In Abhängigkeit von der Organismengruppe muss sich Züchtung an mehr oder weniger variablen Umwelten orientieren. Mit abnehmender Kontrollierbarkeit der Umwelt gewinnen in der Züchtung Responsfunktionen von Zielmerkmalen gegenüber speziellen Zieleigenschaften an Gewicht. Responsfunktionen werden durch (die Merkmalsausprägungen) modifizierende nicht aber durch (Lebensfunktionen beeinträchtigende) adaptive Umweltbedingungen bestimmt. So wird beispielsweise der Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses von der Photoperiode modifiziert und Frühfröste entscheiden über die Angepasstheit dieses Zeitpunkts. Die Assoziationen zwischen modifizierenden und adaptiven Umweltbedingungen der Zielmerkmale bestimmen den Züchtungserfolg grundlegend. Züchtungen, welche nur unter stark kontrollierten modifizierenden Umweltbedingungen den gewünschten Phänotyp ausprägen, erfordern zugleich eine starke Kontrolle der adaptiven Umweltbedingungen (Gewächshaus, Stallhaltung).

Das landwirtschaftliche Produkt (Phänotyp = P) hängt also primär vom genetischen Potenzial der genutzten Pflanze oder des genutzten Tieres (Genotyp = G), den Produktionsverfahren (Umwelt = U) und den Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Umwelt ab. Diese Wechselwirkungen gestalten die Responsfunktionen und werden in der klassischen quantitativen Genetik durch die vereinfachende Gleichung  $P = G + U + G \times U$  zum Ausdruck gebracht. In dieser Gleichung wird deutlich, dass die Möglichkeiten Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft nachhaltig betreiben zu können, primär von den Methoden der Züchtung abhängen, soweit sie die genetischen Eigenschaften und deren Zusammenwirken mit modifizierenden und adaptiven Umweltbedingungen zu kontrollieren vermögen. Letztlich betrifft die damit verbundene Problematik ebenso die Bewirtschaftung und Beerntung von Ökosystemen, wobei die Landwirtschaft als der anthropogen überformte Teil dieser Ökosysteme zu betrachten ist.

Responsfunktionen werden für genetische Einheiten unter verschiedenen Umweltbedingungen ermittelt. Die Einheiten unterscheiden sich durch das Ausmaß an genetischer Variabilität des Zielmerkmals und seines Hintergrundes sowie durch die Assoziation zwischen beiden, beispielsweise:

- a. Populationen oder Herkünfte – große Variation des Zielmerkmals und des genetischen Hintergrundes;
- b. Familien – eingeschränkte Variation des Zielmerkmals und des genetischen Hintergrundes;
- c. Klone – ohne Variation des Zielmerkmals und des genetischen Hintergrundes;
- d. Marker-Genotypen (QTL) – kontrolliert eingeschränkte Variation des (funktionell und strukturell assoziierten) Zielmerkmals und beliebige Variation des genetischen Hintergrundes.

Die Nachhaltigkeit der Züchtung nimmt mit der Sicherheit der genetischen Ausgangsressourcen und dem Ausmaß, in welchem Züchtungspopulationen ihre eigene genetische Ressource bilden (Selbsterhaltung) zu. Zweifellos können nicht alle Ressourcen in Genbanken auf Dauer erhalten werden. Deshalb muss eine nachhaltige Züchtung ihren Schwerpunkt auf die Erhaltung selbstregenerierender Populationen setzen. Die wichtigsten Voraussetzungen für nachhaltige Züchtung sind zusammenfassend:

1. die Sicherheit der genetischen Ausgangsressourcen,
2. persistierende Züchtungspopulationen,
3. die Minimierung der stochastischen Assoziationen zwischen Zielmerkmal und genetischem Hintergrund,
4. die Charakterisierung von Responsfunktionen für Zielmerkmale,

5. die Charakterisierung von Assoziationen zwischen modifizierenden und adaptiven Umweltbedingungen für Zielmerkmale und
6. der Ausschluss von Beeinträchtigungen der evolutionär-adaptiven Koordination des Genoms.

Die nachfolgenden Ausführungen zum Fischereiwesen, zum Wald- und Pflanzenbau sowie zur Nutztierproduktion orientieren sich an Fragen der Übereinstimmung der gegenwärtigen Praxis mit den Prinzipien einer nachhaltigen Züchtung.

## Fischereiwesen

In Deutschland werden jährlich etwa 50.000 t Fisch aus Binnengewässern (einschließlich Angelfischerei), Teichen und technischen Haltungssystemen geerntet. Der Hauptteil (ca. 28.000 t) wird in Forellen- und Karpfenteichwirtschaften erzeugt, ein weitaus geringerer Teil stammt aus intensiven Aufzuchtssystemen (Warmwasseranlagen, ca. 2.500 t). Die Zucht von Süßwasserfischarten ist in Deutschland auf zwei unterschiedliche Ziele ausgerichtet. Einerseits werden verschiedene Arten für die Produktion von Speisefischen züchterisch bearbeitet, andererseits werden Fische auch für den Besatz natürlicher Gewässer vermehrt. Letzteres ist häufig notwendig, um die den anthropogenen Einflüssen unterworfenen Wildpopulationen zu unterstützen. Beide Praktiken setzen unterschiedliche Zuchtmethoden voraus.

## Forellenteichwirtschaft

Mit einer Jahresproduktion von etwa 16.700 t im Jahr ist die Forellenteichwirtschaft der wirtschaftlich bedeutendste Zweig der deutschen Aquakultur. Getragen wird dies gemäß Aquakulturstatistikerhebung von 2638 Betrieben, davon über 2000 lediglich als Zu- und Nebenerwerbsbetriebe (Brämick, 2014). Die Zuchtarbeit erfolgt in etwa 80 Betrieben, wobei es sich nicht um ausschließliche

Zuchtbetriebe handelt, sondern um traditionelle Betriebe mit offenen (persistierenden) Laichfischpopulationen.

Die Hauptfischart ist die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*), die um 1880 in Europa eingeführt wurde. Dabei handelt es sich um ein Kreuzungsprodukt mehrerer nordamerikanischer Herkünfte. In der Regel erfolgt die Zuchtarbeit in Form einer positiven Massenauslese, wobei die Zuchttiere aus der Produktionspopulation rekrutiert werden (Züchtung durch Nutzung). Die Zucht findet in größeren Betrieben mit eigener Laichfischhaltung, also „on farm“ statt. Wichtigste Zuchtziele sind: Fitness, Wachstumsleistung, Futtermittelverwertung, Exterieur und eine späte Geschlechtsreife. Weitere Zuchtmethoden dienen der Erzeugung von Monosexbeständen oder triploiden Produktionspopulationen, die aber in Deutschland nicht ohne weiteres durchgeführt werden dürfen. Dieses Besatzmaterial (Eier, Setzlinge) wird daher überwiegend aus dem Ausland eingeführt, wo spezialisierte Zuchtunternehmen auch weitergehende Zuchtmethoden (z.B. Familienselektion) anwenden.

Neben der Regenbogenforelle werden in der Forellenteichwirtschaft in geringem Umfang Bachforellen und Saiblinge gezüchtet. Bei den Bachforellen handelt es sich zumeist um Nachkommen lokaler Wildpopulationen, die teilweise bereits seit Jahrzehnten auf den heimischen Betrieben gehalten werden. Während Saiblinge ausschließlich zu Speisezwecken gehalten werden und ähnlichen Zuchtzielen wie Regenbogenforellen unterliegen, werden Bachforellen überwiegend für Besatzmaßnahmen für natürliche Gewässer aufgezogen. In diesem Fall ist das Zuchtziel auf den Erhalt der Diversität autochthoner Bestände ausgerichtet. Erst in den letzten Jahren hat sich auch ein Markt für Bachforellen als Speisefische herausgebildet.

## Karpfenteichwirtschaft

Die Karpfenteichwirtschaft ist wesentlich älter als die Forellenteichwirtschaft. Karpfen (*Cyprinus carpio*) werden bereits seit über 2.000 Jahren in Europa gezüchtet. In Deutschland wurden 2014 insgesamt ca. 7.700 t Speise- und Satzkarpen von 3838 Betrieben (davon ca. 160 Hauptidebetriebe) in Teichwirtschaften erzeugt (Brämick, 2014). Die Anzahl der Betriebe mit Laichfisch-

haltung belief sich 2007 auf 99. Es handelt sich dabei nicht um spezialisierte Zuchtbetriebe, sondern um traditionelle Teichwirtschaften mit eigenen Zuchtstämmen, die offene Populationen darstellen. Die züchterische Bearbeitung basiert ausschließlich auf dem Einsatz der positiven Massenauslese. In der Regel wird mit einer hohen Selektionsintensität auf Fitness, äußere Merkmale oder Wachstumsleistung ausgewählt, wobei eine Überprüfung des Zuchtfortschritts aber nicht erfolgt. Indirekt wird mit diesem Vorgehen auch auf Krankheitsresistenz selektiert, da die Nachzucht in der Regel in offenen Teichen heranwächst, wo oftmals erheblicher Erregerkontakt besteht. In der Karpfenteichwirtschaft werden zudem eine Reihe weiterer Fischarten aufgezogen (Jahresproduktion ca. 900 t). Dazu zählen Schleien (*Tinca tinca*), Hechte (*Esox lucius*), Zander (*Sander lucioperca*), Europäische Welse (*Silurus glanis*) und Störe (*Acipenser spp.*) für Speise- und Besatzzwecke, teilweise aber auch seltene Kleinfischarten, Muscheln und Edelkrebse. Diese Arten werden in der Regel unter den Bedingungen der extensiven Teichwirtschaft vermehrt, es erfolgt aber keine gezielte züchterische Bearbeitung.

## Technische Haltungssysteme

Neben der sehr technisierten Satzkarpfenproduktion an Kraftwerken werden in Deutschland verschiedene Fischarten in weitgehend standortunabhängigen Kreislaufanlagen produziert (2014: 53 Betriebe, ca. 2500 t), insbesondere Aale (*Anguilla anguilla*), Afrikanische Welse (*Clarias spp.*), Europäische Welse (*Silurus glanis*), Karpfen (*Cyprinus carpio*) und Störe (*Acipenser spp.*). Eine zielgerichtete Zuchtarbeit findet bisher nur bei wenigen Arten statt. In den wenigen Betrieben mit eigener Nachzucht werden die Zuchttiere aus der Produktionspopulation rekrutiert, oder es wird auf Elterntiere aus Teichwirtschaften zurückgegriffen. Eine Ausnahme davon stellt in gewissem Umfang der Europäische Wels dar, der in einem Zuchtbetrieb gezielt züchterisch bearbeitet wird.

## Stand der Zucht in der Aquakultur

Untersuchungen an den wichtigsten Wirtschaftsfischarten der Aquakultur weisen auf eine hohe genetische Diversität innerhalb der Bestände hin. Es zeigt sich,

dass mit zunehmender Nutzungsdauer eines Bestandes der Allelreichtum nur leicht abnimmt und der genetische Inzuchtkoeffizient nur geringfügig ansteigt - ein Hinweis auf die geringe Intensität der züchterischen Bearbeitung.

Es wird deutlich, dass die Zuchtarbeit in den meisten Fischbeständen der Aquakultur zumeist wenig systematisch ist und häufig eher einer reinen Vermehrung entspricht. Bei den oft hohen Nachkommenzahlen (je nach Fischart 3.000 bis über 500.000 Nachkommen je Rogener möglich) wirkt während der Erbrütung und Aufzucht eine indirekte Selektion auf die Anpassungsfähigkeit an die Produktionsbedingungen. Darüber hinaus wird von Fischzüchtern anhand äußerer Merkmale eine positive Massenauslese praktiziert. Es ist allerdings festzustellen, dass auf diese Weise das züchterische Potential der Fische nicht vollständig ausgenutzt wird.

In der regional unterschiedlich strukturierten deutschen Aquakultur entstanden auf diese Weise verschiedene lokal angepasste Zuchtpopulationen, die einen bedeutenden Pool für die Aquatischen Genetischen Ressourcen bilden. Die Gefahr des Verlustes einzelner Ressourcen besteht in einigen Teilen der Teichwirtschaft durch die Aufgabe der Laichfischhaltung oder des ganzen Betriebes aufgrund ökonomischer Zwänge. Der Erhalt der Ressourcen in der Aquakultur ist daher in besonderem Maße an den Fortbestand der traditionellen Vermehrungsbetriebe gekoppelt.

## **Binnenfischerei**

Sowohl in der Aquakultur als auch in der Binnenfischerei in natürlichen Gewässern werden aquatische genetische Ressourcen genutzt. Dabei wird besonders auf die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung geachtet, wie sich am Beispiel der nachhaltigen Nutzung der Fischbestände des Bodensees darstellen lässt.

Der Bodensee ist der zweitgrößte Voralpensee. Anrainerstaaten sind Schweiz, Österreich und Deutschland. Seit 1893 sind die Regelungen der Fischerei für alle Anrainerstaaten grundsätzlich identisch und werden aufgrund eines regelmäßigen Monitoring an die aktuellen Bedingungen angepasst. Im Laufe der Jahrzehnte war der Nährstoffgehalt im See drastischen Schwankungen unterworfen.

Handelte es sich vor 1950 noch um einen oligotrophen See, so stieg der Nährstoffgehalt anschließend stark an, erreichte in den 70er Jahren die höchsten Werte und geht seither zurück. Grund für diesen Rückgang sind intensive Maßnahmen zur Verminderung des Nährstoffeintrags im gesamten Einzugsgebiet. In den letzten Jahren wurde wieder das Ausgangsniveau von vor 1950 erreicht.

