



Prolog

1 Einleitung

Ein grundlegendes Recht für alle Menschen ist der Zugang zu genügend, sicheren und nahrhaften Lebensmitteln (UN, 2010). Gleichzeitig wird ein Anstieg der Weltbevölkerung prognostiziert (UN, 2012), weswegen ein zunehmender Bedarf an Nahrungsmitteln erwartet wird (Dyson, 1999; Johnson, 1999). Um zukünftig die Ernährung der Weltbevölkerung zu sichern, müssen somit immer mehr Nahrungsmittel produziert werden. Dies könnte durch eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktionsflächen erreicht werden. Das ist jedoch kaum möglich, da weltweit die landwirtschaftliche Fläche begrenzt ist und bereits weitestgehend genutzt wird (Mifflin, 2000). Daher kann die Erntemenge nur erhöht werden, indem zukünftig die Produktivität der Fläche gesteigert wird. Dafür gibt es drei grundlegende Ansätze: Diese umfassen neben der Verbesserung des Anbaumanagements und der Reduzierung der Ernteverluste, besonders in Entwicklungsländern, vor allen Dingen auch eine züchterische Erhöhung des Ertragspotentials der Kulturarten (Meyer et al., 2013). In der Vergangenheit wurden im Durchschnitt der landwirtschaftlichen Kulturarten etwa 1 bis 2 % Ertragssteigerung pro Jahr realisiert (Ewert et al., 2005; Becker, 2011; Foley et al., 2011).

In Mitteleuropa zeichnet sich die Zuckerrübe im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturarten durch eine besonders hohe Produktivität pro Flächeneinheit aus (Hoffmann und Stockfisch, 2010). Daher ist die Zuckerrübe geradezu prädestiniert, einen wichtigen Teil zur Versorgung der Weltbevölkerung mit pflanzlicher Biomasse für Lebens- und Futtermittel sowie erneuerbarer Energie beizutragen. Jedoch sehen sich die zucker-rübenanbauenden Betriebe, Zuckerrübenzüchter und Zuckerindustrie in Mitteleuropa damit konfrontiert, dass die Zuckermarktordnung 2017 auslaufen wird (WVZ, 2013). Dies betrifft zum einen die Wettbewerbsfähigkeit auf nationaler und regionaler Ebene gegenüber Konkurrenzfrüchten wie Raps, Mais und Getreide und zum anderen die internationale Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Zuckerproduktion aus Zuckerrohr.

Um die zukünftigen Herausforderungen zu bewältigen, ist es notwendig, die Erträge von Zuckerrüben weiter zu erhöhen. Daher soll in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung des Ertragspotentials von Zuckerrüben zunächst rückblickend untersucht werden. Dazu wird der Zuchtfortschritt, welcher ein wichtiger Faktor für den Ertragsanstieg von Zuckerrüben



war, analysiert. Ferner soll untersucht werden, was die Gründe für den Zuchtfortschritt waren, d. h. welche Merkmale züchterisch verändert wurden und so zum Zuchtfortschritt beitrugen. Für die Zukunft verspricht die Züchtung von Winterrüben eine deutliche Ertragssteigerung und würde somit einen erheblichen Anstieg im Zuchtfortschritt zur Folge haben. Bei der Züchtung von Winterrüben müssen jedoch noch Probleme wie Schossfestigkeit und Frosttoleranz gelöst werden. Im zweiten Teil der Arbeit werden daher Aspekte der Winterhärte von Zuckerrüben näher betrachtet und Lösungswege aufgezeigt. Abschließend soll das Leistungspotential von Winterrüben, welches die Grundlage für die Einführung dieses Anbausystems ist, bewertet werden. Dabei wird im Besonderen die Eignung von geschossten Winterrüben als Substrat für die Biogasproduktion betrachtet.

