1. Einleitung

1.1 Zuckerrübenanbau in Deutschland

Im Jahr 2011 wurden in Deutschland auf rund 400.000 ha Zuckerrüben angebaut (EUROSTAT, 2012). Dies entspricht einer landwirtschaftlichen Nutzfläche von ca. 2,5%. In den letzten Jahren wurden rund 10t Zucker pro ha bei einem durchschnittlichen Zuckergehalt von 17,7% erzeugt (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER, 2012). Mit der Reform der Zuckermarktordnung (ZMO) im Jahr 2006 als Teil der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union (EU) wurde die Zuckerproduktion in Europa um 30% gesenkt. Grund für die Reform war der Protest einzelner Mitgliedsstaaten der Welthandelsorganisation (WHO) im Hinblick auf eine Liberalisierung des europäischen Marktes. Durch die Reform sollte ein Marktgleichgewicht eingestellt werden, welches u.a. durch die Einstellung der Produktion auf weniger effizienten Standorten, die Erhöhung der Effizienz der heimischen Erzeugung sowie die Möglichkeit für am wenigsten entwickelte Länder, zusätzlich Zucker zu importieren, vorsah. Für die europäischen Zuckerrübenanbauer, deren Anzahl von 290.000 vor der Reform auf 164.000 nach der Reform zurückging (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER, 2012), bedeutete die Reform einen festgelegten Mindestpreis für Quotenzuckerrüben, dessen Niveau um 40% niedriger gegenüber dem Preis vor der Reform liegt. Durch die Reform wurden 44% aller europäischen Zuckerfabriken geschlossen und der Selbstversorgungsgrad innerhalb der EU sank von 115% auf 85%. Die EU wurde damit vom zweitgrößten Nettoexporteur zu einem der größten Nettoimporteure (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER, 2012). Trotz der Reform hat die Zuckerrübe noch immer eine große Bedeutung nicht nur im Hinblick auf die monetäre Wertschöpfung, sondern auch innerhalb der Fruchtfolge. Weiterhin ergeben sich neue Nutzungspotentiale bei der Erzeugung von Biogas oder Bioethanol.

OERKE und DEHNE (2004) untersuchten die Auswirkungen des Auftretens von Krankheitserregern auf Ertragsverluste verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Für den Anbau von Zuckerrüben kann von einem Verlust von 26-30% durch einen Befall mit Schaderregern und trotz eines Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln ausgegangen

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

werden. Durch das Auftreten von Viruskrankheiten, wie beispielsweise Rizomania oder Blattlaus-übertragbaren Viren, an Zuckerrüben treten weltweit Verluste von 6-7% trotz Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf. Dies macht Forschung notwendig, um Ertragsverluste zu reduzieren und die Anbauwürdigkeit der Zuckerrübe sowie die Zuckerproduktion zu sichern.

1.2 Landwirtschaft unter sich ändernden Klimabedingungen

1.2.1 Klimawandel

Der Begriff des Klimawandels wird häufig gleichbedeutend zum Begriff der globalen Erwärmung verwendet. Der Klimawandel sollte allerdings als Folge der globalen Erwärmung verstanden werden und hat vor allem in der Politik als feststehender Begriff in den letzten Jahren große Bedeutung erlangt. Globale Erwärmung wird durch einen Anstieg der Treibhausgasemissionen und der damit verbundenen Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes verursacht. Zu den klimarelevanten Treibhausgasen zählen neben dem Kohlendioxid (CO_2) u.a. Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) (RAHMSTORF und SCHELLNHUBER, 2006). PITESKY et al. (2009) zeigen, dass es in den letzten Jahren zu einem Anstieg von CH_4 und N_2O in der Atmosphäre kam, der durch eine Intensivierung der Landwirtschaft und veränderte Landnutzungsbedingungen verursacht worden ist, wodurch der bedeutende anthropogene Einfluss deutlich wird. ALLEN et al. (2006) und LEAN und RIND (2008) belegen in ihren umfangreichen Untersuchungen ebenfalls den anthropogenen Einfluss auf die globale Erwärmung.

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) wurde als ein der Klimarahmenkonvention (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) beigeordneter Ausschuss 1988 gegründet und soll Risiken der globalen Erwärmung zusammentragen, sowie Anpassungs- und Vermeidungsstrategien aufzeigen. Im Jahr 2007 wurde der vierte Sachstandsbericht des IPCC veröffentlicht. Darin wurde unter anderem auf die sehr hohe Wahrscheinlichkeit hingewiesen, dass die globale Erwärmung zum Großteil auf den anthropogenen Treibhauseffekt zurückzuführen ist. Im Bericht „The Copenhagen Diagnosis" (ALLISON et al., 2009) wird der neueste Wissensstand zum Klimawandel zusammengefasst und ergänzt

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

den IPCC-Bericht aus 2007 im Hinblick auf die Klimakonferenz der Vereinten Nationen in Kopenhagen 2009. Folgende Aussagen können getroffen werden:

- **Die Treibhausgas-Emissionen nehmen zu.**
- **Anhand der globalen Temperaturen kann gezeigt werden, dass der Klimawandel vom Menschen verursacht wird.**
- **Zunahme von Extremereignissen wie Starkregen oder Dürren.**
- **Durch eine veränderte Landnutzung kommt es zu einer Einflussnahme auf das Klima.**
- **Schnelleres Abschmelzen der Gletscher und Eisschilde.**
- **Es muss mit einem Anstieg des Meeresspiegels gerechnet werden.**
- **Es können irreversible Schäden bei fehlenden (politischen) Eingriffen auftreten.**

Im Kyoto-Protokoll (UNFCCC, 1998) wird als verbindliches Ziel eine Reduktion des Treibhausgasausstoßes um 5,2% im Zeitraum 2008-2012 im Vergleich zum Referenzjahr 1990 angestrebt. An dieser politischen Absichtserklärung, zukünftig die globale Erwärmung um 2°C zu begrenzen, nehmen inzwischen 193 Staaten teil. MEINSHAUSEN et al. (2009) zeigen, dass der Ausstoß von Treibhausgasen jedoch in den letzten Jahren weiter angestiegen ist und fordern schnellere politische Entscheidungen, um das 2°C-Ziel einhalten zu können. Über eine Fortsetzung des Kyoto-Protokolls über 2012 hinaus wird im Dezember 2012 bei der UN-Klimakonferenz in Katar abgestimmt werden.

1.2.2 Anstieg der Temperatur nach dem Emissionsszenario A1B

Es werden vom IPCC verschiedene Emissionsszenarien in Betracht gezogen, um Klimaszenarien berechnen zu können. Diese Emissionsszenarien, auch SRES-Szenarien (Special Report on Emission Szenarios) genannt, berücksichtigen künftige Entwicklungen, die einen Einfluss auf die globale Erwärmung nehmen können wie beispielsweise der Anstieg der Weltbevölkerung oder der technische Fortschritt (RAHMSTORF und SCHELLNHUBER, 2006; IPCC, 2007).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