Das nachhaltige Fischereimanagement ist für alle Anrainerstaaten einheitlich. Am Bodensee sind dafür Regelungen für die Berufsfischerei getroffen worden, die die Fangzeiten und Fangmethoden regulieren, und die den Entwicklungen der Fischbestände angepasst werden. Die Veränderungen hatten auch Auswirkungen auf den Gesamtertrag der Berufsfischer, der mit beginnender Eutrophierung stark anstieg und in den letzten Jahren aber wieder deutlich abnahm. Neben der absoluten Höhe des Ertrags veränderten sich auch die Anteile der einzelnen Arten im Fang. Bis zum Beginn der Eutrophierung war der Bodensee ein klassischer Felchensee. Felchen machten ca. 75 % des Ertrags aus und alle anderen Arten zusammengenommen die restlichen 25 %. Mit beginnender Eutrophierung nahm der Anteil der Felchen am Gesamtfang stark ab. Im mittlerweile wieder oligotrophen See entspricht die Fangzusammensetzung wieder der vor Beginn der Nährstoffzunahme. Die wirtschaftlich wichtigsten Fischarten Felchen und Barsch werden regelmäßig untersucht. Dadurch sind Wachstum und Alterszusammensetzung dieser beiden Arten im See gut dokumentiert. Mit steigendem Nährstoffgehalt beschleunigte sich das Wachstum der Felchen (*Coregonus lavaretus*), sodass die Netzfänge aus ein- bis dreijährigen Fischen bestanden. Mit der Reoligotrophierung des Gewässers finden sich heute dagegen hauptsächlich drei- bis fünfjährige Felchen in den Netzen wieder. Gleiches gilt für den Flussbarsch (*Perca fluviatilis*), dessen Fangmengen mittlerweile wieder auf das Niveau vor Beginn der Eutrophierung zurückgefallen sind. In der Zeit der Eutrophierung stand der Seesaibling (*Salvelinus alpinus*) kurz vor dem Verschwinden aus dem See, erst mit dem aktuellen niedrigen Nährstoffgehalt steigen die Fangzahlen wieder an.

Im Bodensee kommen mehr als 30 Fischarten vor, darunter insgesamt vier Felchenformen (*Coregonus lavaretus*: Blaufelchen, Gangfisch, Sandfelchen, Kilch). Von den vor 1880 vorhandenen Arten ist nur der Kilch in Folge der Eutrophierung in den 1970er Jahren ausgestorben. Durch den Menschen wurden Zander und Regenbogenforelle gezielt eingesetzt. In den vergangenen Jahren besiedel-

ten zahlreiche Neozoen den Bodensee. Diese scheinen neue ökologische Nischen zu besetzen; ein Einfluss auf die Fischfauna konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

Der Einfluss der Fischerei auf die Populationen wurde anhand des Blaufelchens untersucht. Ein genetischer Vergleich historischen und rezenten Materials bei Blaufelchen ergab keine Reduzierung der genetischen Bandbreite und spricht für eine nachhaltige fischereiliche Bewirtschaftung des Bestandes (erstes Prinzip).

Zur Stützung der Bestände werden Felchen (Gangfisch und Blaufelchen), Seeforellen (*Salmo trutta*) und Seesaiblinge (*Salvelinus alpinus*) zusätzlich künstlich reproduziert. Um die genetische Integrität der Populationen zu erhalten, wird dafür bei Felchen und Saiblingen ausschließlich auf Elterntiere aus dem See zurückgegriffen, die an den Laichplätzen gefangen werden. Bei Seeforellen stammt ein Teil des Laichs von Elterntieren, die als Nachkommen von Wildtieren unter kontrollierten Bedingungen aufgezogen werden. Die Erbrütung erfolgt in speziellen Brutanstalten. Die Jungfische werden in unterschiedlicher Größe in den See, bzw. im Fall der Seeforelle in die Zuflüsse ausgesetzt.

Jedes Gewässer besitzt eine spezifische Fischfauna, die sich im Laufe der Evolution optimal an die Standortverhältnisse anpasst. Insofern besitzen zahlreiche Gewässer einzigartige Formen oder Ökotypen, die eine Stabilität der Fischgemeinschaft gegenüber Umwelteinflüssen sicherstellen. Die Fischerei ist in Deutschland landesrechtlich geregelt und dementsprechend ist die Gesetzgebung teilweise leicht unterschiedlich. Am Beispiel des Bayerischen Fischereigesetzes werden die Regelungen zum Besatz freier Gewässer für den Erhalt der aquatischen Ressourcen dargestellt: Ein Besatz ist demnach nur zulässig, wenn „dadurch das Leitbild der Nachhaltigkeit (Art. 1 Abs. 3 BayFiG) und das Hegeziel (Art. 1 Abs. 2 Satz 2 BayFiG), vor allem der Artenreichtum und die Gesundheit des Fischbestands, nicht beeinträchtigt werden“. Außerdem muss der Besatz „aus Beständen oder Nachzuchten erfolgen, die dem zu besetzenden Gewässer ökologisch möglichst nahe zugeordnet werden können“ (Abs. 3 § 22 (1) AV BayFiG). Das Freisetzen von Arthybriden oder künstlich genetisch veränderter Fische und deren Nachkommen sind in Bayern verboten. Die Aufzucht von gebietsfremden Arten in Aquakultursystemen ist genehmigungspflichtig (geregelt in

der EU-Verordnung 708/2007), wobei die in Anhang IV der Verordnung genannten Arten keine Genehmigung benötigen.

## Forstwesen

Rund 11,4 Millionen ha der Landesfläche in Deutschlands sind mit Wald bedeckt. Dies entspricht 32 % der Landesfläche. Den größten Teil der Fläche nehmen laut Bundeswaldinventur (BWI III) die 4 Hauptbaumarten mit Fichte (25,4 %), Kiefer (22,3 %), Buche (15,4 %) und Eiche (10,3 %) ein (BMEL, 2014). Die Hauptbaumarten wachsen in der Regel zwischen 80 und 300 Jahren, bis sie geerntet werden (Umtriebszeiten). Der allergrößte Teil der Fläche wird natürlich verjüngt (80%). Der Anteil künstlich verjüngter Waldfläche lag in den letzten Jahren bei rund 20 % (geschätzt). Nur bei der Kunstverjüngung gibt es die Möglichkeit, gezielt züchterisch verbessertes Pflanzenmaterial in den Wald zu bringen. Der jährliche Flächenanteil von Kunstverjüngung liegt derzeit deutlich unter 0,5 % der gesamten Waldfläche.

In Deutschland ist das Inverkehrbringen von forstlichem Saat- und Pflanzgut im Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) vom 22. Mai 2002 geregelt. Das FoVG nennt vier Kategorien von forstlichem Vermehrungsgut: „Quellengesichert“, „Ausgewählt“, „Qualifiziert“ und „Geprüft“. Vermehrungsgut der Kategorie „Quellengesichert“ ist keinerlei Auslese unterworfen und in Deutschland nur auf bestimmte Baumarten und für nicht forstliche Zwecke beschränkt. Das am meisten verwendete Saatgut (79,2 %) gehört der Kategorie „Ausgewählt“ an, es beinhaltet Vermehrungsgut von Beständen, die nach phänotypischen Kriterien ausgelesen wurden. Weitere 13,1 % werden als „Qualifiziertes“ Vermehrungsgut in Samenplantagen geerntet. Diese Samenplantagen bestehen aus nach Phänotyp selektierten Einzelbäumen. Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ (2,2 %) wurde aufgrund einer aufwändigen und erfolgreich durchgeführten Prüfung zugelassen. Nur etwa ein Drittel stammt aus geprüften Samenplantagen und wurde züchterisch bearbeitet. Klone sind nur von Pappeln, Moor-Birke, Sand-Birke und Vogel-Kirsche zugelassen und werden auf sehr geringer Fläche angebaut.

Der inländische Verbrauch von Holzrohstoffen hat in den vergangenen zwei Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen und beträgt derzeit rund 130 Millionen Kubikmeter pro Jahr (BMELV, 2011). Insgesamt werden rund 77 Millionen stofflich und rund 53 Millionen Kubikmeter energetisch genutzt. Allein der Rohstoffverbrauch der Holzwerkstoff- und Zellstoffwirtschaft stieg seit dem Jahr 2000 von rund 19 auf knapp 36 Millionen Kubikmeter im Jahr 2009 an. Hinzu kam ein steigender Holzbedarf für die Energieerzeugung. Wenn sich die Nachfrage nach Holz so weiterentwickelt, wie in den letzten Jahrzehnten, dann ergibt sich im Jahr 2020 allein in Deutschland ein Mehrbedarf an Holz von ca. 30 Millionen Kubikmetern.

Die Forstpflanzenzüchtung erlebt angesichts dieser Herausforderungen seit einigen Jahren eine Renaissance in Deutschland. Sichtbar wird dies unter anderem an der umfangreichen Förderung von Projekten in diesem Bereich durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und im Rahmen des Waldklimafonds durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), jeweils im Auftrag des BMEL.

Von der Züchtung landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzter Pflanzenarten unterscheidet sich die Forstpflanzenzüchtung durch einige Besonderheiten. Dazu zählen die langen Zeiträume (lange Generationszeiten und lange Prüfzeiträume wie bei Obstbäumen und Reben), technische Erschwernisse insbesondere bei gelenkten Kreuzungen, aber auch ein hoher zu erwartender Züchtungsfortschritt, da es sich bei den heimischen Baumarten um züchterisch wenig beeinflusstes Ausgangsmaterial handelt. Bei den forstlichen Züchtungsprogrammen stehen angesichts der langen Produktionszeiträume und der zu erwartenden Klimaänderung als Ziele Ertragssteigerung, Qualitätsverbesserung, Resistenzeigenschaften und gesteigerte Anpassungsfähigkeit im Vordergrund. Als Züchtungsverfahren wurden und werden vor allem die Auslesezüchtung eingesetzt. Die Kombinationszüchtung hat nur einen kleinen Anteil an den Züchtungsprodukten. Die Mutationszüchtung ist zu vernachlässigen. Gentechnische Verfahren sind bei zugelassenem forstlichem Vermehrungsgut bisher nicht eingesetzt worden. Zudem dürfen gentechnisch veränderte Forstpflanzen nach Maßgabe der beiden hauptsächlich im Forst angewendeten Zertifizierungssysteme PEFC und FSC nicht angebaut werden.

Beispiele für die Erfolge der Forstpflanzenzüchtung sind Herkunftsversuche zur Wüchsigkeit bei der Douglasie und Nachkommenschaftsprüfungen bei der Kiefer, die zur Erhöhung des Anteils gerader Bäume führten. Bei der Fichte und Wildkirsche fanden Auslesezüchtungen von Eliteklonmischungen statt, die bei Biomasseentwicklung und Geradschaftigkeit die Vergleichspflanzen um mehr als 200% übertreffen. Allein die Verwendung der 25 % besten Herkünfte aus Herkunftsversuchen würde bei Eiche, Buche, Douglasie und Fichte einen potentiellen wirtschaftlichen Mehrertrag von 29 bis 59% gegenüber dem Versuchsmittel erbringen (Kleinschmit, 2002).

Die Züchtungsmethoden für die einzelnen Baumarten sind sehr unterschiedlich. So beschränkt sich die Züchtung bei der Buche fast ausschließlich auf die Auswahl und Prüfung von Herkünften, während bei Schwarz- und Balsampapeln gelenkte Kreuzungen mit starker Auslese von Klonen durchgeführt werden. Der Mehrwert von züchterisch verbessertem forstlichem Vermehrungsgut wird in der forstlichen Praxis allerdings zu wenig erkannt, was als ein Problem der Forstpflanzenzüchtung gilt. Für die Zukunft des Waldbaus stellt die Erarbeitung und langfristige Umsetzung von bundesweiten Züchtungsstrategien eine wesentliche Herausforderung dar. Hierzu ist inzwischen ein deutschlandweites Züchtungskonzept aufgestellt worden (Liesebach *et al.*, 2012), dessen Umsetzung bei den Baumarten Berg-Ahorn, Douglasie, Fichte, Kiefer, Lärche, Stiel- und Trauben-Eiche mit einem durch den Waldklimafonds geförderten Projekt (Fit-ForClim) begonnen wird (Meissner *et al.*, 2015).

Die Züchtung ist dabei bestrebt, die drei Grundprinzipien einer nachhaltigen Züchtung einzuhalten. Die Herausforderungen bestehen darin,

- a. die Komplexität von Umwelteinflüssen richtig zu erfassen,
- b. die Variation des genetischen Hintergrundes, der nicht für die Zielmerkmale kodiert, zu maximieren und
- c. den Züchtungsfortschritt richtig zu beschreiben.

Diese Anforderungen sind in zukünftige Züchtungsprogramme zu integrieren.

Die Erhaltung genetischer Ressourcen forstlich genutzter Arten ist ein zentrales Element einer bundesweiten Züchtungsstrategie. Nach der Entschließung des Bundesrates und dem Aktionsprogramm der Bundesregierung „Rettet den Wald“ wurde in der Bundesrepublik 1985 die Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen“ (BLAG-FGR) eingesetzt. Diese legte 1987 ein „Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland“ vor (Melchior *et al.*, 1989). Nach den Erfahrungen und den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde das Konzept im Jahr 2000 überarbeitet und 2010 neu aufgelegt (Paul *et al.*, 2010).

Im Zeitraum von 1988 bis 2010 wurden in Deutschland für 107 Baum- und Straucharten insgesamt 9.930 *In-situ*-Generhaltungsbestände mit einer Fläche von über 35.000 ha und für 145 Arten mehr als 45.000 *In-situ*-Einzelbäume ausgewiesen. Es wurden für 58 Arten 1.250 *Ex-situ*-Erhaltungsbestände und für 72 Arten 500 Samenplantagen angelegt. Zusätzlich wurden in forstlichen Genbanken für 84 Arten über 9.000 Saatgutchargen eingelagert.

In den letzten Jahren wurden mit Mitteln des BMEL Pilotstudien zum genetischen Monitoring bei der Buche und der Kirsche sowie Projekte zur Erfassung und genetischen Charakterisierung von seltenen und gefährdeten Baum- und Staucharten (Ulmenarten, Schwarzpappel, Feldahorn, Elsbeere, Wildapfel, Wildbirne, Traubenkirsche, Speierling, Flaumeiche, Grauerle, Grünerle und Eibe) gefördert. Obwohl vieles erreicht wurde, kann noch nicht von einem flächendeckenden System als Grundlage für weiterführende *In-situ*- und *Ex-situ*-Maßnahmen in Deutschland gesprochen werden. Eine stärkere Zusammenarbeit mit Partnern und Bündelung von Fähigkeiten, die Weiterführung der Forschungsförderung durch das BMEL sowie die Entwicklung eines Bewusstseins für investiven und Wert steigernden Charakter von Forschung und Entwicklung im Bereich der forstlicher Genressourcen wird für die Zukunft des Waldes wichtig sein.

