

Reaktionsmöglichkeiten auf den Klimawandel durch Pflanzenzüchtung und Sortenwahl

MARIA R. FINCKH

1 Einleitung

In den letzten 40 Jahren hat sich die frostfreie Vegetationsperiode sowohl im Frühjahr als auch im Herbst um mehr als eine Woche verlängert, während die Winter und Sommer insgesamt deutlich wärmer geworden sind (CCSP 2008). Diese Veränderungen gehen aber mit immer weniger Vorhersagbarkeit und immer extremere klimatischen Bedingungen einher, sowohl was die Temperaturen, als auch was Trockenheit und Nässe betrifft. Die einzig sichere Vorhersage, die bisher über den Klimawandel gemacht werden kann ist, dass die Unsicherheit zunimmt.

Um die Anforderungen an die Pflanzenzucht der Zukunft einschätzen zu können, werde ich als erstes auf einige Veränderungen, die uns im landwirtschaftlichen System erwarten, eingehen und dann im Detail Zuchtmethoden und -ziele im Hinblick auf den Umgang mit diesen Veränderungen beleuchten. Viele der Zuchtziele sind sowohl für die konventionelle, als auch für die ökologische Landwirtschaft relevant, einige müssen aber differenziert und systemspezifisch betrachtet werden.

Grundsätzlich setzt sich dieser Beitrag mit Pflanzenzüchtung für die ökologische Landwirtschaft der Zukunft auseinander. Im Speziellen wird der Schwerpunkt auf den Weizen gelegt, eine der bedeutendsten Kulturpflanzenarten in unserer Klimazone, die auch im ökologischen Anbau eine zentrale Rolle spielt. Einige eigene Forschungsergebnisse der letzten Jahre werden zur Illustration mit einbezogen.

2 Systemveränderungen durch Klimawandel

Die wichtigsten Ressourcen für die Landwirtschaft sind fruchtbare Böden und die biologische Vielfalt; letztere beinhaltet die Vielfalt der Arten, aber auch die Vielfalt innerhalb der Arten. Die durch den Klimawandel bedingten Veränderungen dieser Ressourcen und die damit einhergehenden Anforderungen werden im Folgenden kurz beleuchtet.

2.1 Bodenfruchtbarkeit

Die Bodenfruchtbarkeit wird von KÖPPEN (2004, S. 35) als ein „... offenes dynamisches restriktiv selbstregulierendes System...“ definiert, das sich „... durch die Bodennutzung auf der Grundlage natürlicher Standortfaktoren und Prozesse entwickelt...“. Bei der Bewertung von Bodenfruchtbarkeit sind chemische, physikali-

sche und biologische Bodeneigenschaften von Bedeutung (KÖPPEN 2005). Ein fruchtbarer Boden stellt einerseits adäquate Mengen an Nährstoffen zur Verfügung, andererseits muss er auch „gesund“ sein, eine Eigenschaft, die maßgeblich durch das antiphytopathogene Potential (VILICH und SIKORA 1996), das Schadorganismen unterdrücken kann, beeinflusst wird. Der Gehalt an organischem Material und die mikrobielle Aktivität sind die wichtigsten Faktoren, die die Bodengesundheit bestimmen (WELLER et al. 2002). Beide verbessern ebenfalls sowohl die Bodenstruktur, als auch die Wasserhaltekapazität des Bodens. Damit wird der Boden auch toleranter gegenüber abiotischen Stressfaktoren wie Trockenheit und Verdichtung. Zusätzlich legt die organische Masse im Boden Kohlendioxid fest und puffert Salzgehalte, Säuren und Basen ab. Reduzierte Bodenbearbeitung, Fruchtfolgen (inklusive Zwischenfruchtanbau und Untersaaten) und Recycling der organischen Substanz sind die Schlüsselfaktoren zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit.

Wärmere Winter und damit wärmere Böden führen zu höherer mikrobieller Aktivität mit einer Vielzahl von Auswirkungen (POTTHOFF 1999). Neben besseren Überlebenschancen frostempfindlicher Schaderreger wird das vorhandene organische Material schneller umgesetzt und abgebaut. Dies kann sich zwar auch positiv auf die Bodengesundheit auswirken, da damit auch Erntereste und auf diese angewiesene Schaderreger reduziert werden. Allerdings bedeutet dies auch einen Verlust organischer Masse und eine Tendenz zum Humusabbau. Tatsächlich hat die Erhöhung der Durchschnittstemperaturen um 0.5 °C in den letzten 30 Jahren bereits zu massiven Verlusten der organischen Masse in Böden des gemäßigten Klimas in England geführt (BELLAMY et al. 2008); es besteht kein Grund anzunehmen, dass dies in unserem Klima anders wäre. Auch hierzulande wird Humusabbau beobachtet und im Gespräch mit Landwirten und Beratern wird das Thema zunehmend wichtiger, da die langfristigen Folgen gravierend sind.

2.2 Biologische Vielfalt

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Artenvielfalt, in der Landwirtschaft und darüber hinaus, werden beträchtlich und zumindest kurzfristig negativ sein. So werden für viele Nutzpflanzen negative Auswirkungen durch die vermehrten Klimaextreme erwartet, während die Verbreitungsgebiete wärmeliebender Unkräuter sich nach Norden ausdehnen und diese Arten infolge erhöhter Kohlendioxidgehalte der Luft deutlich invasiver werden könnten. Gleichzeitig wird sich das Auftreten von Schaderregern durch die wärmeren Winter in Verbindung mit gestressten Nutzpflanzen häufig intensivieren (CCSP 2008). Blattlausjahre infolge warmer Winter sind eine bekannte Folge. Zusätzliche Generationen vieler Insekten, wie dem Traubenwickler oder auch dem Kartoffelkäfer, sind bereits an der Tagesordnung.

Während sich das Vorkommen vieler Organismen geographisch nach Norden verschiebt, können vor allem arktische und tropische Arten nur sehr bedingt in

neue Regionen ausweichen. Von besonderer Relevanz werden hier Verschiebungen der Artenspektren von Bestäubern sein.