2 Ertragssteigerung und Zuchtfortschritt

Damit die Zuckererzeugung aus Rüben auch weiterhin wettbewerbsfähig ist, müssen alle Akteure der Wertschöpfungskette gemeinsam daran arbeiten, den Zuckerrübenanbau sowie die Verarbeitung effizient zu gestalten und nachhaltig zu verbessern. Um dies zu erreichen, gibt es Ansatzpunkte zur Optimierung der Verarbeitungsprozesse in der Zuckerfabrik (Zuckerindustrie) und ferner zur Verbesserung der Rohstoffproduktion (Rübe) auf dem Feld durch den Anbau und die Züchtung. Die Verarbeitungsprozesse in der Fabrik wurden in den letzten Jahren erheblich verbessert, um Ressourcen (Energie, Wasser) bei der Zuckergewinnung effizient zu nutzen und Emissionen (CO₂) zu minimieren (WVZ, 2001). Aber auch die Rohstoffproduktion wurde kontinuierlich verbessert, wie an den steigenden Erträgen im Verlauf der Jahre deutlich wird (Jaggard et al., 2012).

2.1 Ertragssteigerung im Zuckerrübenanbau

Bei Zuckerrüben ist der relative Ertragsanstieg mit 2,2 % a⁻¹ im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturarten eher gering (Tab. 1). In Deutschland wiesen Zuckerrüben sogar den geringsten Ertragsanstieg aller wichtigen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen auf. Auch weltweit sind nur die Erträge von Gerste, Kartoffeln und der direkten Konkurrenzfrucht Zuckerrohr weniger stark angestiegen als die der Zuckerrübe. Um den Ertrag zukünftig weiter zu steigern, ist es notwendig, die Ursachen der Ertragssteigerung zu kennen.

Tab. 1: Relativer Ertragsanstieg landwirtschaftlicher Kulturarten in der Welt und in Deutschland von 1961 - 2012, 1961 = 100 %, eigene Berechnung aus Daten der FAO (2013).

Kulturart	Relativer Ertragsanstieg (% a ⁻¹)	
	Welt	Deutschland
Gerste	1,8	2,9
Kartoffeln	0,9	3,0
Mais	3,3	4,4
Raps	4,7	2,5
Reis	2,8	
Roggen	2,4	3,2
Sojabohnen	2,3	
Weizen	3,7	3,4
Zuckerrohr	0,9	
Zuckerrüben	2,2	2,2

Die Ertragssteigerung landwirtschaftlicher Kulturarten kann durch verschiedene Faktoren erreicht werden (Abb. 1). Das Klima wirkt sich durch die Veränderung der Wachstumsfaktoren Licht, Temperatur, Niederschlag sowie des CO₂-Partialdruckes der Luft auf die Ertragsbildung aus (Long et al., 2004; Diepenbrock et al., 2009), kann jedoch nicht direkt beeinflusst werden. Weitere wichtige Faktoren sind das Anbaumanagement und die Züchtung, welche hingegen unmittelbar anthropogen beeinflussbar sind. Das Anbaumanagement im Zuckerrübenanbau ist in Deutschland bereits sehr gut. Die Energiebilanz (Reineke et al., 2013), die Ökoeffizienz (Wießner et al., 2010) sowie die effiziente Nutzung von Ressourcen (Hoffmann und Stockfisch, 2010) im Zuckerrübenanbau sind bereits auf einem hohen Niveau, so dass keine grundlegenden Verbesserungen mehr zu erwartet sind. Das bedeutet, dass in der Zukunft die Möglichkeiten, den Zuckerrübenanbau zu verbessern, vermutlich immer kleiner werden. Daher wird die Züchtung höchstwahrscheinlich weiterhin eine wichtige Rolle als Triebkraft für den biologisch-technischen Fortschritt in der Zuckerrübenproduktion spielen.