## Pflanzenbau

Von den schätzungsweise 270.000 bisher bekannten höheren Pflanzenarten werden etwa 3.000 Arten vom Menschen als Nahrungspflanzen genutzt. Für die menschliche Ernährung spielen gegenwärtig weltweit rund 150 Arten eine bedeutendere wirtschaftliche Rolle. Von weltwirtschaftlich großer Bedeutung sind nur 20 Pflanzenarten, mit denen wir 90 % des Kalorienbedarfs der Weltbevölkerung erzeugen, davon decken die Gattungen *Triticum* (Weizen), *Oryza* (Reis) und die Art *Zea mays* (Mais) 60 % des weltweiten Kalorienbedarfs der Menschheit (Hawksworth und Kalin-Arroyo, 1995). Die Anzahl von Arten, mit der wir etwas mehr als die Hälfte des globalen Kalorienbedarfs erzeugen, ist gering. Es bedarf daher keiner weiteren Begründung, weshalb Züchtung insbesondere mit den Ausgangsressourcen dieser drei Kulturartengruppen nachhaltig umgehen muss.

In Deutschland nutzen wir etwa 25 Marktfrucht- und 35 Futterpflanzenarten. Hinzu kommen circa 70 Gemüsearten, 30 Obstarten und 70 Heil- und Gewürzpflanzenarten. Auf 79 % der Ackerfläche werden lediglich Weizen, Mais, Gerste, Raps und Roggen angebaut (Statistisches Bundesamt, 2015). Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen verändern das Kulturartenspektrum und die jeweiligen Flächenanteile einzelner Arten an der gesamten Ackerfläche im Verlauf von Jahrzehnten (Piorr und Lehmann, 2004). Die Pflanzenzüchtung reagiert auf geänderte Rahmenbedingungen, indem sie die Intensität der diversen fruchtspezifischen Zuchtprogramme den Gewinnerwartungen entsprechend modifiziert. In Deutschland betreiben mehr als 50 mittelständische Unternehmen sowie einige kleinere im Bereich der Züchtung für den ökologischen Landbau tätige kommerzielle Pflanzenzüchter eigenständige Zuchtprogramme für landwirtschaftliche oder gartenbauliche Kulturarten. Diese Firmen haben in der Regel ihren Hauptsitz in Deutschland oder sind Teil international tätiger Konzerne. Allein der europäische Anteil am globalen Markt für Saatgut beträgt 20% und entspricht damit einem jährlichem Wert von 7 Mrd. € (EP, 2015).

Eine nachhaltige Pflanzenzüchtung in allen Ländern der Welt ist die Voraussetzung für eine insgesamt nachhaltige Agrarproduktion. Maßnahmen der Agrarpolitik beeinflussen die Vielfalt der Produktionssysteme, die Artenvielfalt innerhalb der Produktionssysteme und die innerartliche Vielfalt der in den Produktionssystemen verwendeten Arten. Um eine insgesamt nachhaltige

Pflanzenzüchtung betreiben zu können, müssen wir begreifen, welche Wechselwirkungen zwischen politischen Entscheidungen, genetischer Diversität in landwirtschaftlichen Nutzungssystemen und einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Entwicklung bestehen. Vor allem sollten politische Entscheidungen niemals das dritte Prinzip verletzen, d.h. negative Auswirkungen von Züchtungsprogrammen auf andere Ressourcen zur Folge haben.

Die Verdrängung von Landsorten aus landwirtschaftlichen Nutzungssystemen bis hin zum unwiederbringlichen Verlust von Landsorten im Zuge der Grünen Revolution ist ein prägnantes Beispiel für die (unbeabsichtigte) Verletzung des dritten Prinzips als Folge agrarpolitischer Entscheidungen ohne vorangegangene umfassende Konsequenzanalyse. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen nutzen wir von den weltweit vorhandenen Kulturpflanzen in den landwirtschaftlichen Produktionssystemen immer weniger, dafür jedoch ökonomisch leistungsstarke Arten. Ein größeres Kulturartenportfolio würde die landwirtschaftliche Produktion auf eine breitere Basis stellen und angesichts zunehmend instabilerer Umweltbedingungen ihre Resilienz signifikant verstärken. Lokal besitzen Kulturarten wie T'ef (Äthiopien) oder Oca (Peru) und vielen anderen mehr hinsichtlich der Ernährungssicherung eine immense Bedeutung. Ernährungskrisen sind oftmals im globalen Maßstab betrachtet lokal begrenzt und könnten besser bewältigt werden, indem das lokal vorhandene Potenzial an Kulturartenvielfalt entwickelt und genutzt wird. Die Förderung lokaler Produktionssysteme mit ihren spezifischen Kulturarten und regional angepassten Kulturformen ist ein Beitrag zur Vermeidung solcher Ernährungskrisen. Eine dementsprechende international oder regional koordinierte Züchtungsforschung und Züchtung fehlt indes. Hier könnte die Agrarpolitik positive Anreize setzen und durch gezielte Forschungsförderung<sup>2</sup> die Anbauwürdigkeit von Arten, deren genetisches Produktionspotenzial bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist, verbessern. Mit der züchterischen Bearbeitung solcher Arten ist die Erhaltung und Weiterentwicklung genetischer Diversität verbunden. Dies ist ein wichtiger Effekt gezielter Fördermaßnahmen.

2 Das Doktorandenprogramm des BMEL – Forschung im Bereich Welternährung Förderinstrument „Bilateraler Wissenschaftler austausch“ ist eine Möglichkeit zur Förderung der Züchtungsforschung und Züchtung in Ländern mit unzureichender Versorgung der regionalen Märkte mit Saatgut traditionell genutzter Kulturarten.

Für die Erzeugung billiger<sup>3</sup> Nahrungsmittel in großen Mengen vereinheitlichte bislang die Landwirtschaft die Produktionsbedingungen und kompensiert dadurch entstehende Schwierigkeiten durch den Einsatz externer Betriebsmittel (Düngung, Bewässerung, chemische Beikrautregulierung, chemische Kontrolle phytopathogener und phytophager Arten) und entwickelt an den Einsatz dieser Betriebsmittel angepasste Sorten. Bei einer Verknappung und Preissteigerung von externen Betriebsmitteln kann sich die Entwicklung von Produktionssystemen und Sorten, die an begrenzt verfügbare Nährstoff- und Wasserressourcen angepasst sind, als erforderlich erweisen. Angesichts dieser Herausforderung ist eine Neuausrichtung Forschungsförderung notwendig. Entsprechende Ansätze finden sich bereits im Forschungsförderungsprogramm Horizon 2020 der EU. Das Ziel der Förderpolitik besteht in der Entwicklung ganzheitlicher Lösungsansätze zur Sicherung der Agrarproduktion und in der Erhöhung genetischer Diversität in Produktionssystemen (Ausschreibung SFS-05-2015, Strategies for crop productivity, stability and quality). Eine unverzichtbare Voraussetzung für die Entwicklung einer nachhaltigen Landwirtschaft ist die Sicherung genetischer Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft ex situ und in situ. In der Ausschreibung SFS-07b-2015 „Management and sustainable use of genetic resources“ wird die zentrale Funktion einer nachhaltigen Pflanzenzüchtung für die Entwicklung einer stark nachhaltigen Landwirtschaft betont (EC, 2013).

Inwieweit die moderne Pflanzenzüchtung ihre genetischen Ausgangsressourcen beeinflusst (vergl. erstes Prinzip), lässt sich am Beispiel von Getreidearten darstellen. Zum Anstieg der Hektarerträge bei Weizen, Gerste, Hafer und Roggen in den vergangenen Jahrzehnten hat die Pflanzenzüchtung einen erheblichen Beitrag geleistet. Nach Schätzungen auf Basis von Exaktversuchen gehen für Winterweizen gut 50% und für Wintergerste gut ein Drittel des Ertragsanstiegs in der landwirtschaftlichen Praxis allein auf den erzielten Zuchtfortschritt zurück. Gleichzeitig gelang es, das Resistenzniveau gegenüber verschiedenen Krankheiten dem sich ändernden Erregerspektrum anzupassen und zu verbessern. Hierzu trug vor allem die Einkreuzung von Resistenzgenen aus den nahe verwandten Gattungen *Aegilops* und *Haynaldia* sowie aus Wildarten des

<sup>3</sup> Mit der Formulierung „Erzeugung billiger Nahrungsmittel“ soll jene Produktionsweise umschrieben werden, die die Kosten für nicht-nachhaltiges Handeln externalisiert. Preiswert sind dagegen Erzeugnisse aus nachhaltiger Landwirtschaft.

Weizens bei. Es stellt sich die Frage, ob intensive Selektion auf Ertrags- und Resistenzeigenschaften die genetische Diversität im Sortenmaterial, welches als Ausgangsmaterial für die Neuzüchtung dient, vermindert. Züchterische Aktivitäten führen zum Auftreten neuer und zum Verlust bislang vorhandener Allele von molekularen Markern (SSR) im europäischen Sortiment der Gerstensorten. Die mithilfe von Markern gemessene Diversität im deutschen Gerstensortiment zeigt kaum Veränderungen über einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren (Ordon *et al.*, 2005, Malysheva-Otto *et al.*, 2007). Auch bei Weizen blieb die Diversität im europäischen Sortiment über einen Zeitraum von sechs Jahrzehnten konstant. Bei beiden Kulturarten lassen sich andere Allele und eine größere Diversität in den verwandten Wildformen feststellen. Für die Erhaltung der Anpassungsfähigkeit der Gersten- und Weizenzüchtung sind deshalb der Zugang zu Wildartenpopulationen und die Erhaltung der genetischen Diversität dieser Ausgangsressourcen für die Sicherung des Züchtungsfortschrittes von besonderer Bedeutung.

Sowohl in der Züchtung von Fremd- als auch von Selbstbefruchtern muss genotypische Variation stets neu erzeugt werden, um unsere Kulturpflanzen an die sich stetig ändernden Anforderungen von Mensch und Umwelt genetisch anpassen zu können. In der Hybridzüchtung stammen die zur Erzeugung von Sorten verwendeten Linien aus heterotischen, von der Züchtung in eigener Verantwortung bewirtschafteten Genpools. Im Fall der Roggenzüchtung handelt es sich hierbei um Populationen aus dem Carsten bzw. Petkuser Formenkreis. Eine Voraussetzung für den Züchtungsfortschritt in der Hybridzüchtung ist das richtige Management der heterotischen Genpools. Sie müssen für den langfristigen Erfolg eines Zuchtprogrammes kontinuierlich mit genetischer Variation für Resistenz gegen biotische und abiotische Stressfaktoren sowie für komplex vererbte, qualitäts- und ertragsbestimmende Merkmale angereichert werden. Dies gilt derzeit insbesondere für den Carsten Formenkreis mit seiner im Vergleich zum Petkuser Formenkreis geringeren genetischen Diversität. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass die genetische Distanz zwischen den Formenkreisen bestehen bleibt, damit der Heterosiseffekt in der Hybridzüchtung genutzt werden kann. Der Erfolg der Hybridzüchtung bei Roggen beruht auch auf der großen genetischen Diversität sowie der Eigenleistung des Petkuser Formenkreises, die über Jahrzehnte durch Selektion aufrechterhalten wurde. Das Beispiel des Petkuser Formenkreises zeigt, dass durch Hybridzüchtung beim Roggen das erste Prinzip

einer nachhaltigen Pflanzenzüchtung nicht verletzt wird. In diesem Formenkreis vorhandene genetische Diversität bedarf gegenwärtig keiner Ergänzung durch Einkreuzung anderer Sorten (z.B. Lichtkornroggen) oder Landsorten (z.B. Tauernroggen). Gleichwohl ist im Sinne der Daseinsvorsorge die Förderung der Erhaltung von Landsorten als sich selbst regenerierende Populationen sinnvoll. Neben der Erhaltung von Landsorten sowie der gezielten Rekombination von Elitelinien könnte künftig auch die Erzeugung genetisch divergenter Populationen im Sinne der Evolutionsstämme nach Schnell (1980) eine weitere Option für die nachhaltige Nutzung genetischer Ressourcen in Hybridroggenzüchtung sein.

Die Züchtung hochproduktiver Hybridroggensorten (Geiger, 2007) trägt zur Erhaltung der Kulturartenvielfalt im Anbau bei. Die Hybridzüchtung bei Roggen kann also als erfolgreiches Beispiel angesehen werden, wie ein lokal vorhandenes Potenzial an Kulturartenvielfalt nachhaltig entwickelt und genutzt werden kann. Damit die Roggenzüchtung auch künftig einen Beitrag zur Erhaltung der Kulturartenvielfalt im Anbau leisten kann, ist die Erhaltung persistenter und genetisch divergenter Züchtungspopulationen zwingend notwendig.

## Tierproduktion

Große, privatwirtschaftlich organisierte Zuchtprogramme betreffen unter anderem das Rind, das Schwein und das Huhn. Aufgrund ihrer internationalen Bedeutung für die Welternährung wurde anhand dieser drei Arten erörtert, ob und inwieweit die Praxis der Tierzüchtung nachhaltig ist. Im Vergleich zum Fischereiwesen, dem Wald- und Pflanzenbau bestimmt der wirtschaftliche Wert der Einzeltiere die Züchtung.