3 Zuchtziele und Ansätze diesen Veränderungen zu begegnen

In der modernen konventionellen Landwirtschaft wurden in den letzten Jahrzehnten Umwelteinflüsse aufgrund von Bodenvariation und Schaderregern durch Düngemittel und Pestizide auf ein Minimum reduziert. Moderne Kulturpflanzensorten, wie der Weizen, sind unter diesen Bedingungen gezüchtet worden. Dies erlaubte eine weitgehend zentralisierte Zucht und Selektion wichtiger umweltabhängiger Eigenschaften. Durch die Reduktion der Umweltvariabilität wurden die Heritabilität (Erblichkeit) und die Vorhersagbarkeit des Pflanzenverhaltens unter den gegebenen Bedingungen erhöht (DESCLAUX et al. 2008). Da durch die erwarteten klimatischen Veränderungen die Genotyp-Umwelt Interaktionen deutlich zunehmen werden, wird eine zentralisierte Zucht allerdings schnell in an ihre Grenzen stoßen.

Da die ökologische Landwirtschaft sich selbst schon immer engere Grenzen für den Gebrauch von Pestiziden und Düngemitteln gesetzt hat als die konventionelle, ist der Umgang mit Umweltfaktoren entsprechend anders; biotischen und abiotischen Stressfaktoren muss durch die Sortenwahl und entsprechendes Management begegnet werden. So wurde in den letzten Jahren intensiv an der Definition von Zuchtzielen für eine umweltverträgliche Landwirtschaft der Zukunft gearbeitet. Hier haben vor allem die europäischen Netzwerke für ökologische Pflanzenzüchtung (www.ECO-PB.org), sowie für die nachhaltige low-input Getreideproduktion („Sustainable low-input cereal production: required varietal characteristics and crop diversity“ SUSVAR, www.cost860.dk) viel Pionierarbeit geleistet. Diese wurde in einem Sonderheft der Zeitschrift Euphytica zur ökologischen Pflanzenzüchtung (LAMMERTS VAN BUEREN et al. 2008) zusammengefasst. Ein Strategiepapier zur nachhaltigen Getreideproduktion wird im Frühjahr 2009 von OSTERGAARD et al. erscheinen (Journal of the Science of Food and Agriculture).

Im Folgenden werde ich die grundlegenden Fragen, die bedacht werden müssen, zusammenfassen, um dann die Zuchtziele und Methoden im Hinblick auf Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität genauer auszuführen.

3.1 Grundsätzliche Fragen

WOLFE et al. (2008) formulierten eine Reihe wichtiger Punkte, die für die Zucht der Zukunft im ökologischen Sektor von Relevanz sind:

- Welche genetischen Ressourcen sollten genutzt werden?
- Sollte breite oder spezifische Adaptation im Vordergrund stehen?
- Welches sind die am Besten geeigneten Selektionsumwelten?
- Stabilität des Verhaltens einer Sorte

- Ergänzung der zentralisierten Zucht durch dezentralisierte Zuchtansätze
- Ergänzung der zentralisierten Zucht durch partizipative Ansätze
- Welches ist die am Besten geeignete genetische Struktur der Kulturpflanzen?

3.1.1 Welche genetischen Ressourcen sollten genutzt werden?

Zusätzlich zu den bereits hier angepassten Sorten müssen genetische Ressourcen aus Genbanken und vor allem auch Landrassen aus unserer und anderen Klimazonen einbezogen werden, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden. Um eine weite genetische Basis in die Zucht einbeziehen zu können, müssen moderne Methoden genutzt werden, um eine breite Auswertung effizient zu bewältigen. Sowohl physiologische als auch molekulare Parameter (markergestützte Selektion) können hier genutzt werden, um große Mengen an Pflanzenmaterial zu einem frühen Zeitpunkt vorzuselektieren. Wichtig ist es in diesem Zusammenhang auch, bekannte pleiotropische Charakteristika (Eigenschaften mit mehreren Auswirkungen) auszunutzen. So sind Pflanzen mit guter Frühentwicklung grundsätzlich auch konkurrenzstärker, effizienter in der Nährstoffaufnahme und auch widerstandsfähiger gegenüber bodenbürtigen Pathogenen (WOLFE et al. 2008).

3.1.2 Breite oder spezifische Adaptation?

Je variabler die Umwelt, umso schwieriger wird es werden, wirklich weiträumig angepasste Sorten zu züchten. Eine Schwierigkeit besteht darin, herauszufinden, für welche Art von Umweltvariabilität breite Anpassung sinnvoll und für welche diese weniger sinnvoll ist (WOLFE et al. 2008). CECCARELLI (1989) zeigte, dass breit angepasste Getreidesorten nur in durch wenig Stress gekennzeichneten Umwelten die jeweils beste Lösung sind. Für das jeweilige Anbausystem müssen die wichtigen Zielumwelten identifiziert werden und experimentell die Erblichkeiten, die genetischen Umweltkorrelationen und die Varianzkomponenten bestimmt werden, um die für breite Anpassung geeigneten Eigenschaften zu identifizieren. Für die ökologische Landwirtschaft könnten auch Systeme (a) mit und (b) ohne Viehhaltung wichtige Umweltfaktoren sein, die zu berücksichtigen sind, da durch sie die Art der organischen Düngung und die Nährstoffdynamik massiv beeinflusst werden (WOLFE et al. 2008).

3.1.3 Welches sind die am Besten geeigneten Selektionsumwelten?

Bisher werden im ökologischen Anbau weitgehend unter konventionellen Bedingungen gezüchtete Sorten genutzt. Die Frage, ob eine direkte Selektion unter ökologischen Bedingungen besser geeignete Sorten hervorbringen könnte, ist noch nicht beantwortet (WOLFE et al. 2008). In einer Analyse von konventionellen und ökologischen Sortentests aus sieben Ländern zeigten PRZYSTALSKI et al. (2008)

zwar generell hohe genetische Korrelationen zwischen den beiden Umwelten. Trotzdem lag die Wahrscheinlichkeit, dass die beobachteten Rangfolgen mit den berechneten übereinstimmten, nur im mittleren Bereich. Dies ist ein Indiz, dass nur durch den Einbezug der Ergebnisse aus beiden Anbausystemen sinnvolle Vorhersagen gemacht werden können. Eine Verbreiterung der Informationsbasis erscheint daher insgesamt sehr sinnvoll.