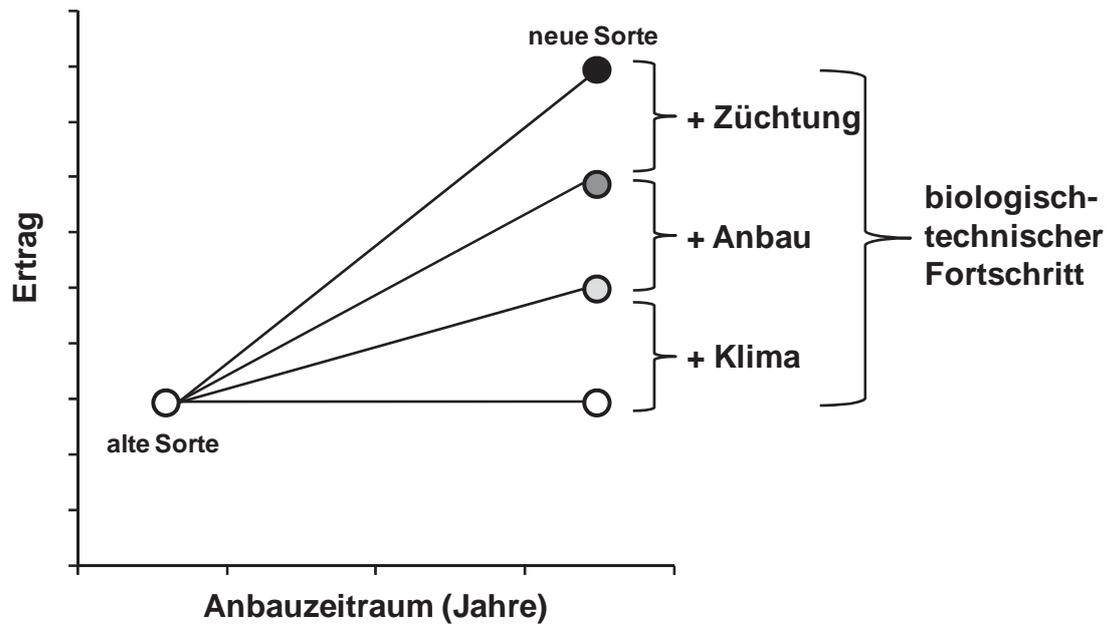


Abb. 1: Einflussfaktoren auf den biologisch-technischen Fortschritt von Zuckerrüben, (verändert nach Evans, 1993).

2.2 Zuchtfortschritt: Begriffserklärung und Definition

Der Begriff Zuchtfortschritt wird in der Pflanzenzüchtung oft als Selektionserfolg oder Selektionsgewinn beschrieben. Fischbeck et al. (1985) bezeichneten die Differenz zwischen dem phänotypischen Gesamtmittel der Elterngeneration und dem der selektierten Nachkommen als Selektionsgewinn. Nach Becker (2011) ist der Selektionserfolg die Änderung des Mittelwertes einer Population in eine gewünschte Richtung. Der Zuchtfortschritt kann sich demnach in allen wertbestimmenden Pflanzeigenschaften, wie z. B. Ertrag, Ertragsstabilität, Qualität sowie Resistenz und Toleranz gegenüber abiotischem und biotischem Stress widerspiegeln. Die Betrachtungsebene für den Zuchtfortschritt landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ist jedoch eher der Ertrag, obwohl Resistenzen und Toleranzen einen erheblichen Anteil am Zuchtfortschritt haben. Zur Veranschaulichung des Zuchtfortschrittes wird daher oft das Ertragspotential herangezogen. Letzteres ist definiert als der Ertrag einer Sorte, die in einer Umwelt angebaut wird, an die sie adaptiert ist, ohne Limitierung durch Wasser- oder Nährstoffmangel, bei gleichzeitiger effektiver Kontrolle von Schädlingen, Krankheiten, Unkraut und anderen Stressfaktoren (Evans, 1993). Daher kann die Erhöhung oder Steigerung des Ertragspotentials einer Kulturart als Zuchtfortschritt bezeichnet werden.



Neben einer Erhöhung des Ertragspotentials tragen Toleranzen und Resistenzen zum Zuchtfortschritt bei. Die Erfassung des Anteils von Resistenzen und Toleranzen auf den Zuchtfortschritt ist im Vergleich zum Ertragspotential jedoch schwierig. Bei einer monogenen Resistenz, wie z. B. Rizomaniatoleranz in Zuckerrüben (Holly-Resistenz) (Scholten und Lange, 2000), ist es mit Hilfe von Markern relativ einfach, das Gen in eine anfällige Sorte zu übertragen und anschließend die Leistung der resistenten und anfälligen Sorte bei Befall zu vergleichen. Bei Resistenzen, die auf mehreren Genen beruhen (polygen), wie z. B. Cercospora (Weiland und Koch, 2004), ist ein solcher Vergleich hingegen kaum oder nur sehr schwer realisierbar. Außerdem treten einige der Krankheiten häufig nur lokal begrenzt auf dem Feld auf und können zudem durch chemische Pflanzenschutzmaßnahmen gut reguliert werden, z. B. Cercospora (Weiland und Koch, 2004). Dies erschwert die Abschätzung des züchterischen Fortschritts in Bezug auf Resistenzen und Toleranzen gegen diese Krankheiten zusätzlich. In dieser Arbeit soll daher hauptsächlich der Ertrag als Indikator für Zuchtfortschritt herangezogen werden.