Beim Milchrind ist der wirtschaftliche Wert des Einzeltieres hoch, die Reproduktionsrate (circa ein Nachkomme/ Kuh/Jahr) sehr gering und das Generationsintervall mit circa fünf Jahren bei den herkömmlichen Zuchtverfahren sehr lang. Das Hauptmerkmal, die Milchleistung, ist bei den männlichen Tieren nicht messbar. Wildpopulationen des Rindes sind nicht mehr vorhanden. Die Züchtung liegt weitestgehend in den Händen von Züchtervereinigungen. Das

Produktionstier ist ganz überwiegend ein Reinzuchttier. Die Zuchtpopulationen sind mit circa 100.000 Kühen sehr umfangreich und stellen weitgehend auch die Produktionspopulationen dar. So sind in Deutschland von den 4,2 Millionen Milchkühen etwa 2,5 Millionen Kühe in einem Herdbuch eingetragen.

Im Vergleich zu Rind und Legehenne nimmt beim Schwein der wirtschaftliche Wert des Einzeltieres, die Reproduktionsrate mit circa 25 Nachkommen pro Sau und Jahr ebenso wie das Generationsintervall mit circa zwei Jahren einen mittleren Rang ein. Die meisten wichtigen Merkmale sind in beiden Geschlechtern messbar. Wildpopulationen sind vorhanden. Die Züchtung wird noch von zwei Säulen getragen: Züchtervereinigungen und Zuchtunternehmen. Die Züchtervereinigungen haben circa 30.000 Sauen im Herdbuch eingetragen und verfügen über einen geschätzten Marktanteil von unter 25%. Die restlichen Marktanteile verteilen sich auf mehrere Zuchtunternehmen. Das Produktionstier wird fast ausschließlich mit Hilfe einer Dreilinienkreuzung erzeugt. Der Umfang der Linien ist relativ gering (meist unter 500 Zuchtsauen). Hier ist die Zuchtpopulation verschieden von der Produktionspopulation.

Bei Legehennen ist der wirtschaftliche Wert des Einzeltieres gering. Die sehr hohe Reproduktionsrate mit circa 160 Nachkommen pro Henne und Jahr und ein kurzes Generationsintervall von circa einem Jahr kennzeichnen Legehennen. Die Hauptmerkmale sind bei männlichen Tieren nicht messbar. Wildpopulationen sind vorhanden. Die Züchtung liegt weltweit in den Händen von sehr wenigen Zuchtunternehmen. Das Produktionstier wird ausschließlich durch Linienkreuzung erzeugt. Der Umfang der Linien ist mit circa 500 bis 1.000 Legehennen relativ gering. Die Zuchtpopulation ist verschieden von der Produktionspopulation.

Auf den genetischen Zustand einer Population (als Linie bezeichnet in einem Kreuzungszuchtprogramm) wirken verschiedene Faktoren ein, wie Selektion, Mutation, Migration und Drift. Migration durch Einkreuzung aus einer anderen Population kommt in der Tierzucht häufig vor, wobei fast immer Tiere einer leistungsfähigeren Population in eine gleich oder weniger leistungsfähige Population eingekreuzt werden (z.B. Montbeliard in Fleckvieh, Red Holstein in Fleckvieh). Gelegentlich führt die Einkreuzung zur Verdrängung der ursprünglichen Population wie im Fall von Brown Swiss (verdrängte Europäisches Braunvieh) oder Holstein Friesian (verdrängte die Europäischen Schwarzbunten). Dieser

Weg ist für den Züchter nur solange gangbar, wie es überlegene Populationen gibt. Ansonsten bleibt ihm zur Verbesserung nur die Selektion und bei der Endkreuzung die Nutzung der Heterosis. In diesem Fall muss der Züchter versuchen, die vorhandene genetische Variabilität möglichst effizient in genetischen Fortschritt umzusetzen. Dabei haben zwei Faktoren eine antagonistische Wirkung: gerichtete Selektion und ungerichtete Drift. Betrachtet man einen Locus, der einen Einfluss auf das zu verbessernde Merkmal hat und an dem folglich in der Population zwei (oder mehr) Allele vorhanden sind, so bewirkt die Selektion eine Erhöhung der Frequenz des günstigsten Allels. Die Drift entsteht dadurch, dass die Elterngeneration nur eine endliche Stichprobe von Gameten an die Nachfolgegeneration weitergibt. Dadurch ist die Allelfrequenz (auch ohne Selektion) in der Nachfolgegeneration verschieden von derjenigen der Elterngeneration. Dadurch kann es, trotz Selektion, vorkommen, dass das günstige Allel in der Nachfolgegeneration nicht mehr vorkommt und damit auch nichts zum genetischen Fortschritt beiträgt. Das Ausmaß an Drift hängt von der Anzahl der tatsächlich eingesetzten Zuchttiere und der Variabilität ihrer Familiengröße ab. Als Kenngröße dient die effektive Populationsgröße ( $N_e$ ). Außer der Drift sind auch die Zunahme der Inzucht, die Zunahme der durchschnittlichen Verwandtschaft und der Verlust (oder Fixierung) von Allelen von  $N_e$  abhängig.

Mutation wirkt dem Verlust genetischer Variation durch Drift und Inzucht entgegen. In langfristigen Selektionsversuchen von 50 Generationen und mehr fand man häufig, dass die Selektionserfolge in späteren Generationen zwar abnahmen, aber nicht so stark wie es die oben dargelegten Zusammenhänge erwarten lassen. Die plausibelste Erklärung dafür ist die nach Beginn der Selektion durch Mutationen neu entstandene genetische Variation. Dieser Faktor konnte in mehreren Selektionsversuchen überzeugend verifiziert werden. Auch die Wahrscheinlichkeit, dass eine neue Mutation züchterisch genutzt werden kann, hängt von  $N_e$  ab und ist umso höher je größer  $N_e$  ist. Bei Verwendung einer isogenen, d.h. über keinerlei genetische Varianz verfügende *Drosophila*-Population mit einer effektiven Populationsgröße von 500 dauerte es etwa 250 Generationen, bis sie eine ähnliche genetische Varianz besaß wie eine übliche *Drosophila*-Population dieser Größe (pers. Mit. C. Lopez-Fanjul).

Während Selektion nur jene Loci beeinflusst, die einen Einfluss auf das selektierte Merkmal haben oder eng damit gekoppelt sind, wirkt Drift sowohl auf die

selektiv wirksamen als auch auf selektiv neutrale Loci mit der Folge, dass bei Aufnahme neuer Merkmale (z.B. Selektion auf verminderten Ausstoß klimaschädlicher Gase) der Züchter bei kleinem  $N_e$  eine verminderte genetische Varianz für das neue Merkmale vorfindet.

Sowohl Züchtervereinigungen wie auch Zuchtunternehmen stehen in sehr starker wirtschaftlicher Konkurrenz. Bei gegebener Testkapazität kann der Züchter durch scharfe Selektion (nur wenige der allerbesten Tiere werden zur Weiterzucht verwendet) den gegenwärtigen Selektionserfolg vergrößern, jedoch verkleinert er dadurch  $N_e$  und damit auch die genetische Variation und vermindert letztlich die Chancen für zukünftige Selektionserfolge. Der Züchter muss deshalb eine Balance zwischen kurzfristigen, Gewinn generierende Züchtungserfolge und der Erhaltung genetischer Variation für die zukünftigen Züchtungserfolge finden. Der betrachtete Zeithorizont und die gegenwärtige Marktstellung bestimmen weitgehend die gewählte Strategie.

Eine ähnliche Problematik besteht auch hinsichtlich der Erhaltung überkommener Nutztierassen. Aus dem oben geschilderten Experiment mit *Drosophila* kann man schließen, dass zur Aufrechterhaltung des Mutation-Selektion-Drift-Gleichgewichts  $N_e = 500$  ausreichend wäre. Selbst wenn man annimmt, dass  $N_e = 300$  ausreichend ist, so bräuchte man  $F = 75$  und  $M = 75$  ( $F = M$ , standardisierte Familiengröße) oder sofern die männlichen Tiere unproduktiv sind (Milchrinder), so bräuchte man  $M = 60$  und  $F = 240$  (minimale Varianz in allen Pfaden). Dieser Umfang wäre durchaus realisierbar, wenn dies als eine gesellschaftliche Aufgabe angesehen wird.

In der Tierzucht werden effiziente Zuchtprogramme größeren genetischen Fortschritt erzeugen und somit vermutlich weniger leistungsfähige Rassen verdrängen. Ein nicht hinnehmbares Risiko für die Tierzucht insgesamt entstünde mit Sicherheit dann, wenn keine Varianz übrig bleibt, die Reproduktion aufgrund zu starker Inzucht kollabiert oder die Tierproduktion zusammenbricht, weil lokale Rassen durch kollabierende Exoten ersetzt werden und deshalb keine angepassten Populationen mehr verfügbar sind. Ein solches Szenario wäre ein Beispiel für nicht nachhaltige Zucht. Hinweise auf ein komplettes Versagen von Anpassungsmechanismen sind allerdings spärlich. Beschrieben werden „nur“ Leistungseinbußen, wobei das Leistungsniveau üblicherweise

noch über dem der ersetzten Population liegt. Andererseits wäre Züchtung auf jeden Fall nachhaltig, wenn alle genetische Varianz erhalten bleibt. In der Tierzuchtpraxis wird man sich meistens zwischen diesen beiden Extremen befinden, sodass in diesem Kontinuum der Umschlagpunkt von nachhaltig zu nicht nachhaltig gefunden werden muss.

In der Tierzüchtung sind die Populationen schon allein aufgrund der Natur des Zuchtobjektes (Tiere benötigen mehr Platz als Pflanzen) kleiner. Die Rate des Allelverlustes pro Generation hängt von der effektiven Populationsgröße ( $N_e$ ) ab. Bei einer effektiven Populationsgröße von 50 ( $N_e = 50$ ) beträgt der Allelverlust 1% pro Generation, bei  $N_e = 500$  dagegen 0,1%. Damit ist das Maß von Nachhaltigkeit eine Funktion der effektiven Populationsgröße. Bei  $N_e < 2$  ist die Züchtung nicht nachhaltig und bei  $N_e = 10.000$  ist sie nachhaltig. Die Frage stellt sich, bei welcher  $N_e$  Züchtung nicht mehr nachhaltig ist. Aus Sicht der Tierzüchtung kann diese Frage nicht klar beantwortet werden, sondern bleibt eine Ermessensentscheidung, die sich am Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadenshöhe orientiert, welches die Tierzüchtung zu tragen bereit ist. In der Wildbiologie gelten Tiergruppen mit  $N_e < 100$  ganz klar als nicht mehr nachhaltige Populationen.

Trotz der intensiven Selektion in Zuchtpopulationen mit kleiner  $N_e$  scheint es kaum Hinweise auf den Verlust von Varianz sogar in stark selektierten Merkmalen zu geben. Daher stellt sich die Frage, ob eine nachhaltige Tierzüchtung die Erhaltung genetisch ins Hintertreffen geratener Populationen, genetische Variabilität für Krankheitsempfänglichkeit oder schlechte Futterverwertung notwendig macht und ob man sich „ineffiziente“ Rassen leisten kann?

In der Tierzüchtung ist im Gegensatz zur Pflanzenzüchtung auch die Bedeutung der Varianz zwischen Zuchtpopulationen unklar. Wie wichtig ist diese und falls sie als wichtig betrachtet wird, wie hoch ist ihr monetärer Wert? Wie viel genetische Variation (innerhalb einer Population) wird für die Erhaltung der Anpassungsfähigkeit benötigt? Solange wir diese Fragen nicht zweifelsfrei beantworten können, sollte die Tierzüchtung ein regelmäßiges Monitoring - auch unter Nutzung molekularbiologischer Informationen - durchführen, um ein Maß für den Allelverlust zu gewinnen. Welcher Grad an Allelverlust dann noch zu tolerieren ist, bleibt wohl immer noch eine Ermessensentscheidung.

## Schweinezüchtung

Weltweit dominieren fünf Firmen die kommerzielle Schweinezüchtung. Die Firma Pig Improvement Company (PIC) züchtet sechs Eber- und sechs Sauenlinien. Die Frage, inwieweit die Züchtung von Schweinen nachhaltig ist, wird jeweils aus der Perspektive a) des Konsumenten, b) der Umwelt, c) des Schweines und d) der Wirtschaft erörtert. Die Ausführungen betreffen die Aspekte a) Biopiraterie, b) Umweltverschmutzung und Erhaltung von Biodiversität, c) Wohlbefinden von Produktionstieren und d) Unternehmensgewinn.

Die Biopiraterie spielt im Bereich der Schweinezüchtung keine Rolle. An der Verminderung der Verschmutzung der Umwelt durch Nitrateintrag aus der Schweineproduktion arbeitet die Züchtung seit langer Zeit indirekt und hat deutliche Züchtungserfolge vorzuweisen. In Abhängigkeit vom Genotyp und dem Nahrungsangebot variiert die Ausscheidung von Nitrat und betrug bei bestimmten Rahmenbedingungen im Jahr 2004 circa 4 kg/Schwein im Gegensatz zu circa 5 kg/Schwein im Jahr 1969. Die Schweinezüchtung befasst sich mit Fragen der Erhaltung von Biodiversität und des Wohlbefindens von Produktionstieren. Die Fortschritte in diesen Bereichen sind jedoch zu langsam. Der Profit des Unternehmens steht eindeutig im Zentrum des Handelns, denn Profit ermöglicht Investitionen in den Züchtungsfortschritt und das Überleben der Firma unter den Bedingungen einer globalen Marktwirtschaft. Die Züchtungs- und Produktionspopulationen beeinflussen andere Ressourcen, einschließlich der abiotischen, nachteilig und somit verletzt die Schweinezüchtung in gewissem Umfang das dritte Prinzip.

Von den Hunderten existierenden Schweinerassen dominieren Linien aus fünf Rassen den globalen Markt. Es gibt daher einen Trend zur physikalischen Ersetzung von Ausgangspopulationen durch die Züchtungs- und Produktionspopulationen, dem durch die Erhaltung von Schweinerassen im Rahmen bestimmter, durch öffentliche Mittel finanzierter Förderprogramme entgegengewirkt wird. Züchtungs- und Produktionspopulationen modifizieren die Ausgangsressourcen der Schweinezüchtung genetisch. Inwieweit die Förderprogramme zur Erhaltung der genetischen Ausgangsressourcen beitragen können, betrifft die Frage, ob wir in der Schweinezüchtung vorhandenes Wissen und vorhan-

dene Technologien zu diesem Zweck effektiv einsetzen. Die gegenwärtigen Züchtungstheorien und -aktivitäten ermöglichen die Erhaltung genetischer Variation im Hintergrund von Züchtungspopulationen und eine Maximierung der effektiven Populationsgröße in Verbindung mit Inzucht reduzierenden Anpaarungsplänen. Die Erhaltung genetischer Variabilität in geschlossenen Zuchtlinien ist kein grundsätzliches Problem, sondern eher ein Problem offener, herdbuchgeführter Populationen.