3.1.4 Stabilität des Verhaltens einer Sorte

Stabilität in der Biologie kann je nach Fragestellung (a) statisches oder gleich bleibendes Verhalten oder (b) die Fähigkeit der dynamischen Reaktion und des Ausgleiches sein oder (c) die Fähigkeit, nach einer Störung wieder in ein (unter Umständen neues) Gleichgewicht zu finden. Bei der Zucht findet die zweite Definition vor allem Anwendung. Die Ertragsstabilität einer Sorte ist grundsätzlich immer nur im Vergleich zu anderen Sorten zu bestimmen und ist durch einen über viele Umwelten im Verhältnis zum Ertragspotential der Umwelten hohen und wenig schwankenden Ertrag definiert (EBERHART und RUSSEL 1966). Dies kann anhand einer linearen Regression des Ertrages einer Sorte auf das Ertragspotential eines Standortes quantifiziert werden. Ähnlich kann auch mit Qualitätsparametern verfahren werden. Nach dem Regressionsmodell ist die Ertragsstabilität einer Sorte dann gegeben, wenn die Steigung der Regressionsgeraden bei einer Korrelation der Erträge auf die Umwelt gleich eins ist (EBERHART und RUSSEL 1966). Die Umwelt lässt sich dabei als das Standort- bzw. das Ertragspotential darstellen. Je geringer die einzelnen Ertragswerte von der Regressionsgeraden abweichen, umso höher ist die Vorhersagbarkeit der Lage der Datenpunkte im Diagramm und umso sicherer ist die Vorhersagbarkeit der Erträge. Deshalb sollte auch die mittlere quadratische Abweichung von der Regressionsgeraden (MQA) so gering wie möglich sein.

Ein Beispiel für die Möglichkeit zum Ausgleich klimatischer Extreme sind unsere Ergebnisse mit Winterweizensortenmischungen aus den Jahr 2003 (FINCKH et al. 2003). In diesem Jahr wurden die Sorten Arina und Capo gemeinsam mit einer Mischung der beiden Sorten auf acht unterschiedlichen Standorten unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus getestet. Die Mischungen zeichneten sich durch eine deutlich höhere Ertragsstabilität gegenüber den Reinbeständen aus und wirkten auch stabilisierend auf die Backqualität (Abb. 1, Tab. 1).

Während der Ertragsanstieg in Mischungen parallel zum steigenden Ertragspotential der Standorte war (Steigung der Regressionsgeraden unterschied sich nicht signifikant von eins) wichen die Anstiege der Regressionsgeraden von Arina und Capo signifikant ($P < 0,05$) von eins ab. So reagierte Arina (Steigung 0,87) auf eine Erhöhung des Ertragspotentials weniger und Capo (Steigung 1,16) stärker als erwartet. Die MQA der Ertragswerte von der Regressionsgeraden waren bei den Reinsaatena nahezu gleich, bei der Mischung hingegen viel geringer (Tab. 1). Die Mischung der Sorten reagierte also sehr stabil und ohne große Schwankungen auf

das steigende Ertragspotential und ist damit am ertragstabilsten einzustufen. Dies ist vor dem Hintergrund des klimatisch sehr extremen Jahres 2003 (späte scharfe Kahlfröste im April und fast kein Niederschlag zwischen Mai und August bei Höchsttemperaturen) besonders bemerkenswert.

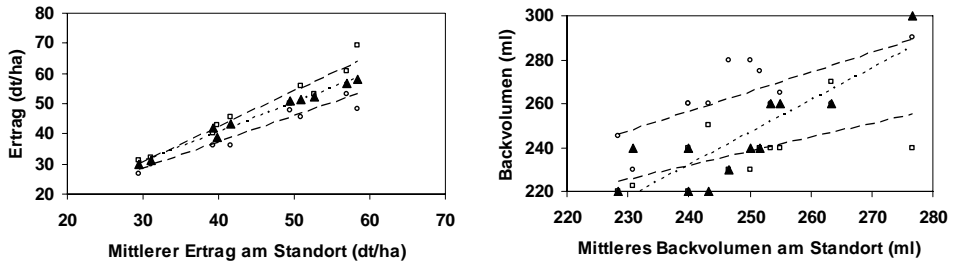


Abb. 1: Erträge (links) und Backvolumina in Vollkornbacktests (rechts) der Reinbestände Arina (Kreise) und Capo (Quadrate) und ihrer Mischung (Dreiecke) abhängig vom Standortpotential an 10 Standorten im Jahr 2003 unter ökologischen Anbaubedingungen. Siehe Tab.1 für Regressionskoeffizienten (FINCKH et al. 2003).

Tab. 1: Regressionsparameter für die Beziehung des Ertrages und des Backvolumens der Reinsorten Arina und Capo und deren Mischung mit dem Standortpotential über 12 Standorte im unter ökologischen Bedingungen im Jahr 2003 (Siehe Abb. 1 für graphische Darstellung)

Sorte	Ertrag			Backvolumen		
	MQA ^a	Steigung ^b	R ^{2c}	MQA ^a	Steigung ^b	R ^{2c}
Arina	2,49	0,87	0,92	134	0,88	0,53
Capo	2,79	1,16	0,95	138	0,64	0,37
Mischung	1,34	0,97	0,99	159	1,47	0,72

^{a)} MQA: Mittlere quadratische Abweichung der Datenpunkte von der Regressionsgeraden.

^{b)} Die Steigung der Geraden gibt an, wie stark sich der Wert der y-Achse im Verhältnis zur x-Achse ändert. Eine Steigung von 1 bedeutet Übereinstimmung.

^{c)} Der Regressionskoeffizient gibt an, wie hoch der Anteil der Variation ist, der durch die Regression erklärt werden kann.

FINCKH et al. 2003

Insgesamt war die Stabilität der Qualität geringer als die des Ertrages, was bildlich in Abb. 1 und an den niedrigeren R² und höheren MSQ Werten im Vergleich zum Ertrag in Tab. 1 abzulesen ist. Die sehr hohe Steigung bei den Mischungen zeigt jedoch, dass diese deutlich mehr geeignet waren, hohe Backqualitäten bei hohem Ertrag vor allem an den besseren Standorten zu erzielen. Zwar erzielte Arina bessere Qualitäten als die Mischung, jedoch bei deutlich geringeren Erträgen.