2.3 Zuchtfortschritt bei Zuckerrüben

Um den Zuchtfortschritt einer landwirtschaftlichen Kulturart zu erfassen, gibt es unterschiedliche Herangehensweisen. So können Ergebnisse aus Sortenprüfungen und Zulassungsverfahren ausgewertet werden, ferner können statistische Analysen auf Grundlage von Primärdaten, sogenannte Metaanalysen, durchgeführt werden. Der versuchstechnische Ansatz ist die aufwendigste Methode zur Bestimmung des Zuchtfortschrittes.

Bei Zuckerrüben wurde die Leistung neu zugelassener Sorten aus den offiziellen Sortenprüfungen über mehrere Jahre miteinander verglichen, um den Ertragsanstieg zu erfassen (Märländer et al., 2003). Bei dieser Betrachtung können jedoch weder die Wirkung sich verändernder Umwelteinflüsse (z. B. Klimawandel) noch Verbesserungen im Anbaumanagement auf den Ertrag ausgeschlossen werden. Selbst wenn das Anbaumanagement über viele Jahre unverändert bliebe, was kaum möglich und sinnvoll ist, so bleibt immer noch der Einfluss einer Klimaänderung bestehen, der zum Ertragsanstieg beitragen kann (Jaggard et al., 2007).

Eine andere Möglichkeit wäre der parallele Anbau einer Referenzsorte über mehrere Jahre und der Vergleich der Leistung der neuen Sorten dazu (Dixon und McCullagh, 1993; Scott und Jaggard, 2000). Hierbei kann der Einfluss sich verändernder Umweltbedingungen durch die Relativierung zur Leistung der Referenzsorte ausgeklammert werden. Obwohl



die Studie von Dixon und McCullagh (1993) immerhin einen Zeitraum von 10 Jahren umfasst, wäre eine längere Betrachtung des Zuchtfortschrittes wünschenswert, da die Fortschritte in der Zuckerrübenzüchtung in Abhängigkeit vom jeweiligen Zeitraum unterschiedlich groß waren (Zimmermann und Zeddies, 2000).

Anhand einer Metaanalyse auf der Grundlage eines Ertragsmodells für Zuckerrüben ("Broom's Barn Crop Growth Model", Qi et al., 2005), welches zur Prognose der jährlichen Ernteerträge auf der Basis von Witterungs- und Wachstumsdaten dient, haben Jaggard et al. (2007) den Einfluss von Aussaatzeitpunkt (12 %) und Klima (56 %) auf den Ertragsanstieg zwischen 1976 und 2004 rückwirkend berechnet. Sie konnten jedoch nicht die restlichen Einflussgrößen (32 %) wie Zuchtfortschritt, Anbaumanagement oder Anstieg des CO₂-Gehaltes voneinander trennen, so dass auch hier keine genaue Aussage zur Höhe des Zuchtfortschrittes möglich war.

Modelle zur Simulation der Ertragsbildung können ferner verwendet werden, um den zukünftigen Verlauf des Ertragsanstiegs, basierend auf Klimaprognosen, vorherzusagen. Wenn die aktuellen Klimaprognosen sehr genau zutreffen würden, dann wäre eine Prognose des Ertragsanstieges möglich. Der mögliche Zuchtfortschritt könnte jedoch auch dann nicht prognostiziert werden, da hierfür Informationen über die weitere Entwicklung des Ertragspotentials der Sorten notwendig wären.