Im Zeitraum von 1980 bis 2010 änderte sich nicht nur die Gewichtung der Merkmale im Zuchtziel, sondern auch die Anzahl der berücksichtigten Merkmale. Am Beispiel der Wurfgröße von PIC-Sauen kann gezeigt werden, dass die Reaktionsnorm hinsichtlich der Herde x Jahr x Saison-Klasse noch groß ist, mithin die Schweinezüchtung derzeit über hinreichend genetische Variabilität verfügt.

Die Schweinezüchtung verfolgt keineswegs eine eigene gegen das Gemeinwohl gerichtete Strategie, sondern orientiert sich allein an der Nachfrage. Wichtig ist die Gestaltung gesellschaftlicher Rahmenbedingungen, die es der Züchtung erlaubt, nachhaltig zu handeln. Die Voraussetzungen für eine nachhaltige Schweinezüchtung sind langfristige Zielsetzungen und zur Durchsetzung derselben notwendiger politischer Wille sowie Investitionen und Technologien. Während Technologien vorhanden sind, ist es fraglich, ob die politischen und finanziellen Rahmenbedingungen in gleichem Maße gegeben sind.

## Legehennenzüchtung

Es wird häufig behauptet, dass die weltweite Konzentration der Züchtung von Legehühnern auf vier Firmen(gruppen) weltweit eine Gefährdung darstelle. Dem ist zu entgegnen, dass die großen Zuchtfirmen eine Vielzahl von verschiedenen Hennen anbieten und auch weitaus flexibler sind als es die kleineren Zuchtfirmen waren. Weltweit bieten Zuchtfirmen insgesamt 17 weiße und 22 braune Hennen an. Mit ihren 3 weißen und 5 braunen Herkünften versorgt die Firma Lohmann Tierzucht 28% und die Firma Hy-Line mit zwei weißen und zwei braunen Hennen 25% des Weltmarktes.

Theoretisch könnten nationale Zuchtprogramme besser zur Erhaltung der genetischen Diversität in der Hühnerzucht beitragen und auch das Risiko der Krankheitsverbreitung mindern. Der Vorteil bestünde in der geringeren Importabhängigkeit und in einer besseren Anpasstheit der Herkünfte an die lokalen Produktionsbedingungen. Nationale Zuchtprogramme müssten vor internationaler Konkurrenz geschützt werden. Protektionismus führt jedoch zu höheren Konsumentenpreisen und gibt darüber hinaus keine Gewähr für die Erhaltung nützlicher genetischer Diversität.

In der Legehennenzüchtung der Firma Lohmann werden Reinzuchtlinien als geschlossene Populationen seit mehr als 50 Legehennengenerationen eingesetzt. Alle Produktionstiere entstehen durch 4-Linienkreuzungen. Nur Produktionstiere von einem Geschlecht werden verkauft. Produzenten führen keine eigene Reproduktion durch, sondern erwerben jedes Jahr eine neue Generation von Legehennen.

Die Selektionsintensität beträgt circa 10% in den Hauptlinien, und etwa 15% bis 20% in den Experimentallinien. Inzucht könnte ein Problem für die Aufrechterhaltung genetischer Variation in den Reinzuchtlinien darstellen. Obwohl Anpaarungen zur Inzuchtvermeidung geplant und durchgeführt werden, beträgt die Zunahme der Inzucht je Generation circa 0,5% in den Hauptlinien und circa 0,5% bis 1% in den Experimentallinien. Die Heritabilität bei einer Reihe wichtiger Leistungsmerkmale ist ausreichend und zeigt, dass die genetische Variabilität durch die konsequente Durchführung von Anpaarungsplänen zur Vermeidung von Inzucht im Zuchtmaterial bewahrt werden kann. Möglicherweise werden auch die negativen Effekte der langfristigen Inzucht überschätzt wie die praktischen Erfahrungen zeigen. Im Zeitraum von 1980 bis 2010 konnte die Firma Lohmann bei fast allen von acht Leistungsmerkmalen das Leistungsniveau halten oder sogar verbessern.

Dieser Erfolg ist auf einige Vorteile der Legehennenzucht gegenüber anderen Tierarten zurückzuführen. Aufgrund des geringen Platzbedarfs des Huhnes können große Populationen gehandhabt werden. Ferner stehen Hobbyrassen als großer Reservenpool zur Verfügung. Die Nachteile bestehen im kurzen Generationsintervall und der damit verbundenen Inzuchtzunahme innerhalb weniger Jahrzehnte. Ferner können Embryonen nicht konserviert werden, was eine

Erhaltung genetischer Ressourcen als Kryokonserven analog zum Rind derzeit verhindert. Die strikten Hygieneregeln erschweren die Einkreuzung von Tieren aus externen Populationen und damit die Erweiterung der genetischen Variabilität der Zuchtlinien.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass wichtige Faktoren für eine nachhaltige Legehennenzucht die Populationsgröße, die Anpaarungsstrategie und der Aufbau von Reserve-Experimentalpopulationen sind. Am wichtigsten ist jedoch der Profit der Firma, denn dieser bildet die wirtschaftliche Grundlage für weitere Züchtungsfortschritte im Zuchtmaterial einer Firma.

## Rinderzüchtung

Eine wichtige Voraussetzung für mehr Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft ist die Erhaltung der genetischen Variation innerhalb von Nutztierassen. Das Tierschutzgesetz oder die Umweltschutzgesetzgebung setzen die Rahmenbedingungen für die Tierzüchtung, die durch eine ausgewogene Gewichtung der Zuchtziele einen Beitrag zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Produktion leisten kann. Im Zentrum der Rinderzüchtung für eine nachhaltige Landwirtschaft steht somit die Frage, ob genetische Variation innerhalb von Rassen erhalten werden kann. Mit abnehmender effektiver Populationsgröße und zunehmender Inzucht müsste sich die genetische Variation innerhalb von Rassen vermindern und die Inzuchtdepression zunehmen. Im Zeitraum von 1978 bis 2008 stieg der Inzuchtkoeffizient der deutschen Holsteiner von circa 1% auf 4% an. Mit zunehmender Inzucht steigt auch die Inzuchtdepression bei einigen wichtigen Leistungsmerkmalen. Starke Inzucht führt jedoch nicht zwangsläufig zum Verlust jeglicher Leistung und Fitness, d.h. zur Auslöschung einer Rasse, wie sich am Beispiel der hochgradig ingezüchteten Rinderrasse Chillingham zeigt.

Dass Mutationen für den langfristigen Selektionserfolg eine große Rolle spielen, ist durch entsprechende Selektionsexperimente hinreichend nachgewiesen worden. Mutationen jeglicher Art entstehen sowohl in großen wie in kleinen Populationen. Der Unterschied besteht nur darin, dass in kleineren Populationen der weitere genetische Fortschritt schon früher von den Mutationen abhängt.

Es existieren verschiedene Methoden zur Schätzung der effektiven Populationsgröße. Die zensus-basierten Methoden, von der Berechnung von Inzucht je Individuum ausgehende Methoden sowie molekulargenetische Methoden führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Je nach Population müsste deshalb die optimale Methode gewählt werden.

Bei der Rasse Holstein-Friesian gibt es je 714 Basenpaare ein Single Nucleotide Polymorphism (SNP), bei insgesamt 3,3 Mrd. Basenpaaren sind das 4,6 Mio SNP in der Population. Die "effektive Populationsgröße" dieser Rinderrasse ist nach den Ergebnissen der molekularen Methoden nicht klein, auch wenn bisherige Berechnungsmethoden dies vorhergesagt haben.

Der nachgewiesene Züchtungsfortschritt im Zeitraum von 1995 bis 2006 zeigt, dass in der Rasse Holstein-Friesian trotz der relativ kleinen effektiven Populationsgröße von  $N_e = 50-100$  genetische Variabilität vorhanden ist und genutzt wurde. Weitere Züchtungsfortschritte sind durch die Einführung der genomischen Selektion zu erwarten. Durch den Einsatz der genomischen Selektion können geringer verwandte Genotypen ausgelesen und gepaart werden, was den Anstieg der Inzucht pro Generation abschwächt. Ein erstes Beispiel im Sinne einer verbesserten Nachhaltigkeit der Agrarproduktion durch Tierzüchtung ist die Selektion auf verminderten Methangasausstoß. Für dieses Merkmal gibt es Quantitative Trait Loci (QTL) und (z.B. für Methan g/kg Trockensubstanz u. Tag) Hinweise auf mögliche Kandidatengene.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass:

- a. die mit klassischen Methoden gemessenen Inzuchtwerte kritisch zu bewerten sind; Inzuchtdepression ist kaum beobachtbar,
- b. trotz kleiner effektiver Populationsgröße ( $N_e$ ) erhebliche Variation vorhanden ist,
- c. noch genügend Kreuzungspartner zur Verfügung stehen,
- d. die Zuchtziele schon heute erheblich auf Nachhaltigkeit ausgerichtet sind,

- e. dieser Aspekt durch die genomische Selektion an Bedeutung gewinnen wird und
- f. bereits heute eine direkte Selektion auf Ressourcenschonung möglich ist.

Insgesamt werden sich die Ziele der Rinderzüchtung mehr in Richtung Gesundheit und Funktionalität verschieben.

### 3 Bewertung der züchterischen Praxis

In diesem letzten Abschnitt soll eine Bewertung der züchterischen Praxis anhand der drei einleitend genannten Prinzipien vorgenommen werden.

Züchtung ist Teil der Land-, Forst-, und Fischereiwirtschaft und Mittler zwischen den Ausgangsressourcen (realisierbares genetisches Potential) und dem Produkt (realisiertes genetisches Potenzial). Züchtung kann nur soweit nachhaltig sein wie es die landwirtschaftliche Erzeugung selbst ist. Der Umgang mit Ressourcen zeichnet sich vor allem dadurch als nachhaltig aus, dass er unter den jeweiligen Rahmenbedingungen unbegrenzt aufrechterhalten werden kann und zugleich die Entwicklungsfähigkeit der Ressourcen wahrt.

Züchtung kann nicht losgelöst von den Artengruppen und Nutzungssystemen betrachtet werden, da die biologischen Eigenschaften und Nutzungssysteme die wesentlichen Rahmenbedingungen für Züchtung setzen. Die Intensität der gegenwärtigen züchterischen Bearbeitung land-, forst- und fischereiwirtschaftlich genutzter Arten variiert zwischen sehr gering (Binnenseefischerei) bis sehr intensiv (Schwein, Huhn, Rind). Diese Zusammenschau von Arten, Nutzung und Züchtung ermöglicht zum einen eine kritische Beurteilung der Wirkungen von Züchtung auf Ressourcen und zum anderen eine Vorschau auf das Potenzial von Züchtung für die Entwicklung einer überprüfbar nachhaltigen Landwirtschaft.

Zu klären wäre die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen züchterischen Eingriffen in Nutzungssysteme und der Robustheit sowie der Resilienz dieser Systeme besteht. Die Prognosen der Klimaforscher weisen auf eine zunehmende Variabilität der Witterungsbedingungen in Europa hin. Für die Sicherung der Agrarproduktion sind künftig robuste und zugleich resiliente Produktionssysteme erforderlich, die Wetterextremen widerstehen und die zunehmende Variation der saisonalen Produktionsbedingungen kompensieren können. Robustheit definieren Stelling et al. (2004) als die Fähigkeit trotz Störungen die Produktionsleistung aufrecht zu erhalten, während mit dem Begriff Resilienz die Fähigkeit eines Systems beschrieben wird nach Störung in den Ausgangszustand zurückzukehren.

## Fischereiwesen

Am Beispiel des Bodensees konnte gezeigt werden, dass ein fischereiwirtschaftlich genutztes Ökosystem nach erheblicher Störung in den im Wesentlichen unveränderten ursprünglichen Zustand zurückkehrt, nachdem die störenden Faktoren entfernt wurden. In der Darstellung des Übergangs von nicht nachhaltiger Verwendung eines komplexen Nutzungssystems zur nachhaltigen Verwendung und in der dahinter stehenden positiven Botschaft liegt die besondere Bedeutung dieses Beitrags aus dem Fischereiwesen. Möglich wurde die Wiederherstellung des Systems, weil die Ausgangsressourcen nur vorübergehend beeinträchtigt aber nicht ausgelöscht wurden.

Die heutige Nutzung des Systems „Bodensee“ ist extensiv. Die züchterische Eingriffstiefe im Sinne von Züchtung durch Nutzung (selektiver Fang) ist sehr gering. Die Arten werden unter Beachtung der drei Prinzipien für nachhaltigen Umgang mit den Ausgangsressourcen fischereiwirtschaftlich genutzt. Eine wirtschaftliche Nutzung des Bodensees ist nicht das primäre Ziel. Hierin und in der Ortsgebundenheit des Produktionssystems unterscheidet sich die Binnenseefischerei ganz wesentlich von Produktionssystemen landlebender Nutztiere.

Das Spektrum von Fischarten im Bodensee scheint äußerst stabil gegenüber Umweltbelastungen und Invasion fremder Arten zu sein. Das Artenspektrum scheint sich über Jahrhunderte nur in den Abundanzen geändert zu haben. Hierin muss also eine besondere Anpassungskapazität und Stabilität der Artengemeinschaft liegen. Angesichts der vor allem durch den Menschen bedingten umfangreichen Verfrachtung von Arten über große Distanzen und des damit verbundenen hohen Immigrationsdrucks auf Artengemeinschaften empfiehlt sich die Situation des Bodensees für intensive Stabilitätsstudien. Im Rahmen der Züchtung wäre dies von besonderer Bedeutung, wenn der Bodensee als wertvolle genetische Ressource einzustufen wäre. Es würde sich hier dann um eine selbstregenerative Ressource handeln, die gegenüber Arteninvasion und möglicherweise auch gegenüber genetischen Modifikationen stabil ist.