3.1.5 Dezentralisierte und partizipative Zuchtansätze

Eine Möglichkeit, mit erhöhter Umweltvariation umzugehen, sind partizipative und dezentralisierte Ansätze zur Selektion und Zucht neuer lokal angepasster Sorten gemeinsam mit Landwirten. Solche Ansätze werden schon seit längerem in so genannten Entwicklungsländern praktiziert (z.B. CECCARELLI et al. 2000; SPERLING et al. 1993), finden aber auch in unseren Breiten immer mehr Interesse (DESCLAUX und HÉDONT 2006, MURPHY et al. 2005). Kennzeichnend dafür ist es, dass Züchter Hand in Hand mit Landwirten arbeiten, die häufig alleine oder in Zusammenarbeit die Selektion aus noch variablen Ausgangspopulationen vornehmen. Neben Genotyp-Umweltinteraktionen spielen dann auch die Fähigkeiten der Landwirte, die abnehmende Hand, gesetzliche Regelwerke und gesellschaftliche Interessen eine wichtige Rolle mit entsprechenden Konsequenzen für den Entwicklungsprozess neuer Sorten oder Populationen. Dies wurde ausführlich in einem Beitrag von DESCLAUX et al. (2008) dargestellt.

3.1.6 Welches ist die am Besten geeignete genetische Struktur der Kulturpflanzen?

Von besonderem Interesse ist der Aspekt, dass Genotypen bzw. die genetische Struktur der angebauten Arten sich auch auf die Umwelt auswirken. So können Pflanzen je nach Wuchsform das Mikroklima beeinflussen. Die Auswirkungen sind aber vor allem hoch, wenn durch großräumigen Anbau virulente Pathogenrassen selektiert werden, Resistenzen zusammenbrechen und damit der Pestizideinsatz mindestens kurzfristig erhöht wird. Andererseits kann durch den Einsatz genetischer Vielfalt der Pestizideinsatz drastisch gesenkt werden, wie dies z.B. in der ehemaligen DDR praktiziert wurde. Durch den Anbau von 96% der Braugerste als Sortenmischungen konnten ca. 80 % der Fungizide gegen den Mehltau eingespart werden (WOLFE 1992). Je weniger Befall, desto weniger Inokulum wird produziert und desto weniger werden benachbarte Pflanzenbestände gefährdet. Aus diesem Grund ist auf jeden Fall eine Bestandesstruktur anzustreben, die Krankheiten weitgehend unterdrückt. Sorten- und Artenmischungen können hier einen wichtigen Beitrag leisten (siehe 3.3.1). Einen deutlich radikaleren Ansatz stellt jedoch die evolutionäre Zucht dar (siehe 3.3.2).

3.2 Zucht im Hinblick auf Bodenfruchtbarkeitsmanagement

Da mit steigendem Gehalt an organischem Material im Boden die mikrobielle Aktivität und damit die Fähigkeit von Böden, Krankheiten zu unterdrücken steigt (WELLER et al. 2002), müssen zukünftige landwirtschaftliche Strategien alles daran setzen, die Böden mit organischer Masse zu versorgen und vor allem den Humusgehalt zu fördern. Dies wird nur bei reduzierter Bodenbearbeitung, vor allem dem weitgehenden Verzicht auf den Pflug möglich sein. Damit steht die ökologische

Landwirtschaft vor einer großen Herausforderung was die Beikrautkontrolle betrifft, die derzeit noch sehr stark vom Pflug abhängig ist. Allerdings gibt es einzelne Landwirte, die auch unter ökologischen Bedingungen erfolgreich pfluglos arbeiten.

Um ein Kohlenstoff konservierendes und allgemein Fruchtbarkeit förderndes Management der Böden zu ermöglichen, braucht es dafür angepasste Kulturpflanzen. Wichtige Eigenschaften sind hier:

- Hohe Konkurrenzkraft durch zügige Frühentwicklung und gute Beschattungsfähigkeit im Bestand
- Allelopathie (Ausscheidung von Stoffen, die andere Pflanzen und auch Pathogene unterdrücken)
- Eine breite Besetzung des vorhandenen Bodenraumes durch gute Durchwurzelung

Einige dieser Eigenschaften können in einzelne Sorten (Linien) eingezüchtet werden. In vielen Fällen allerdings wird es einfacher sein, die gewünschten Bestandeseigenschaften durch gezielten Einsatz von Biodiversität zu erreichen (siehe 3.3).

3.3 Zucht im Hinblick auf Erhalt und Förderung der Biodiversität

Die genetische Vielfalt in modernen Sorten ist stark eingeschränkt (HAMMER und TEKLU 2006). Mit den zu erwartenden deutlich variableren Klimabedingungen und damit einhergehend womöglich auch unvorhersehbareren Schaderregeraufkommen in der Zukunft stellt sich nun die Frage, ob genetisch einheitliche Sorten mit solchen Herausforderungen umgehen können. Genetische Vielfalt für Resistenzen und andere wichtige Eigenschaften, wie beispielsweise Nährstoffaneignungsvermögen (siehe 3.2), wäre ein Weg, mit solchen Unwägbarkeiten umzugehen (FINCKH und WOLFE 2006; FINCKH 2008; MUNDT 2002; MURPHY et al. 2005). Vielfalt im Feld kann beispielsweise durch Sortenmischungen, Vielliniensorten und diverse Populationen erreicht werden.

3.3.1 Sortenmischungen und Vielliniensorten

Eine Möglichkeit, genetische Vielfalt zu nutzen ist der Einsatz von Sortenmischungen. Ursprünglich wurde diese Strategie vor allem für den Schutz gegen Pflanzenkrankheiten entwickelt (FINCKH und WOLFE 2006). In den USA, wo die Sortenschutzregelungen deutlich unkomplizierter sind, werden riesige Flächen mit Weizensortenmischungen zum Schutz vor allem vor Rost angebaut (>10 % in Oregon und Washington, MUNDT 2002). Neben Pflanzenschutzaspekten wird vor allem der Schutz vor unvorhersagbaren klimatischen Bedingungen bei der Entscheidung für den Mischbau immer wichtiger. So bauen viele Landwirte in den trockeneren kontinentalen Gebieten der USA Sortenmischungen an, um mögliche Auswinterrungsschäden einzelner Sorten oder Sensibilität gegenüber Trockenheit so gut wie

Reaktionsmöglichkeiten auf den Klimawandel durch Pflanzenzüchtung

möglich auszugleichen. In Kansas werden aus diesem Grund zwischen 10 und 15 % der Weizenfläche mit Sortenmischungen angebaut (BARKLEY 2006; BOWDEN et al. 2001). Im persönlichen Gespräch haben mir einige Landwirte in Deutschland auch anvertraut, dass sie erfolgreich Sortenmischungen anbauen, entweder in direkter Absprache mit den Verarbeitern, oder aber ohne dies gegenüber der abnehmenden Hand zu thematisieren.

Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass für eine Optimierung von Sortenmischungen auch für diese spezifisch gezüchtet werden muss und Sorten auf ihr Verhalten in Mischungen geprüft werden müssen. Hier haben verschiedene Ansätze zur Analyse der Kombinationsfähigkeit gezeigt, dass aus dem Verhalten in Zweiermischungen bis zu einem gewissen Grad auch auf Mehrkomponentenmischungen geschlossen werden kann (z.B. KNOTT und MUNDT 1990; GACEK et al. 1996). Allerdings ist dies immer ein zusätzlicher Arbeitsschritt und damit kostspielig. Auch können nur Sorten derselben Qualitätsklasse gemischt werden.

Vielliniensorten wurden in der Vergangenheit propagiert, um Konkurrenzbeziehungen zwischen Sorten zu minimieren und auch mögliche Qualitätsprobleme zu vermeiden, da hier nur Linien unterschiedlicher Resistenz aber ansonsten genetisch einheitlich verwendet wurden. Solch ein Ansatz ist in den USA legal, sofern die Linien aus einer Hand kommen, ist aber nicht konform mit den Richtlinien von UPOV (Internationaler Verband zum Schutz von Pflanzenzüchtungen). Insgesamt spielen Vielliniensorten eine untergeordnete Rolle, da sie sehr teuer in der Herstellung sind.

3.3.2 Zucht für Diversität

Während Sortenmischungen zwar ein interessanter Ansatz sind, um schnell und unkompliziert Vielfalt in ein System zu bringen, fehlt ihnen die Möglichkeit der Anpassung über die Zeit, da sie stets aus Reinsorten neu gemischt werden müssen. So stehen sich in natürlichen Ökosystemen normalerweise genetisch vielfältige Wirts- und Erregerpopulationen gegenüber und es werden im ko-evolutionären Prozess (d.h. gegenseitige Anpassung von nicht-mischenden Genpools) auf der Pathogenseite Virulenzen und auf der Wirtsseite Resistenzen selektiert (FINCKH 2008). Ko-evolution hat in vielen Systemen zur Entstehung von Landrassen mit hoher Diversität für wichtige Pathogene geführt (siehe JARVIS et al. 2007). Allerdings muss diese Vielfalt verbunden mit hoher Qualität und hohen Erträgen sein, um in der modernen Landwirtschaft attraktiv zu sein. Da alte Weizenlandrassen in Mitteleuropa vor allem im Ertrag und mitunter auch in ihrer Qualität im Vergleich zu den modernen Sorten unattraktiv sind und kaum eine Rolle spielen, müssen neue Lösungsansätze gefunden werden.

Von Züchtern und Pathologen wurde bereits im letzten Jahrhundert eine „evolutionäre Pflanzenzucht“, beispielsweise auf der Basis von „Evolutionssramschen“, gefordert (SUNESON 1956). Damit werden Kreuzungspopulationen aus einer Viel-

zahl bestehender Sorten und Linien bezeichnet, die dann in multiplen Umwelten der natürlichen Selektion ausgesetzt werden. Evolutionsramsche (auf englisch composite crosses) bilden seit 1920 die Ausgangspopulationen des Kalifornischen Zuchtprogramms, aus denen unzählige Gerstensorten bis in die heutige Zeit selektiert wurden und werden (HARLAN und MARTINI 1929; ALLARD 1990). Evolutionsramsche wurden z.B. auch für Hafer (JENSEN 1978), Weizen (MURPHY et al. 2005; PAILLARD et al. 2000; PHILLIPS und WOLFE 2005), Phaseolus- und Fababohnen (ALLARD 1961; GHAOUTI et al. 2005) hergestellt.

Evolutionsramsche stellen wertvolles Ausgangsmaterial zur Erhaltung und Entwicklung züchterisch nutzbarer genetischer Diversität dar (MURPHY et al. 2005; PARZIES 2004; PHILLIPS und WOLFE 2005) und können bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt an interessierte Landwirte gegeben werden, um in einem partizipativen Prozess angepasste Populationssorten, sogenannte „moderne“ Landrassen (MURPHY et al. 2005), zu entwickeln, die auch den Ansprüchen der modernen Landwirtschaft gerecht werden. Krankheitsresistenzen, Allelopathie und Konkurrenzkraft, Ertrag und Qualität werden unter diesen Bedingungen selektiert (DAWSON et al. 2006).

Für Europäische Bedingungen wurden im Jahr 2001 in Zusammenarbeit des Elm Farm Research Centre und dem John Innes Institute drei Evolutionsramsche (Composite Crosses) für Winterweizen aus 9, 12 und 20 Elternlinien hergestellt (WOLFE et al. 2006). Die Eltern waren entweder nur Hohertragsorten, nur Sorten mit bester Backqualität, oder beide Gruppen zusammen. Die Populationen wurden in England ohne bewusste Selektion vermehrt und bereits in der F₄ konnte eine deutliche Tendenz zu Ertragssteigerungen gegenüber dem Mittel der Elternpopulationen sowohl unter konventionellen als auch unter ökologischen Anbaubedingungen festgestellt werden (WOLFE et al. 2006). Seit 2005 wird Saatgut der drei oben beschriebenen englischen Evolutionsramsche bei uns in Witzenhausen in zwei Wiederholungen ohne bewusste Selektion sowohl ökologisch, als auch konventionell weitergepflegt, um die unterschiedlichen Anpassungsprozesse auf das Anbausystem zu analysieren. Ziel dieser Arbeit ist es, einerseits Populationen für die on-farm Zucht bereitzustellen, andererseits soll durch systematische Begleitung und Führung der Populationen erforscht werden, wie sich die unterschiedlichen Anbaubedingungen auf wichtige Eigenschaften für die weiterführende Zucht auswirken; beispielsweise in Bezug auf Resistenzen, Verhalten gegenüber Beikräutern, Nährstoffaneignungsvermögen, jeweils bei ökologischem oder konventionellem Anbau.