Um den Zuchtfortschritt landwirtschaftlicher Kulturarten zu analysieren, kann nur ein versuchstechnischer Ansatz verwendet werden, bei dem Sorten unterschiedlicher Zulassungsjahre zusammen in einer Umwelt angebaut werden. Für Zuckerrüben führte Koch (2006) Versuche durch, in denen er neun Sorten verschiedener Zulassungsjahre (1966 - 2005) nebeneinander im Feldversuch an fünf Standorten angebaut und deren Leistung verglichen hat. Jedoch wurden bei diesen Versuchen nur Sorten eines Züchterhauses einbezogen, so dass die Ergebnisse nur bedingt verallgemeinert werden können. Daher ist es notwendig, Versuche durchzuführen, bei denen Sorten verschiedener Züchterhäuser einbezogen werden, um den Zuchtfortschritt bei Zuckerrüben bewerten zu können. Außerdem ist es erforderlich, die Ursachen des Zuchtfortschrittes zu ermitteln, um zu klären, welche Merkmale durch Selektion verändert wurden und so zum Zuchtfortschritt beitragen. Dies ist die Voraussetzung dafür, mögliche Ansatzpunkte für die zukünftige züchterische Verbesserung von Zuckerrüben zu identifizieren. Für Zuckerrüben wurde dies bisher noch nicht auf der Grundlage von Versuchen über mehrere Jahrzehnte durchgeführt.



2.4 Schwierigkeiten bei der Erfassung des Zuchtfortschrittes

Bei der Untersuchung des Zuchtfortschrittes durch den gleichzeitigen Anbau alter und neuer Sorten kann es jedoch Probleme geben, denn ein versuchstechnischer Ansatz ist nicht immer bei allen landwirtschaftlichen Kulturarten realisierbar. Grund dafür sind die unterschiedlichen Formen der Erhaltungszüchtung, die kulturartspezifisch angewendet werden. Bei Kartoffeln ist der parallele Anbau von alten und neuen Sorten relativ leicht möglich, da die Kartoffel als Klonsorte gezüchtet und dann vegetativ vermehrt wird. Dadurch ist es relativ einfach, alte Sorten dauerhaft zu erhalten. Bei der Populationszüchtung (z. B. Roggen) ist es dagegen unmöglich, 100 %ig identische Sorten zu erhalten, wenn die Population sehr klein ist, da sich hier die Genetik permanent verändert und sich dadurch an sich verändernde Umweltbedingungen anpassen kann. Demgegenüber sind größere Populationen genetisch stabil, so dass sie über einen längeren Zeitraum unverändert erhalten werden können. Bei Weizen, der als Selbstbefruchter hauptsächlich als Linien gezüchtet wird, gestaltet sich die Erhaltungszüchtung problematisch. Der dauerhafte Erhalt von Linien ist schwierig, da es zu Vermischungen, Mutationen und Aufspaltungen kommen kann. Außerdem ist es möglich, dass bei der Vermehrung der Linien einzelne Gene eliminiert werden, so dass die vermehrten Linien nicht mehr 100 %ig mit der Ausgangslinie übereinstimmen. Daher verwenden einige Züchter besonders bei Sorten mit hoher Verbreitung einen ähnlich hohen Anteil ihrer Ressourcen auf die Erhaltungszüchtung wie auf die Neuzüchtung (Becker, 2011). Noch schwieriger als bei der Linienzüchtung verhält es sich bei der Hybridzüchtung (z. B. Mais), bei der mehrere Linien, die dann zur Hybride gekreuzt werden, parallel erhalten werden müssen.

Zuckerrübensorten sind heutzutage ausschließlich Drei- oder Mehrwegehybriden (Märländer et al., 2011). Das bedeutet, dass zu ihrer Erhaltung drei Linien parallel weitergeführt und erhalten werden müssen, wofür ein hoher Aufwand notwendig ist. Die in der vorliegenden Arbeit einbezogenen Sorten sind aus dem Zulassungszeitraum 1964 bis 2003 und damit teilweise sehr alt. Viele dieser Sorten stammen auch noch aus alter Vermehrung. Alte Sorten, besonders die vor 1980 zugelassenen, wurden jedoch später noch einmal neu vermehrt. Auch hier wäre es theoretisch möglich, dass diese Sorten nicht 100 %ig mit den Ausgangssorten übereinstimmen. Da die alten Sorten jedoch nur einmal zusätzlich vermehrt wurden, sind die genetischen Unterschiede zur ursprünglichen Sorte vermutlich sehr gering. Die Bereitstellung dieser alten Sorten war nur für diese wissenschaftliche Versuchsreihe möglich und ist daher als besonders einzigartig einzustufen.