In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass die Freisetzung genetisch modifizierter Fische in natürliche Gewässer nach den Fischereigesetzen der Länder grundsätzlich verboten ist. Das Verbot betrifft auch Arthybriden wie beispielsweise den robusten und schnellwüchsigen, in der Aquakultur verwendeten sogenannten „Elsässer Saibling“. Das Aussetzen dieses Kreuzungsproduktes aus Seesaibling (*Salvelinus alpinus*) und Bachsaibling (*Salvelinus fontinalis*) in natürliche Gewässer ist zum Schutz autochthoner Saiblingspopulationen verboten.

Die Teichwirtschaft bildet einen Übergang von der Züchtung durch Nutzung zur Züchtung für Nutzung. Die Intensität der züchterischen Bearbeitung von Arten, die in der Teichwirtschaft und in technischen Haltungssystemen genutzt werden, ist noch gering. Das Produktionssystem ist wie bei landlebenden Nutztieren transportierbar und damit den Bedingungen internationaler Märkte unterworfen. Die Teichwirtschaft mit ihren Ausgangsressourcen würde deshalb ohne eine ökonomische Wertschöpfung in Deutschland nicht fortexistieren. Die genetische Variation zwischen Populationen des Karpfens ist vermutlich hoch, weil noch viele Familienbetriebe Karpfenproduktion betreiben. Langfristig könnte die Betriebszahl abnehmen. Inwieweit tierseuchenrechtliche Vorgaben der EU die ökonomischen Rahmenbedingungen verschlechtern und zu einer Aufgabe bzw. Konzentration von Fischzuchtbetrieben führen, wäre eine zu klärende Frage.

Fischpopulationen in Familienbetrieben entsprechen den Landsorten im Pflanzenbau und den Rassen in der Tierproduktion, die im Zuge der wirtschaftlichen

Entwicklung im Verlauf der letzten 150 Jahre fast vollständig aus der landwirtschaftlichen Produktion verdrängt wurden. Heute bemüht sich die EU im Rahmen von Fördermaßnahmen um eine Wiedereinführung von Landsorten und um die Erhaltung von kleinen Rassen. Wenn ein Ziel der EU-Agrarpolitik die Erhaltung genetischer Diversität in den Produktionssystemen ist, wäre es dann nicht konsequent, bei Fischen den skizzierten Konzentrationsprozess von vornherein zu verhindern?

## Forstwesen

Die forstliche Produktion beruht mit wenigen Ausnahmen im Wesentlichen auf Züchtung durch Nutzung. Die meisten Bestände werden natürlich verjüngt, d.h. die nach forstlichen Eingriffen (Selektion) übriggebliebenen Bäume bilden die Elterngeneration des zu verjüngenden Bestandes. Die Selektion beruht dabei auf qualitativen (gerade, wipfelschäftig) und quantitativen (Durchmesser, Baumhöhe) Merkmalen sowie auf Vitalität. Da die wirtschaftliche Nutzung und die ökosystemaren Funktionen gleichwertige Ziele des Waldbaus sind, haben die beteiligten Einrichtungen inzwischen eine bundesweite Züchtungsstrategie abgestimmt, die die langfristige Erhaltung der Anpassungsfähigkeit als ein gleichrangiges Zuchtziel beinhaltet (Liesebach *et al.*, 2012) und die in einem ersten Projekt bereits umgesetzt wird (Meissner *et al.*, 2015).

In Deutschland wird forstliches Vermehrungsgut, das Ergebnis intensiverer Züchtung ist (geprüftes Vermehrungsgut 2 %, qualifiziertes Vermehrungsgut 13 %), bisher nur in geringem Umfang für Kunstverjüngung verwendet. Das qualifizierte Vermehrungsgut wird in Samenplantagen erzeugt. Eine genetische Einengung dieses Materials konnte bisher nur in Ausnahmen nachgewiesen werden. Die meisten Samenplantagen sind zudem nicht reproduktiv isoliert. Teilweise liegt der Anteil von effektivem Fremdpollen bei über 50 %.

Pro Jahr werden weniger als 0,5 % der Waldfläche künstlich verjüngt und der Großteil des hierfür verwendeten Vermehrungsgutes (80 %) ist „ausgewähltes Vermehrungsgut“. Dafür wurden lediglich die Saatgutbestände im Wald phäno-

typisch ausgewählt. Die Gefahr, dass durch Züchtung die genetischen Ausgangsressourcen verändert werden, ist daher gegenwärtig sehr gering.

Die Nachfrage nach Holz für die stoffliche und energetische Verwendung ist in den letzten beiden Jahrzehnten stark gestiegen. Daraus ergeben sich hohe Erwartungen und Anforderungen an die Forstpflanzenzüchtung. Hierfür werden die forstlichen Züchtungsinstitute gemeinsame, langfristige Forschungsstrategien erstellen, die neben der Ertragssteigerung die Anpassungsfähigkeit und genetische Vielfalt der bearbeiteten Baumarten explizit als Züchtungsziele berücksichtigen. Für die meisten Baumarten wird hierfür die Produktion von Saatgut in Samenplantagen zunehmen. Intensive Auslesezüchtung und Züchtung mit gelenkten Kreuzungen wird es hingegen auch zukünftig nur bei schnellwachsenden Baumarten (Pappeln und Weiden) geben. Das Vermehrungsgut ist primär für die Verwendung in Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen vorgesehen.

Der *In-situ*-Schutz genetischer Ressourcen bei Waldbäumen muss sich vor allem mit umfangreichem Genfluss auseinandersetzen. Bei den Hauptbaumarten mit ihren großen Populationsumfängen entstehen in diesem Zusammenhang keine schwerwiegenden Probleme, da Genfluss weitgehend zwischen naturverjüngten Beständen stattfindet (evtl. mit Ausnahme der Fichte). Damit ist die Gefahr des Verlustes genetischer Variation durch Drift oder durch Introgression von züchterisch eingengter genetischer Information gering. Beide Bedingungen sind jedoch beispielsweise nicht für Wildobstarten erfüllt. Da diese Arten schon seit langer Zeit kultiviert werden, ist inzwischen sogar eine eindeutige Klassifikation des Wildtyps über phänotypische Merkmale kaum noch möglich. Hier erhebt sich insbesondere die Frage, ob eine solche Klassifikation überhaupt noch zielführend sein kann, oder ob andere, mehr an den Anpassungskapazitäten orientierte Kriterien die Ausweisung und den Schutz genetischer Ressourcen bestimmen sollten. Die Frage stellt sich in analoger Weise für landwirtschaftliche Kulturarten.

## Pflanzenbau

Bei den landwirtschaftlichen Kulturen konzentriert sich die Züchtung zunehmend auf wenige Fruchtarten mit großen Anbauflächen. Dies schränkt die Verfügbarkeit eines ausreichend diversen „crop portfolio“ ein. Gefördert werden sollte daher die Züchtung von angepassten, zurzeit aber nur begrenzt angebauten Arten. Bei Arten mit intensiven Züchtungsaktivitäten wie Winterweizen und Wintergerste oder Roggen wird dagegen in der Züchtung eine hohe Diversität erhalten und genutzt.

Im Pflanzenbau werden im Vergleich zur Fischereiwirtschaft, Forstwirtschaft und vor allem zur Viehwirtschaft sehr viele Arten genutzt. Die Intensität züchterischer Bearbeitung einer Kulturpflanzenart hängt von ihrer nationalen und weltwirtschaftlichen Bedeutung ab. Marktfrüchte wie Weizen oder Gerste werden seit Jahrzehnten konstant und intensiv in zahlreichen Ländern gezüchtet und/oder vermarktet. Die Bedeutung von Nischenarten dagegen ändert sich in Abhängigkeit von agrarpolitischen Entscheidungen (u.a. Fördermaßnahmen). So fördert die deutsche Agrarpolitik circa 30 Jahre nach Abschluss von Fördermaßnahmen in den 1980er Jahren aktuell Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich der Leguminosen. Unter solchen Bedingungen kann eine nachhaltige Züchtung nicht gelingen, denn die Pflege von Ausgangspopulationen erfordert Kontinuität in der Züchtung.

Je geringer das wirtschaftliche Interesse an einer Kulturpflanzenart ist, desto weniger kann in die Erhaltung der züchterischen Ausgangsressourcen investiert werden. Die Übereinstimmung der praktischen Pflanzenzüchtung mit den drei Prinzipien scheint somit von der Intensität züchterischer Bearbeitung abzuhängen.

Die Erhaltung genetischer Vielfalt in Zuchtsortimenten ist Voraussetzung für den Züchtungsfortschritt und den langfristigen wirtschaftlichen Erfolg von Pflanzenzüchtungsunternehmen. Untersuchungen von Ordon *et al.* (2005) und Malysheva-Otto *et al.* (2007) zeigen am Beispiel der Gerste, dass die gängige Züchtungspraxis im Verlauf von Jahrzehnten zu Gewinnen und Verlusten genetischer Vielfalt führt. Im Gegensatz zur Tierzüchtung ist Pflanzenzüchtung aufgrund der schwierig zu kontrollierenden Produktionsbedingungen (z.B.

Änderungen im Pathotypenspektrum eines Krankheitserregers) auf den Zufluss von Genen und Allelen aus Wildpflanzenarten angewiesen. Die Erhaltung dieser Wildarten als selbstregenerierende Populationen von hoher Anpassungsfähigkeit ist deshalb eine unabdingbare Voraussetzung für eine nachhaltige Pflanzenzüchtung. Diese Ressourcen sind keineswegs ausreichend gesichert. Nach Bilz *et al.* (2011) gelten 11,5 % von 572 bewerteten WVK-Arten als gefährdet. Maßnahmen zur *In-situ*-Erhaltung von WVK werden bislang nur diskutiert. Nur 9% aller im European PGR Search Catalogue (EURISCO) dokumentierten Akzessionen sind der Kategorie „Wildarten“ zugeordnet (Dias *et al.*, 2012). Eine systematische *In-situ*- und *Ex-situ*-Erhaltung von WVK-Arten existiert somit in Europa nicht (Kell *et al.*, 2012).

## Tierproduktion

Im Vergleich zum Pflanzenbau konzentriert sich die Nutztierzüchtung auf wenige domestizierte Arten. Eine Anpassung der Viehwirtschaft an geänderte Produktionsbedingungen ist nur durch diese wenigen Arten zu leisten, da keine Alternativen bestehen. Solange die Produktionsbedingungen kontrollierbar sind ist die Tierhaltung ortsungebunden und es bedarf keiner besonderen Anpassung der verwendeten Rassen an eine Vielzahl von Umwelten.

Züchtung durch Nutzung (beispielsweise Regionalprodukte aus Landrassen) ist aus ökonomischer Sicht eine Randerscheinung. Züchtung für Nutzung spielt eine überragende Rolle. Die ökonomischen Rahmenbedingungen der Viehwirtschaft bestimmen jede züchterische Entscheidung. Die Nutzung des gesamten Genpools ist teilweise noch möglich; sie wird jedoch nicht mehr realisiert.

Tier- und Pflanzenzüchtung unterscheiden sich charakteristisch im Ausmaß der angestrebten bzw. möglichen Kontrolle der Umweltbedingungen. In der Tierzüchtung sind die Möglichkeiten der Umweltkontrolle erheblich höher, weil die Mobilität des Organismus eine zumindest vorübergehende Stallhaltung, extrem in der Geflügelzucht und in der Fischzucht bei Containerhaltung möglich macht. Zu bedenken ist, dass mit zunehmender Ausrichtung des Züchtungsziels

auf kontrollierte Umweltbedingungen die Gefährdung bei Kontrollverlust (z.B. durch Krankheitsepidemien) steigt. Da die Züchtung für stark kontrollierte Bedingungen meist mit hoher genetischer Spezialisierung und somit Einengung einhergeht, erhöht sich die Gefährdung bei Kontrollverlust umso mehr. Aus diesem Grunde besitzt die Erhaltung variabler genetischer Ressourcen in diesem Fall eine besonders hohe Bedeutung. Hierin liegt wahrscheinlich eine der größten Herausforderungen der Tierzucht.

Dem nationalen Fachprogramm für tiergenetische Ressourcen zufolge ist langfristig die Lebenderhaltung einer Nutztierpopulation als genetische Ressource nicht mehr erfolversprechend, falls deren effektive Populationsgröße bereits auf  $N_e = 50$  abgefallen ist. Diese Feststellung steht im Widerspruch zu anderen Aussagen.  $N_e$  beschreibt einen dynamischen Prozess, wie von einer Generation zur nächsten bei gegebener Größe der Rasse und dem verwendeten Paarungssystem die Inzucht zunimmt bzw. wie stark die zufälligen Änderungen der Allelfrequenzen sind (und indirekt der Allelverlust). Unterscheidet sich eine kleine Rasse noch hinreichend von anderen Rassen, so kann durch eine maßvolle Vergrößerung und einem geeigneten Paarungssystem die noch vorhandene genetische Ressource durchaus erhalten werden.

Der besonders in der Tierzucht häufig wiederholte Hinweis auf andauernde Züchtungsfortschritte trotz des Fehlens selbstregenerativer genetischer Ressourcen und vergleichsweise kleiner effektiver Populationsgrößen bedarf einer eingehenderen Analyse. Es ist zu vermuten, dass die erforderliche genetische Variation auf rezente Mutationen zurückzuführen ist (siehe die obigen Ausführungen hierzu). Hierbei muss der Mutationsmechanismus garantieren, dass eine ausreichende Rate nicht nachteiliger bzw. unschädlicher Varianten erreicht wird. Eine „nachhaltige“ effektive Populationsgröße müsste sich in diesem Falle aus einem Mutations-Drift Gleichgewicht bestimmen, welches sich auf die Rate unschädlicher Mutanten stützt.