Innerhalb diverser Weizenpopulationen wurden Auskreuzungsraten von 2,5 bis zu 11 % gefunden, die sicherstellen, dass immer wieder neue Genotypen entstehen und somit auch Evolution stattfindet (DREISIGACKER et al. 2005; GOLDRINGER et al. 2001). Neueste Ergebnisse legen zudem nahe, dass die Mutationsraten im Weizen deutlich höher liegen als bisher angenommen (RAQUIN et al. 2008). Dies ist eine effiziente Alternative zur Fremdbestäubung, um neue Eigenschaften in sehr

erfolgreiche Genotypen einzubringen. Unsere Untersuchungen haben bisher gezeigt, dass die Resistenzdiversität auch in der F5 noch sehr hoch war (STANGE et al. 2006) und die Untersuchung von Einzelkornnachkommenschaften ergab einen sehr hohen Heterozygotiegrad. Von den 23 Nachkommenschaften, reagierte nur eine einheitlich gegenüber drei Braunrostisolaten (STEFFAN 2008). Diese Ergebnisse bestätigen Ergebnisse mit Weizenramschen in den USA (QUALSET 1968) und Frankreich (GOLDRINGER et al. 2001) oder Landrassen weltweit (DREISIGACKER et al. 2005).

Die Erhaltung und Anpassung von Populationen unter verschiedenen Umweltbedingungen leistet einen wichtigen Beitrag zur Zucht und auch zur Konservierung genetischer Ressourcen. Ebenfalls sollten sich auf die Dauer unter natürlicher Selektion die Erträge verbessern, wie mehrfach beobachtet (MURPHY et al. 2005; PHILLIPS und WOLFE 2005). Auch sollten Resistenzfrequenzen unter entsprechendem Infektionsdruck zunehmen. Lokale Anpassung von Weizenpopulationen wurde bereits nach sechs Generationen in verschiedenen Umwelten beobachtet (GOLDRINGER et al. 2001) und hat sich seither verstärkt (GOLDRINGER et al. 2006). Andererseits können Verbesserungen in der Backqualität nur durch gezielte Selektion erreicht werden. Es ist zu erwarten, dass ein gewisser lokal geführter Selektionsprozess die Populationsverbesserung deutlich beschleunigen könnte.

4 Offene Fragen und Forschungsbedarf

Auch wenn es gute Ansätze zur Integration von Vielfalt in die Zucht gibt, gibt es jedoch viele offene Fragen und einen großen Forschungsbedarf, bevor ein solches Konzept breit in die Praxis eingeführt werden kann. Wichtig ist es, Wege zu finden, wie die Möglichkeiten und Fortschritte der modernen Pflanzenzüchtung in solche Zuchtkonzepte integriert werden können. Solche Fragen werden z.B. in den Forschungsprogrammen von Dr. I. Goldringer in Frankreich (siehe GOLDRINGER et al. 2001, 2008), Prof. Wolfe in England (WOLFE et al. 2006, 2008) und vor allem Steve Jones in den USA (MURPHY et al. 2005) bearbeitet. Wichtigste Fragen sind hier:

- Welche Anpassungen sind besonders attraktiv auf Populationsniveau zu selektieren und welche sollten vorab möglichst fixiert sein. Basierend auf solchen Erkenntnissen könnten dann Pre-Breeding Programme ausgerichtet werden.
- Welche Eigenschaften werden wichtiger bzw. unwichtiger in diversen Populationen? Es ist anzunehmen, dass bestimmte Resistenzen weniger problematisch sein werden, da die Selektion für Anpassung deutlich reduziert wird.
- Bleibt die Diversität in Populationen erhalten und wie muss, wenn nötig hier nachgeholfen werden in den unterschiedlichen Kulturen?
- Wie kann die Saatgutqualität, v.a. die Gesundheit in partizipativen Programmen sichergestellt und unterstützt werden? Dies trifft vor allem auf schwierig zu bekämpfende Erreger für den ökologischen Sektor zu, wie z.B. Flubrand und Streifenkrankheit.

- Wie kann partizipative Zucht und Entscheidungsprozesse sinnvoll geführt werden? Hier gibt die Arbeit von DESCLAUX et al. (2008) wichtige Impulse.
- Welche Gesetze müssen wie geändert werden, um die Nutzung der biologischen Vielfalt in der Realität der Landwirtschaft möglich zu machen und soweit wie möglich auch zu fördern? Hier bedarf es weitreichender Änderungen, die leider nicht einfach herbeizuführen sein werden. Dieses Thema rückt in letzter Zeit jedoch mehr in den Vordergrund (LOUWAARS 2007; KLOPPENBURG, 2004). Allerdings gibt es bereits auf nationaler Ebene Möglichkeiten, die derzeit nicht voll ausgeschöpft werden (FINCKH 2007).

5 Schlussbemerkung

Durch zunehmende Verluste an organischer Substanz infolge wärmerer Temperaturen einerseits und durch notwendige Energieeinsparungen andererseits wird die Bodenfruchtbarkeit in Zukunft verstärkt durch organische Düngung und entsprechendes Bodenmanagement sichergestellt werden müssen. Diese Methoden werden bereits heute in der ökologischen Landwirtschaft praktiziert.

Die durch den Klimawandel zu erwartenden Umweltvariationen werden infolgedessen tendenziell verstärkt. Es ist fraglich, ob die traditionellen, auf Reinlinienzucht basierenden Sorten den Anforderungen noch gerecht werden können. Deutlich besser können solche Umweltvariationen durch genetisch vielfältige Pflanzenpopulationen abgepuffert werden.

Eine evolutionäre Pflanzenzucht mit dem Ziel, „moderne“ Landrassen zu entwickeln, kann eine Antwort auf die zu erwartenden Herausforderungen sein. Diese Sorten wären einheitlich für Abreife und Qualität, aber vielfältig für Eigenschaften die zur Flexibilität gegenüber einer variablen Umwelt notwendig sind, beispielsweise Resistenzen, Wasserbedarf, Kälte- und Hitzetoleranz, Nährstoffaneignungsvermögen, Konkurrenzkraft gegenüber Beikräutern, etc.

Sicherlich wird die traditionelle Pflanzenzucht nicht komplett durch eine evolutionäre Zucht ersetzt werden. Vielmehr kann hier synergistisch und komplementär gearbeitet werden. Allerdings bedarf es eines radikalen Umdenkens vor allem auch in der Gesetzgebung, um Zucht für Diversität überhaupt erst möglich zu machen, da diverse Sorten derzeit nicht registrierbar und damit nicht legal vermarktbar sind.