2.5 Zuchtfortschritt bei ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturarten

Für einige landwirtschaftliche Kulturarten wurde der Zuchtfortschritt wissenschaftlich untersucht. Im Folgenden werden daher der Zuchtfortschritt sowie die Ursachen des Zuchtfortschrittes von ausgewählten Kulturarten dargestellt, um eine Vorstellung davon zu bekommen, was die Grundlagen für den Zuchtfortschritt bei Zuckerrüben sein könnten.

2.5.1 Weizen

Shearman et al. (2005) berechneten bei Weizen in einer Versuchsreihe mit 8 Sorten des Zulassungszeitraums 1972 - 1995 einen Zuchtfortschritt von $1,2 \% a^{-1}$. Geringere Werte von $0,3 \% a^{-1}$ im Zeitraum 1979 - 2008 und $0,6 \% a^{-1}$ im Zeitraum 1989 - 2008 beschrieben Fischer und Edmeades (2010). Für Sommerweizen und Durum gab Fischer (2007) eine Erhöhung des Ertragspotentials von $0,4$ bzw. $0,5 \% a^{-1}$ an. Dieser Ertragsanstieg beim Weizen ist hauptsächlich auf einen erhöhten Harvest-Index durch Verlagerung der Assimilate vom Halm hin zur Ähre zurückzuführen (erhöhtes Korn/Stroh-Verhältnis) (Zhou et al., 2007; Reynolds et al., 2009). Das heißt, neue Weizensorten bilden im Verhältnis weniger Stroh und mehr Korn als ältere Sorten. Diese Änderung führte außerdem zu einer Stabilisierung der Weizenenerträge, da Sorten mit kürzerem Stroh weniger anfällig für Lagerbildung sind und eine bessere Stickstoffnutzung aufweisen (Brancourt-Hulmel et al., 2003). Außerdem waren eine Verlängerung der Wachstumsperiode, die Steigerung der Lichtnutzungseffizienz und eine Erhöhung der Sink-Kapazität weitere Ursachen für den Zuchtfortschritt bei Weizen (Richards, 2000; Reynolds et al., 2005; Miralles und Slafer, 2007).

Jedoch deutet sich an, dass die Weizenenerträge nicht weiter erhöht werden können (Brisson et al., 2010). Der Zuchtfortschritt bei Weizen scheint zu stagnieren bzw. spiegelt sich zumindest nicht in steigenden Erträgen wider. Ein Grund dafür könnte sein, dass eine weitere Erhöhung des Harvest-Index limitiert ist. Austin (1999) sowie Miralles und Slafer (2007) gaben an, dass bei einem Harvest-Index über $0,5$ die Stabilität des Halmes sowie die Lichtinterzeption der Blattfläche sinken.

Die deutlich niedrigeren Werte von $0,3$ bis $0,6 \% a^{-1}$ von Fischer und Edmeades (2010) im Vergleich zu den $1,2 \% a^{-1}$ von Shearman et al. (2005) sind vermutlich bedingt durch den jeweiligen Zeitraum, auf den sich der Zuchtfortschritt bezieht. In die Versuche von Shearman et al. (2005) ist als älteste Sorte (Zulassung 1972) eine Sorte einbezogen, die



keine Gene für Zwergwuchs (*dwarf-genes*) hatte, so dass die Differenz und Variation zu den neueren Sorten wahrscheinlich darauf zurückzuführen sind. Dies bedeutet, dass der höhere züchterische Fortschritt in der Auswertung von Shearman et al. (2005) vorrangig ein Resultat der Auswahl der Sorten war, insbesondere der ältesten Sorte und damit des betrachteten Zeitraums.

Weiterhin ist es denkbar, dass durch die zunehmende Integration von Resistenzen und Toleranzen aus Wildformen in aktuelle, leistungsstarke Sorten zwar der Ertragsanstieg gebremst war, jedoch die Ertragsstabilität deutlich erhöht wurde (Wilson und Gates, 1999). Auch dies ist als deutlicher Zuchtfortschritt zu betrachten, vor allem vor dem Hintergrund der prognostizierten Klimaänderungen.