Heterosis für Leistungsmerkmale hat einen hohen Stellenwert in der Züchtung. Heterosis kann auf zwei verschiedenen Ebenen entstehen. Einerseits könnte Heterozygotie an denjenigen Genloci entscheidend sein, die an der Kontrolle der Leistungsmerkmale unmittelbar beteiligt sind. Diese Hypothese wäre leicht zu prüfen, wenn die betroffenen Genloci identifizierbar sind. Eine zweite Hypothese könnte sich auf die verbreitete Vorstellung stützen, dass Heterozygotie vor allem für die Stabilisierung wichtiger metabolischer Funktionen unter variablen

Umweltbedingungen vorteilhaft ist. Dies schließt auch die durch Duplikationen ermöglichte „fixierte Heterozygotie“ ein. Auf Basis einer derartigen physiologischen Pufferung wäre eine Optimierung von Leistungsmerkmalen auch durch gerichtete Selektion und damit für Homozygotie an den die Leistungsmerkmale kontrollierenden Genloci erreichbar. Diese Hypothese für die Entstehung von Heterosis ist möglicherweise noch nicht ausreichend experimentell geprüft. Bei Zutreffen der Hypothese würde die Plastizität von anpassungsrelevanten Merkmalen für die Heterosiszüchtung erhöhte Bedeutung gewinnen. Dies träfe insbesondere auf Situationen zu, in welchen eine nur begrenzte Kontrolle von Umweltbedingungen möglich ist. Damit stellt sich die Frage, welchen Stellenwert die Heterosiszüchtung in einer auf Umweltkontrolle ausgerichteten Tierzucht hat. Kann man allgemein einen größeren Erfolg der Heterosiszüchtung bei geringeren Möglichkeiten der Umweltkontrolle feststellen? Ist mit Ertragsstabilität die Unveränderlichkeit des Ertrags eines Individuums gegenüber zeitlichen Umweltschwankungen oder die Gleichheit des Ertrags bei räumlich heterogenen Umweltbedingungen gemeint? Die beiden Situationen sind eng mit den beiden genannten Heterosishypothesen verbunden.

## 4 Schlussfolgerungen und Fazit

Um nachhaltig zu sein,

1. dürfen Züchtung und ihre Folgeprodukte die genetischen Ausgangsressourcen nicht beeinträchtigen (erstes Prinzip),
2. müssen genetische Ausgangsressourcen sich selbst regenerierende Populationen mit hohen Anpassungskapazitäten sein (zweites Prinzip) und
3. dürfen von Züchtung und ihren Folgeprodukten keine nachteiligen Wirkungen auf andere Ressourcen ausgehen (drittes Prinzip).

Im **Fischereiwesen** spielt Züchtung gegenwärtig eine geringere Rolle. Die züchterische Praxis berücksichtigt im Wesentlichen die drei Prinzipien. Sie kann daher als überwiegend nachhaltig bewertet werden.

Die Beachtung der drei Prinzipien wurde in der Nachhaltigkeitsstrategie der **Forstwirtschaft** festgeschrieben. Die forstliche Züchtung ist überwiegend nachhaltig. Stark gestiegene Preise für Holzrohstoffe fördern gegenwärtig das Interesse an der Forstpflanzenzüchtung. Die Züchtungsstrategie „Züchtung für Nutzung“ könnte in den kommenden Jahren zu Lasten der Strategie „Züchtung durch Nutzung“ an Raum gewinnen und eine Neubewertung erforderlich machen. In Verbindung mit sich stark ändernden Umweltbedingungen wird sich diese Situation insbesondere auf die Bewertung der Nachhaltigkeit von Eingriffen in Waldökosysteme im Rahmen einer Züchtung durch Nutzung auswirken. Hiervon ist nicht zuletzt die zeitliche und räumliche Verteilung der Eingriffe (Bestimmung von Nachhaltseinheiten) betroffen. So findet gegenwärtig ein durch ökonomische Anreize und veränderte Prioritäten in der Energieerzeugung getriebener Abbau von Holzvorräten (vornehmlich im Staats- und Gemeindewald) statt, dessen Geschwindigkeit und Umfang konkreten Anlass zu Bedenken gibt. Die derart veränderte Situation wirft ebenfalls die Frage nach der Notwendigkeit einer Rekalibrierung bzw. Restrukturierung der Prognosemodelle des Waldwachstums auf.

Eine Bewertung der gängigen pflanzenzüchterischen Praxis ist aufgrund der großen Anzahl von **Nutz- und Kulturpflanzen** schwierig und müsste für jede Kulturpflanzenart gesondert vorgenommen werden. Das erste Prinzip wird bei den Hauptfruchtarten wegen des Eigeninteresses des entsprechenden Wirtschafts-Wissenschaft-Komplexes an einer funktionierenden Züchtung vermutlich nicht verletzt. Die Wahrscheinlichkeit einer fortdauernden Beeinträchtigung oder des Verlustes genetischer Ausgangsressourcen ist indes bei wirtschaftlich unbedeutenden Arten höher als bei den Hauptkulturarten. Die Wirkungen von Folgeprodukten der Züchtung (beispielsweise besonders erfolgreiche Sorten) auf andere Ressourcen sind komplexer Natur, mithin ist das Maß der Übereinstimmung der heutigen züchterischen Praxis mit dem dritten Prinzip schwer abschätzbar. Der Trend zu immer weniger Kulturarten und immer weniger Sorten im Anbau ist klar erkennbar und könnte sich verstärken, falls die in der Nutztierzüchtung entwickelten Methoden der genomischen Selektion

vermehrt in der Pflanzenzüchtung eingesetzt werden, um die Konkurrenzkraft der Hauptkulturarten weiter zu stärken.

Ebenso wie bei den Hauptfruchtarten besteht in der **Tierzucht** ein starkes Eigeninteresse des Wirtschafts-Wissenschaft-Komplexes an einer funktionierenden Züchtung. Zwingende Voraussetzung hierfür ist die Wahrung des ersten Prinzips und bezüglich des Zuchtmaterials in den Unternehmen, die Wahrung des zweiten Prinzips. Die Tierzüchtung besitzt im Gegensatz zu den anderen Produktionszweigen ein auffallend geringes Interesse an den verwandten Wildarten als genetische Ressource und bezieht (im Gegensatz zur Wertschätzung von Landsorten in der Pflanzenzüchtung) keine klare Position hinsichtlich des züchterischen Nutzens von Landrassen. Die Gründe hierfür sind rein wirtschaftlicher Natur und nachvollziehbar. Das geringere Interesse hat indes zur Folge, dass die Tierzüchtung im Vergleich zu den drei anderen Organismengruppen ein geringeres Interesse an der Erhaltung nicht wirtschaftlich nutzbarer selbstregenerierender Ausgangspopulationen besitzt. Die Einhaltung des zweiten Prinzips ist somit partiell.

Im Gegensatz zum Fischereiwesen, Forstwesen und Pflanzenbau findet die Tierproduktion unter sehr stark kontrollierten Umweltbedingungen und zudem regional konzentriert statt. Die Züchtung bemüht sich um eine bessere Einhaltung des dritten Prinzips.

In der Tierzüchtung haben die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (zu) großen Einfluss und schränken den Handlungsspielraum hinsichtlich der Gestaltung einer nachhaltigen Züchtung ein. Wichtig ist die Klärung der Frage, wie genetische Diversität gemessen werden soll und ob aus den Messdaten die richtigen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Weiterhin stellt sich die Frage nach der Bilanzierung von genetischer Vielfalt über längere Zeiträume und dem Zeithorizont für nachhaltiges Handeln, auch in der (Forschungs-) Politik.

Das vorliegende Papier konnte auf diese Fragen Antwort geben:

- Was ist nachhaltige Züchtung?
- Verfolgen wir nachhaltige Züchtungsziele?

- Welches sind die Voraussetzungen für nachhaltige Züchtung und können wir sie realisieren?
- Welche Grenzen setzt nachhaltige Züchtung den Lebensstilen und demographischen Entwicklungen?

Züchtung besitzt eine zentrale Funktion im Hinblick auf die Entwicklung einer insgesamt nachhaltigen Landwirtschaft. Züchtung ist als Gestaltungspotenzial zu verstehen. Sie formt jene Genotypen und Populationen von Pflanzen und Tieren, die durch nachgelagerte Disziplinen genutzt werden. Züchtung gestaltet indes genetische Ausgangsressourcen in erster Linie nach den Vorgaben der Wirtschaft, die ihre gesetzlichen Rahmenbedingungen ausschöpft. Die züchterischen Aspekte wurden in diesem Beitrag behandelt. Die Wechselwirkungen zwischen Züchtung und wirtschaftlichen und politischen Faktoren, die züchterische Entscheidungen beeinflussen, sollten Gegenstand weiterer Diskussionen zur Gestaltung nachhaltiger Produktionssysteme in der Agrarwirtschaft sein.

## 5 Literaturhinweise

ALPMANN, L., 2010:

Nachhaltige Produktion von Winterraps. Lösungsansätze zu einer kostenbewussten und Ressourcen schonenden Rapsproduktion. *Innovation 2*, 13-15

BILZ, M., KELL, S., MAXTED, N. & LANSDOWN, R. V., 2011:

European Red List of Vascular Plants. – Pub. Office of the European Union, Luxembourg

BMELV (Hrsg.), 2011:

Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldbewirtschaftung - eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 36 S.

- BMELV (Hrsg.), 2012:  
Charta für Landwirtschaft und Verbraucher. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Internet, 11055 Berlin, 67 S.
- BMU (Hrsg.), 2007:  
Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt vom Bundeskabinett am 7. November 2007 beschlossen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Berlin, 178 S.
- BRÄMICK, U., 2014:  
Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2014. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow
- DIAS, S., DULLOO, M. E. & ARNAUD, E., 2012:  
The role of EURISCO in promoting use of agricultural biodiversity. In: Maxted, N. *et al.* (eds.)–Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces. CAB International, Wallingford, 270–277
- EC, 2013: TOPIC :  
Management and sustainable use of genetic resources. <https://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/776-sfs-07b-2015.html>
- EP [European Parliament], 2015:  
Overview of the agricultural inputs sector in the EU. Wesseler, J., Bonanno, A., Drabik, D., Matera, V.C., Malaguti, L., Meyer, M. and Venus, T.J., Study of the Wageningen University, published by Direktorat General for internal policies, Agriculture and rural department, p. 21
- FAO, 2015:  
Second Meeting of the ad hoc Technical Committee on Sustainable Use of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, 2-3 March 2015, Rome, Italy. IT/ACSU-2/15/Report
- GEIGER, H.H., 2007:  
Strategies of hybrid rye breeding. Vorträge für Pflanzenzüchtung. In proceedings International Symposium on rye breed. and gen. EUCARPIA, 28-30 June 2006, Groß Lüsewitz, Deutschland, Vol. 71, 1-5

GREGORIUS, H.-R., KISSLING-NÄF, I., OTT, K., 2007:  
 Biodiversität als Lebensgrundlage - Grundprinzipien zu Schutz und Nutzung.  
 In: Potthast, T. (Bearb.): Biodiversität - Schlüsselbegriff des Naturschutzes im 21.  
 Jahrhundert? Schriftenreihe „Naturschutz und Biologische Vielfalt“ des Bundes-  
 amts für Naturschutz, Band 48, S. 185-222

GROBER, U., 2010:  
 Die Entdeckung der Nachhaltigkeit - Kulturgeschichte eines Begriffs, München  
 2010, ISBN 978-3-88897-648-3

HALWART, M., D. BARTLEY, 2007:  
 Aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. In: Managing biodiversity in ag-  
 ricultural ecosystems. (Eds.: JARVIS, D.I, PADOCH, C., H.D. COOPER), Published  
 by Bioversity International, New York, Columbia University Press, 181-199

HAWKSWORTH, D.L., M.T. KALIN-ARROYO, 1995:  
 Magnitude and distribution of biodiversity. In: Global biodiversity assessment.  
 (Eds.: Heywood, V.H., R.T. Watson), Cambridge New York. Cambridge University  
 Press, 107-193

KELL, S.P., MAXTED, N., FRESE, L., J. M. IRIONDO, 2012:  
 In situ conservation of crop wild relatives: a strategy for identifying priority  
 genetic reserve sites. In: Maxted, N. *et al.* (eds.)-Agrobiodiversity Conservation:  
 Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces. CAB International,  
 Wallingford, 7-19

KLEINSCHMIT, W., 2002:  
 Herkunftsfrage aus Sicht der Betriebswirtschaft. In: Nordwestdeutscher Forst-  
 verein (Hrsg.): Jahrestagung 2002 in Hann. Münden, 28-33

KLEINSCHMIT, J.R.G., 2005:  
 Aspekte nachhaltiger Züchtung Methodenkritik, -entwicklung und -anwen-  
 dung. Forstwissenschaftliche Dissertation, Universität Göttingen. Niedersäch-  
 sische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, 2005. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2005/kleinschmit>

LIESEBACH, M., DEGEN, B., GROTEHUSMANN, H., JANSSEN, A., KONNERT, M., RAU, H.-M., SCHIRMER, R., SCHNECK, D., SCHNECK, V., STEINER, W., WOLF, H., 2013: Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 7, 78 S. [http://www.ti.bund.de/fileadmin/dam\\_uploads/vTI/Publikationen/Thuenen%20Report/Thuenen\\_Report\\_7\\_Zuechtungsstrat\\_TWP\\_Internet.pdf](http://www.ti.bund.de/fileadmin/dam_uploads/vTI/Publikationen/Thuenen%20Report/Thuenen_Report_7_Zuechtungsstrat_TWP_Internet.pdf) (12.12.2014 -09:38 Uhr)

LINCK, G., SPRICH, H., FLAIG, H., H. MOHR (Hrsg.), 1997: Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft: Voraussetzungen, Möglichkeiten, Maßnahmen. Berlin, Springer-Verlag, 351 S.