5 Literatur

- Allard, R.W. (1961): Relationship between genetic diversity and consistency of performance in different environments. *Crop Science* 1: 127-133
- Allard, R.W. (1990): The genetics of host-pathogen coevolution: Implications for genetic resource conservation. *Journal of Heredity* 81: 1-6
- Barkley, A.; Bowden, R.L.; Shroyer, J.P. (2006): Kansas wheat variety selection: Combining economics and agronomy to maximize profits and minimize risk. In:

Reaktionsmöglichkeiten auf den Klimawandel durch Pflanzenzüchtung

- Risk and Profit. 2006 Conference, August 17-18, Kansas State University Alumni Center, Manhattan, Kansas, 1-30
http://agmanager.net/events/risk_profit/2006/Papers/2-Barkley-Wheat%20Variety%20Selection.pdf
- Bellamy, P.H.; Loveland, P.L.; Bradley, R.I.; Lark, R.M.; Kirk, G.J.D. (2008): Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature* 437: 245-248
- Bowden, R.; Shroyer, J.; Roozeboom, K.; Claasen, M.; Evans, P.; Gordon, B.; Heer, B.; Janssen, K.; Long, J.; Martin, J.; Schlegel, A.; Sears, R.; Witt, M. (2001): Performance of wheat variety blends in Kansas. *Kansas State University Agricultural Extension Bulletin* 128: 1-6
www.oznet.ksu.edu/library/crpsl2/SRL128.pdf
- CCSP (2008): The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. A Report by the U.S. Climate Change Science Program (CCSP) and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
<http://www.sap43.ucar.edu/>
- Ceccarelli, S. (1989): Wide adaptation: how wide? *Euphytica* 40: 197-205
- Ceccarelli, S.; Grando, S.; Tutwiler R.; Baha, J.; Martini, A.M.; Salahieh, H.; Goodchild, A.; Michael, M. (2000): A methodological study on participatory plant breeding. I. Selection phase. *Euphytica* 111: 91-104
- Dawson, J.; Murphy, K.; Piaskowski, J.; Arteburn, M.; Lyon, S.; Balow, K.; Gollnick, M.; Jones, S. (2006): Increasing the diversity of wheat cultivars in Washington State (US). In: Ostergaard, H., Fontaine, L. (Eds.), *Proceedings of the COST SUSVAR workshop on Cereal Crop Diversity: Implications for Production and Products*, 13-14 June 2006, La Besse, France. Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB), Paris, France, 63-67
- Desclaux, D.; Hédont, M. (Eds.) (2006) : *Proceedings of the ECO-PB Workshop on Participatory Plant Breeding: Relevance for Organic Agriculture*. Domaine de la Besse (Camon, Ariège), France, 11-13 June 2006. Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB), Paris, France
- Desclaux, D.; Nolot, J.; Chiffolleau, Y.; Goze, E.; Leclerc, C. (2008) : Changes in the concept of genotype-environment interactions to fit agriculture diversification and decentralized participatory plant breeding: pluridisciplinary point of view. *Euphytica* 163: 533-546
<http://dx.doi.org/10.1007/s10681-008-9717-2>
- Dreisigacker, S.; Zhang, M.L.; Warburton, M. L.; Skovmand, B.; Hoisington, D.; Melchinger, A.E. (2005): Genetic diversity among and within CIMMYT wheat landrace accessions investigated with SSRs and implications for plant genetic resources management. *Crop Science* 45: 653-661

- Eberhart, S.A.; Russel, W.A. (1966): Stability parameters for comparing yield. *Crop Science* 6: 36-40
- Finckh, M.R.; Schulze-Schilddorf, G.; Butz, A.F.; Greiner, E.; Knape, C.; Lützkendorf, K.; Rabenstein, F. (2003): Interaktionen zwischen Anbaubedingungen, Pilzbefall, Backqualität und Mykotoxinbelastung in der ökologischen Weizenproduktion. Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn. <http://orgprints.org/5663/>
- Finckh, M.R.; Wolfe, M.S. (2006): Diversification strategies. In: Cooke, B.M., Jones, D., Gareth, D., Kaye, B. (Eds.), *The Epidemiology of Plant Disease*. Springer Verlag, Heidelberg/Berlin, 269-308
- Finckh, M.R. 2007.: Evolutionsverbot per Gesetz, oder: Die Konsequenzen der Verhinderung der Ko-Evolution in der Landwirtschaft. In B. Lange (Ed.), *Kant, das Prinzip "Vorsorge" und die Wiederentdeckung der "Allmende"*. Ergon Verlag, Würzburg, Germany. 109-120
- Finckh, M.R. (2008): Integration of breeding and technology into diversification strategies for disease control in modern agriculture. *European Journal of Plant Pathology* 120: 399-409
- Gacek, E.S.; Czembor, H.J.; Nadziak, J. (1996): Disease restriction, grain yield and its stability in winter barley cultivar mixtures. *Proceedings of the Third Workshop on Integrated Control of Cereal Mildews Across Europe*. Kappel a. Albis, Switzerland, 5-9 Nov. 1994. Office for Official Publications of the EC, Brussels, 185-190
- Ghaouti, L.; Vogt-Kaute, W.; Link, W. (2005): Entwicklung ökologischer Regionalsorten bei Ackerbohnen [Development of region-specific organic cultivars in faba bean]. In: Heß, J., Rahmann, G. (Hrg.), *Tagungsband 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau - Ende der Nische*, Kassel 1.-4.3.2005. Kassel University press, Kassel, 61-62
- Goldringer, I.; Enjalbert, J.; Raquin, A.-L.; Brabant, P (2001): Strong selection in wheat populations during ten generations of dynamic management. *Genetics, Selection and Evolution* 33: 441-463
- Goldringer, I.; Prouin, C.; Rousset, M.; Galic, N.; Bonnin, I. (2006): Rapid differentiation of experimental populations of wheat for heading-time in response to local climatic conditions. *Annals of Botany* 98: 805-817
- Hammer, K.; Teklu, Y. (2006): Erhaltungsstrategien pflanzengenetischer Ressourcen - die PGR-Bewegung, und was dann? *Vorträge für Pflanzenzüchtung* 70: 7-15
- Harlan, H.V. Martini, M.L. (1929): A composite hybrid mixture. *Journal of the American Society of Agronomy* 21: 487-490.
- Jarvis, D.I.; Brown, A.H.D.; Imbruce, V.; Ochoa, J.; Sadiki, M.; Karamura, E.; Trutman, P.; Finckh, M.R. (2007): Managing Crop Disease in Traditional Agroecosystems: the Benefits and Hazards of Genetic Diversity. In: Jarvis, D.I., Pa-