2.5.2 Mais

Für Mais geben Fischer und Edmeades (2010) einen Zuchtfortschritt von $1\% a^{-1}$ zwischen 1990 und 2008 an. Dieser wurde hauptsächlich durch eine verbesserte Stresstoleranz, zum Beispiel gegen Kälte- und Trockenstress, erreicht (Bolanos und Edmeades, 1996; Tollenaar und Wu, 1999). Außerdem deutet sich an, dass eine Veränderung der Architektur des Wurzelsystems hin zu einem tiefer wurzelnden, mehr elliptischen System aufgrund der verbesserten Wasserversorgung ein Faktor für die Ertragssteigerung im Mais sein könnte, während eine Veränderung der Blattstellung (erektrophil, planophil) und damit die potentielle Verbesserung der Lichinterzeption wahrscheinlich keine Auswirkung auf den Ertrag hatte (Hammer et al., 2009).

2.5.3 Kartoffel

Bei Kartoffeln ist die Erfassung des Zuchtfortschrittes allein über den Ertrag oft nicht ausreichend, da die Verarbeitungsqualität eine überdurchschnittlich hohe Bedeutung hat (Douches et al., 1996). Kartoffelsorten werden bezüglich ihres Verwendungszwecks eingeteilt in Speisekartoffel, Veredlungskartoffel (Pommes, Kartoffelchips), Wirtschaftskartoffel (Nutzung in der Industrie als Stärkekartoffel), Futterkartoffel und Pflanzkartoffel, mit jeweils sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Qualität. Daher ist die Bestimmung des Zuchtfortschrittes nur für Sorten des gleichen Verwendungszwecks möglich. Eine allgemeine Aussage zum Zuchtfortschritt der Kulturpflanze Kartoffel kann demnach nicht getroffen werden.



2.5.4 Zuckerrohr

Für Zuckerrohr gibt Jackson (2005) einen Zuchtfortschritt von $0,75 \% a^{-1}$ an, der hauptsächlich auf den Anstieg des Ertrages und weniger auf die Erhöhung des Zuckergehaltes zurückzuführen ist. Er geht daher davon aus, dass es zukünftig möglich sein wird, den Zuchtfortschritt bei Zuckerrohr durch einen höheren Selektionsdruck auf den Zuckergehalt weiter zu steigern. Allerdings deutet es sich an, dass die beste Genkombination für einen maximalen Zuckergehalt bereits in den aktuellen Sorten fixiert ist (Jackson, 2005). Das würde bedeuten, dass auch eine Intensivierung der Züchtung auf Sorten mit hohem Zuckergehalt keine weitere Verbesserung bringt. Wenn dies zutrifft, könnte nur durch eine Introgression neuer Gene aus einem Genpool außerhalb der derzeitigen Zuchtprogramme (z. B. *Saccharum spontaneum*) neue genetische Variabilität im Merkmal Zuckergehalt generiert werden (Jackson, 2005).

2.6 Ziele der Arbeit - Zuchtfortschritt

Für Zuckerrüben wurden bisher erst wenige wissenschaftliche Versuche durchgeführt, um den Zuchtfortschritt zu analysieren. Insbesondere gibt es kaum Informationen über die Ursachen des Zuchtfortschrittes bei Zuckerrüben. In dieser Arbeit soll daher empirisch untersucht werden, wie hoch der Zuchtfortschritt von Zuckerrüben in den letzten Jahrzehnten war. Außerdem soll analysiert werden, was die Ursachen für diesen Zuchtfortschritt waren, d. h. welche physiologischen Merkmale bei Zuckerrüben züchterisch verändert wurden, um höhere Erträge zu erzielen. Um den Zuchtfortschritt zukünftig aufrechtzuerhalten oder sogar weiterhin zu steigern, ist es notwendig, die physiologischen Grundlagen, auf denen der bisherige Zuchtfortschritt basierte, zu kennen. Dadurch ist es möglich, Ansatzpunkte zu identifizieren, um die züchterische Verbesserung der Zuckerrübe auch zukünftig gewährleisten zu können.

Nachdem der Zuchtfortschritt im ersten Teil der Arbeit analysiert wurde, werden im zweiten Teil zukünftige Möglichkeiten der Ertragssteigerung und damit einhergehende Herausforderungen erläutert. Daher widmet sich der zweite Teil der Arbeit dem Anbau von Zuckerrüben als Winterrüben und im Speziellen den Mechanismen der Winterhärte von Zuckerrüben.