MALYSHEVA-OTTO, L., GANAL, M.W., LAW, J.R., REEVES, J.C., M.S. RÖDER, 2007: Temporal trends of genetic diversity in European barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.). *Mol Breeding* 20, 309–322. DOI 10.1007/s11032-007-9093-y

MELCHIOR, G. H., BECKER, A., BEHM, A., DOERFLINGER, H., FRANKE, A., KLEIN-SCHMIT, J., MUHS, H.-J., SCHMITT, H.-P., STEPHAN, B.-R., TABEL, U., WEISGERBER, H., WIDMAIER, T., 1989:

Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. *Forst und Holz* 44, S. 379-404

MEISSNER, M., JANSSEN, A., KONNERT, M., LIESEBACH, M., WOLF, H., 2015: Vermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald. *AFZ/Der Wald* 70, 24-26

ORDON, F., AHLEMEYER, J., WERNER, K., KÖHLER, W., W. FRIEDT, 2005: Molecular assessment of genetic diversity in winter barley and its use in breeding. *Euphytica* 146, 21–28. DOI: 10.1007/s10681-005-5192-1 C

PAUL, M.; T. HINRICH; A. JANSSEN; H.-P. SCHMITT; B. SOPPA; B. R. STEPHAN; H. DÖRFLINGER unter Mitarbeit von W. ARENHÖVEL; A. FRANKE; R. KÄTZEL; J. KLEIN-SCHMIT; H.-J. MUHS; E. NATZKE; W. RUETZ; W. SCHILLING; U. TABEL, 2010: Konzept zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. Aktualisierter Nachdruck, BMELV, Bonn, 84 Seiten

PIORR, H.-P., K. LEHMANN, 2004:

Vielfalt im Wandel der Zeit - Historischer Überblick und Status Quo. In: Schriften zu Genetischen Ressourcen, Schriftenreihe der Zentralstelle für Agrardokumentation und -information. Informationszentrum Biologische Vielfalt (IBV), BAND 23, Produktvielfalt durch Ressourcenvielfalt, - Potenziale genetischer Ressourcen - Tagungsband eines Symposiums vom 24.-25. September 2003 im Gustav-Stresemann-Institut in Bonn (Hrsg.: BEGEMANN, F., S. SCHRÖDER). Warlich Druck Ahrweiler GmbH, Bad Neuenahr-Ahrweiler

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F.S., LAMBIN, E.F., LENTON, T.M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHELLNHUBER, H.J., NYKVIST, B., de WIT, C.A., HUGHES, T., VAN DER LEEUW, S., RODHE, H., SÖRLIN, S., SNYDER, P.K., COSTANZA, R., SVEDIN, U., FALKENMARK, M., KARLBERG, L., CORELL, R.W., FABRY, V.J., HANSEN, J., WALKER, B., LIVERMAN, D., RICHARDSON, K., CRUTZEN, P., J.A. FOLEY, 2009: A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475

RÖBBELEN, G., 2008:

Nachwort in GFP (Hrsg.) 100 Jahre GFP, Pflanzen für die Zukunft. Bonn

SCHNELL, F.W., 1980:

Aspekte der genetischen Diversität im Problembereich der Pflanzenzüchtung. Göttinger Pflanzenzüchter-Seminar 4, 5-15

Statistisches Bundesamt, 2015:

Feldfrüchte und Grünland. Ackerland nach Hauptfruchtgruppen und Fruchtarten. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Land-ForstwirtschaftFischerei/FeldfruechteGruenland/Tabellen/AckerlandHauptfruchtgruppenFruchtarten.html>

STELLING, J., UWE SAUER, ZOLTAN SZALLASI, FRANCIS J. DOYLE, III, and JOHN DOYLE, 2004:

Robustness of Cellular Functions *Cell*, 118, 675–685

TREMMELE, J., 2003:

Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie. Der deutsche Diskurs um nachhaltige Entwicklung im Spiegel der Interessen der Akteure., München: Ökom-Verlag, ISBN 3-936581-14-2

WBGU, 2000:

Welt im Wandel: Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Jahresgutachten 1999. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

## Danksagung

Die Autoren danken Frau Johanna Wider vom Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt für die Unterstützung.

## 6 Schriftenreihe „Agrobiodiversität“

- Band 37      Genetische Ressourcen in der Schweinezucht**  
Tagungsband eines Symposiums am 20. November 2014 in Berlin  
Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2016 (kostenlos)
- Band 36      National Report on the Conservation and Sustainable Use of Forest Genetic Resources in the Federal Republic of Germany**  
Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2012 (kostenlos)
- Band 35      Nationaler Bericht über die Erhaltung und nachhaltige Nutzung von forstgenetischen Ressourcen in der Bundesrepublik Deutschland**  
Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2012 (kostenlos)

- Band 34**     **Agrobiodiversität im Grünland nutzen und schützen**  
Tagungsband eines Symposiums am 12. und 13. November 2013  
in Berlin  
Hrsg.: S. Schröder und J. Wider, 16,- €
- Band 33**     **Pflanzensammlungen im Fokus der Öffentlichkeit**  
Tagungsband eines Symposiums am 11. und 12. November 2012  
in Veitshöchheim  
Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
(kostenlos)
- Band 32**     **Agrobiodiversität in Deutschland –  
Rückblick, aktueller Stand und Ausblick**  
Tagungsband eines Symposiums am 10. und 11. Oktober 2011  
in Bonn  
Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und  
Verbraucherschutz, 2012 (kostenlos)
- Band 31**     **Neue Wege zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der  
Agrobiodiversität – Effektivität und Perspektiven von  
Fördermaßnahmen im Agrarbereich**  
Tagungsband eines Symposiums am 09. und 25. November 2010  
in Bonn  
Hrsg.: F. Begemann, S. Schröder, D. Kießling, C. Neßhöver,  
V. Wolters, 2011, 15,- €
- Band 30**     **Erhaltung und nachhaltige Nutzung genetischer Ressourcen  
von Zierpflanzen – Schritte zum weiteren Ausbau der Deutschen  
Genbank Zierpflanzen**  
Tagungsband eines Symposiums am 24. und 25. November 2009  
in Bonn  
Hrsg.: F. Begemann, S. Harrer, S. Schröder, M. Ziegler, 2010, 8,- €

- Band 29**      **Pflanzengenetische Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft in Deutschland - Zweiter Nationaler Bericht**  
Hrsg.: BLE, BMELV, 2008, (kostenlos)
- Band 28**      **Plant Genetic Resources for Food and Agriculture in Germany  
Second German National Report**  
Hrsg.: BLE, BMELV, 2008, (kostenlos)
- Band 27**      **Monitoring und Indikatoren der Agrobiodiversität**  
Tagungsband eines Symposiums am 7. und 8. November 2006  
in Königswinter  
Hrsg.: F. Begemann, S. Schröder, K.-O. Wenkel, H.-J. Weigel, 2007,  
18,- €
- Band 26**      **European dictionary of domesticated and utilised animals**  
A first prototype developed within the European Network for  
Biodiversity Information  
Hrsg.: T. Gladis, U. Monnerjahn, D. Jiménez-Krause, J. Bremond,  
S. Schröder und F. Begemann, 2006, 10,- €

## **Vorläuferschriftenreihe „Schriften zu Genetischen Ressourcen“**

- Band 25**      **Vermarktungsstrategien für innovative Produkte und  
Verfahren auf der Basis genetischer Ressourcen für Ernährung  
und Landwirtschaft**  
Ergebnisbericht über ein Fachgespräch am 08.06.2004 in Bonn  
Hrsg.: J. Efken, 2005, 8,- €

- Band 24**     **Analyse und Bewertung der genetischen Vielfalt in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft zur Ableitung von Entscheidungskriterien für Erhaltungsmaßnahmen**  
Tagungsband eines Symposiums am 27. September 2004  
Hrsg.: F. Begemann, S. Schröder und S. Weigend, 2005, 9,- €
- Band 23**     **Produktvielfalt durch Ressourcenvielfalt – Potenziale genetischer Ressourcen**  
Tagungsband eines Symposiums vom 24.-25. September 2003  
Hrsg.: F. Begemann und S. Schröder, 2004, 9,- €
- Band 22**     **Rudolf Mansfeld and Plant Genetic Resources**  
Tagungsband eines Symposiums vom 8.-9. Oktober 2001  
Hrsg.: H. Knüpfper und J. Ochsmann, 2003, 12,- €
- Band 21**     **Standortspezifische Sortenentwicklung -eine Studie mit Landsorten der Linse**  
Bernd Horneburg, 2003, Dissertation, 9,- €
- Band 20**     **Biologische Vielfalt für Ernährung, Land- und Forstwirtschaft**  
Tagungsband eines Symposiums am 19. September 2002  
Hrsg.: F. Begemann, 9,- €
- Band 19**     **Biodiversität der Gattung *Ocimum L.*, insbesondere der Kultursippen**  
Sabine Eckelmann, 2003, Dissertation, 10,- €
- Band 18**     **Wildpflanzen als Genetische Ressourcen**  
Julia Forwick-Kreuzer, 2003, Dissertation, 24, €
- Band 17**     **Vielfalt auf den Markt**  
Tagungsband eines Symposiums vom 5.-6. November 2001  
Hrsg.: F. Begemann und Landesschafzuchtverband Niedersachsen e.V., 9,- €

- Band 16**      **Nutzung genetischer Ressourcen - ökologischer Wert der Biodiversität**  
Hrsg.: K. Hammer und Th. Gladis, 2001, 8,18 €
- Band 15**      **Erhaltung und nachhaltige Nutzung genetischer Ressourcen der Zierpflanzen**  
Tagungsband eines Symposiums vom 27.-28. September 2000  
Hrsg.: F. Begemann und P. Menzel, 2001 (vergriffen, im Internet)
- Band 14**      **Regeneration adulter Malus-Unterlagen**  
B. Feuerhahn, 2000, Dissertation, 10,22 €
- Band 13**      **Erhaltung und Nutzung regionaler landwirtschaftlicher Vielfalt - von der Verpflichtung zur Umsetzung**  
Hrsg.: A. Oetmann-Mennen und F. Stodiek, 2000, 5,11 €
- Band 12**      **Dokumentation und Informationssysteme im Bereich pflanzengenetischer Ressourcen in Deutschland**  
Hrsg.: F. Begemann, S. Harrer, J.D. Jiménez Krause, 1999, 8,69 €
- Band 11**      **Populationsgenetische Untersuchung von Blei Abramis brama, Güster Abramis bjoerkna, Plötze Rutilus rutilus und Rotfeder Scardinius erythrophthalmus aus Gewässern des nordostdeutschen Tieflandes**  
Christian Wolter, 1999, Dissertation, 7,66 €
- Band 10**      **Agrarbioidiversität und pflanzengenetische Ressourcen - Herausforderung und Lösungsansatz**  
Karl Hammer, 1998, 7,15 €
- Band 9**        **Abstammung der Europäischen Hausschafe und Phylogenie der eurasischen Wildschafe**  
Arne Ludwig, 1998, Dissertation, 10,22 €
- Band 8**        **Züchterische Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen - Ergebnisse und Forschungsbedarf**  
Tagungsband eines Symposiums vom 29.09.-01.10.1997 in Gatersleben  
Hrsg.: F. Begemann, 1998, 7,66 €

- Sonderband 4. Internationale Technische Konferenz der FAO über Pflanzengenetische Ressourcen**  
Konferenzbericht, Leipziger Deklaration, Globaler Aktionsplan und Weltzustandsbericht, (kostenlos)
- Band 7 Bestimmung der optimalen Keimtemperatur für die routinemäßige Keimfähigkeitsbestimmung zahlreicher Arten aus dem Genus Allium**  
L. Carl-Eckhard Specht, 1997, Dissertation, 7,66 €
- Band 6 Charakterisierung und Evaluierung von Koriander (Coriandrum sativum L.) und taxonomische Implikationen**  
Axel Diederichsen, 1997, Dissertation, 7,66 €
- Band 5 Vergleichende Aspekte der Nutzung und Erhaltung pflanzen- und tiergenetischer Ressourcen**  
Tagungsband eines Symposiums vom 07.-09. November 1996 in Mariensee  
Hrsg.: F. Begemann, C. Ehling und R. Falge, 1996, 7,66 €
- Band 4 Evolution und Taxonomie von pflanzengenetischen Ressourcen-Festschrift für Peter Hanelt**  
Hrsg.: R. Fritsch und K. Hammer, 1996, 7,66 €
- Band 3 Zugang zu Pflanzengenetischen Ressourcen für die Ernährung und Landwirtschaft - der Diskussionsprozeß in Deutschland**  
Hrsg.: F. Begemann, 1996, 7,66 €
- Band 2 In-situ-Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen in der Bundesrepublik Deutschland am natürlichen Standort und on farm**  
Tagungsband eines Symposiums vom 11.-13. Oktober 1995 in Bogensee  
Hrsg.: F. Begemann und R. Vögel, 1996, 7,66 €

**Band 1**      **Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen in der Land- und Forstwirtschaft**

Tagungsband eines Symposiums vom 09.-11. November 1994 in Witzenhausen

Hrsg.: J. Kleinschmit, F. Begemann und K. Hammer, 1995, 7,66 €

**Band 0**      **Integration of Conservation Strategies of Plant Genetic Resources in Europe**

Proceedings of an International Symposium on Plant Genetic Resources in Europe

held in Gatersleben, Germany December 6-8, 1993.

Hrsg.: F. Begemann und K. Hammer (1994)

(vergriffen, im Internet)

**Alle Publikationen sowie weitere relevante Informationen sind im Internet verfügbar unter:**

**[www.genres.de/service/publikationen-informationsmaterial/](http://www.genres.de/service/publikationen-informationsmaterial/)**



**Herausgeberin**

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt (IBV)  
Deichmanns Aue 29  
D-53179 Bonn

**Bezugsquellen**

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt (IBV)  
Tel. +49 (0)228 99 6845-3237  
Fax +49 (0)228 6845-3105  
E-Mail: [ibv@ble.de](mailto:ibv@ble.de)  
Internet: [www.genres.de/service/publikationen-informationsmaterial/schriftenreihe](http://www.genres.de/service/publikationen-informationsmaterial/schriftenreihe)

**Gestaltung**

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Referat 421 – Medienkonzeption und -gestaltung

**Copyright, ISSN**

© 2016 BLE  
ISSN 1863-1347