Reaktionsmöglichkeiten auf den Klimawandel durch Pflanzenzüchtung

- doch, C., Cooper, H.D. (Eds.), *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. Columbia University Press, New York, 292-319
- Jensen, N.F. (1978): Composite breeding methods and DSM System in Cereals. *Crop Science* 18: 622-626
- Knott, E.A.; Mundt, C.C. (1990): Mixing ability analysis of wheat cultivar mixtures under diseased and non-diseased conditions. *Theoretical and Applied Genetics* 80: 313-320
- Köppen, D. (2004): *Bodenfruchtbarkeit im Agrarökosystem*. Verlag Dr. Kovač, Hamburg
- Köppen, D. (2005): Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit. In: Frangenberg, A. (Ed.), *Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit*. Institut für Landwirtschaft und Umwelt, Bonn, 31-50
- Lammerts van Bueren, E.; Ostergaard, H.; Goldringer, I.; Scholten, O. (2008): Plant breeding for organic and sustainable, low-input agriculture: dealing with genotype-environment interactions. *Euphytica* 163: 321-322
<http://dx.doi.org/10.1007/s10681-008-9731-4>
- Louwaars N. (2007): *Seeds of Confusion. The impact of policies on seed systems*. PhD dissertation, Wageningen, The Netherlands ISBN 978-90-8504-793-3, <http://library.wur.nl/WebQuery/catalog/lang/1858396>
- Kloppenborg, J.R. (2004): *First the Seed. The Political Economy of Plant Biotechnology*, Madison, Wisconsin: The University of Wisconsin Press, 2004.
- Mundt, C.C. (2002): Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annual Review of Phytopathology* 40: 381-410
- Murphy, K.; Lammer, D.; Lyon, S.; Brady, C.; Jones, S.S. (2005): Breeding for organic and low-input farming systems: An evolutionary-participatory breeding method for inbred cereal grains. *Renewable Agriculture and Food Systems* 20: 48-55
- Paillard, S.; Goldringer, I.; Enjalbert, J.; Doussinault, G.; de Vallavieille-Pope, C.; Brabant, P. (2000): Evolution of resistance against powdery mildew in winter wheat populations conducted under dynamic management. I - Is specific resistance selected? *Theoretical and Applied Genetics* 101: 449-456
- Parzies, H.K. (2004): Evolutionsramsche als ein Instrument zur "in-situ-Konservierung" genetischer Variabilität von Kulturpflanzen. In: VERN (Hrg.) *On-farm-Erhaltung genetischer Ressourcen von Getreide und Ölpflanzen. Beispiele, Methoden, Ergebnisse*. Tagungsband, 4.-5.11.2004, Hohenheim. Verein zur Erhaltung und Rekultivierung von Nutzpflanzen in Brandenburg, e.V. (VERN), 45-51
- Phillips, S.L.; Wolfe, M.S. (2005): Evolutionary plant breeding for low input systems. *Journal of Agricultural Science* 143: 245-254

- Potthoff, M. (1999): Synchronisation des Stoffkreislaufs durch Förderung bodenbiologischer Prozesse im Ackerbau. Dissertation, Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen
- Przystalski, M.; Osman, A.; Thiemt, E.; Rolland, B.; Ericson, L.; Ostergaard, H.; Levy, L.; Wolfe, M.; Büchse, A.; Piepho, H. P.; Krajewski, P. (2008): Comparing the performance of cereal varieties in organic and non-organic cropping systems in different European countries. *Euphytica* 163: 417-433
<http://dx.doi.org/10.1007/s10681-008-9715-4>
- Qualset, C.O. (1968): Population structure and performance in wheat. In: Finlay, K.W., Shepherd, K.W. (Eds.) Proceedings of the Third international wheat genetics symposium, 5-9 August 1968. Australian Academy of Science, Butterworth, Canberra, 397-402
- Raquin, A.L.; Depaulis, F.; Lambert, A.; Galic, N.; Brabant, P.; Goldringer, I. (2008): Experimental estimation of mutation rates in a wheat population with a gene genealogy approach. *Genetics* 179: 2195-2211
<http://www.genetics.org/cgi/content/abstract/179/4/2195>
- Sperling, L.; Loevinsohn, M. E.; Ntabomvura, B. (1993): Rethinking the farmer's role in plant breeding: Local bean experts and on-station selection in Rwanda. *Experimental Agriculture* 29: 509-519
- Stange, K.; Wolfe, M.S.; Finckh, M.R. (2006): Diversity and evolutionary changes in a wheat composite cross as assessed by resistance frequencies and morphological parameters. In: H. Ostergaard and L. Fontaine (eds), Proceedings of the COST SUSVAR workshop on Cereal Crop Diversity: Implications for Production and Products, 13-14 June 2006, La Besse, France. Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB), Paris, France, 70-74
- Steffan, P. (2008): Phenotypic diversity and heterozygosity in the F5 of three wheat composite cross populations. MSc Thesis, University of Kassel
- Suneson, C.A. (1956): An evolutionary plant breeding method. *Agronomy Journal* 48: 188-191
- Vilich, V.; Sikora, R.A. (1996): Diversity in Soilborne Microbial Communities - A Tool for Biological System Management of Root Health. In: Boland, G.J., Kuykendall, D. (Eds.) Plant-Microbe Interactions and Biological Control, Marcel Dekker Inc., New York, 1-14
- Weller, D.M.; Raaijmakers, J.M.; McSpadden Gardener, B.B.; Tomashow, L.S. (2002): Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 40: 309-348
- Wolfe, M.S.; Hinchcliffe, K.E.; Clarke, S.M.; Jones, H.; Haigh, Z.; Snape, J.; Fish L. (2006): Evolutionary breeding of wheat . In: H. Ostergaard and L. Fontaine (eds), Proceedings of the COST SUSVAR workshop on Cereal Crop Diversity: Implications for Production and Products, 13-14 June 2006, La Besse,

Reaktionsmöglichkeiten auf den Klimawandel durch Pflanzenzüchtung

France.. Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB), Paris, France, 77-80

Wolfe, M.; Baresel, J.; Desclaux, D.; Goldringer, I.; Hoad, S.; Kovacs, G.; Löschenberger, F.; Miedaner, T.; Ostergaard, H.; Lammerts van Bueren, E. (2008): Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* 163: 323-346 <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-008-9690-9>

Wolfe, M.S. (1992): Barley diseases: Maintaining the value of our varieties. In: Munk, L. (Ed.), *Barley Genetics VI*. Munksgaard International Publishers Ltd., Copenhagen, 1055-1067