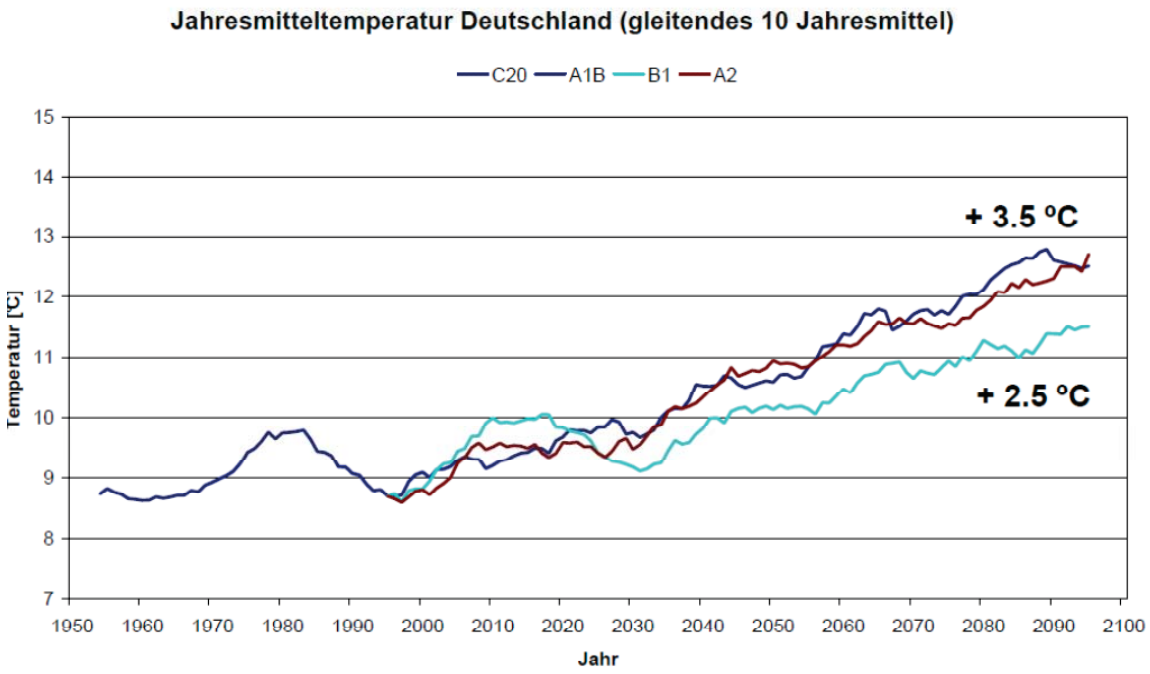

Abb. 1: Die Jahresmitteltemperatur in Deutschland (gleitendes zehnjähriges Mittel) nach den verschiedenen IPCC-Emissionsszenarien (A-Szenarien = wachstumsorientiert; B-Szenarien = nachhaltig). Bei dem Szenario A1B, welches vom IPCC als das wahrscheinlichste Szenario angesehen wird, kommt es bis zum Jahr 2100 zu einer Temperaturerhöhung um 3,5°C im Vergleich zum Referenzzeitraum C20 (1970-2000). Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Im IPCC-Bericht von 2007 wird das Szenario A1B (B-balanced) als das wahrscheinlichste Emissionsszenario für zukünftige Entwicklungen festgelegt. Das Szenario berücksichtigt eine schnelle wirtschaftliche Entwicklung mit einem Einsatz von effizienten Technologien sowie eine ausgewogene Nutzung zwischen fossilen und nicht-fossilen Energiequellen. Es findet eine Globalisierung in kultureller sowie sozialer Hinsicht statt und das Bevölkerungswachstum hält bis zur Mitte des Jahrhunderts an. Andere Szenarien gewichten diese Punkte unterschiedlich, wie beispielsweise das Szenario B2, welches von einem langsamen kontinuierlichen Bevölkerungswachstum ausgeht. Um die Informationen, die das Szenario A1B liefert, auf die Region Niedersachsen übertragen zu können, wurde das dynamische Regionalmodell REMO (Regionales Modell) verwendet (JACOB und PODZUN, 1997). Entwickelt wurde das Modell vom Max-Planck-Institut für Meteorologie (Hamburg) in Zusammenarbeit mit dem Climate Service Center (Hamburg). Das Modell

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

berücksichtigt alle relevanten physikalischen Prozesse bei einer räumlichen Auflösung von 10-50km. Grundlage für das Modell ist das Globalmodell ECHAM5, welches für Europa und Deutschland regionalisiert wurde. Das REMO-Modell wurde als Grundlage für experimentelle Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit verwendet (Abb. 1).

1.2.3 Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Durch sich ändernde klimatische Bedingungen gab es und wird es zukünftig eine Anpassung der Landwirtschaft geben. BOLAND et al. (2004) stellen ausführlich die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf das Auftreten von Pflanzenkrankheiten in Ontario (Kanada) dar. Veränderte Bedingungen können einen Einfluss auf den Krankheitsverlauf nehmen bzw. es kann zu einem veränderten Befallsbeginn kommen. Durch die schnelle Veränderung der klimatischen Bedingungen in den letzten Jahren muss sich die Landwirtschaft, schneller als bisher vermutet, auf das Auftreten neuer Krankheitserreger im Pflanzenbau einstellen. Das Auftreten von Viruskrankheiten wird nach BOLAND et al. (2004) in Ontario zunehmen. JUROSZEK und VON TIEDEMANN (2011) stellen in einem Übersichtsartikel die generellen Auswirkungen einer globalen Erwärmung auf das Auftreten von Pflanzenkrankheiten dar. Einer verlängerten Vegetationsperiode als eine positive Auswirkung auf das Ertragspotenzial steht ein unter Umständen erhöhter Krankheitsdruck gegenüber. Sobald die Bedingungen für ein Pathogen passend sind, kann es sich etablieren und es kommt zu veränderten Befallsbedingungen (COAKLEY et al., 1999). In ihrem Bericht zur Auswirkung von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft geben SCHALLER und WEIGEL (2007) eine Übersicht über mögliche Auswirkungen, die durch eine veränderte solare Einstrahlung, Temperatur oder Niederschlagsmenge die Pflanzenproduktion beeinflussen können. Durch die globale Erwärmung wurde eine Verlängerung der Vegetationsperiode in nördlichen Breiten sowie eine Verschiebung der Jahreszeiten beobachtet (MENZEL et al., 2001). Hohe Nachttemperaturen nehmen außerdem Einfluss auf die Blütenbildung und damit den späteren Ertrag (SCHALLER und WEIGEL, 2007).

Die globale Erwärmung bringt Vor- und Nachteile für die Pflanzenproduktion. In Nordeuropa ist demnach mit einem Mehrertrag bei den wichtigsten Kulturpflanzen zu rechnen, in Süd- und Südosteuropa dagegen mit einem Minderertrag (JONES et al., 2003;

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

MARACCHI et al., 2005). Die Sommerungen, wie z.B. die Zuckerrübe, werden einerseits durch eine schnellere Jugendentwicklung bedingt durch die höheren Temperaturen im Frühjahr und einer verlängerten Vegetationsperiode profitieren. Andererseits kann es auch zu Trockenstress der Pflanzen durch vermehrt auftretende Dürreperioden kommen. Eine Erhöhung des CO_2-Gehaltes würde sich zunächst positiv auf das Pflanzenwachstum auswirken, da sich die Fotosyntheserate der Pflanzen erhöht und die Transpirationsrate sinkt (PARRY et al., 2004). Unter Berücksichtigung der vom IPCC erstellten SRES-Szenarien werden die Erträge wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen weltweit in weniger entwickelten Ländern sinken und in entwickelten Ländern ansteigen (PARRY et al., 2004). Durch erhöhte Niederschläge, wie sie für einige europäische Länder durch das Peterson Institute for International Economics vorhergesagt werden (CLINE, 2007), sowie einem Anstieg der Temperatur, kommt es vermutlich zu vergünstigten Bedingungen für Pathogene, deren Temperaturoptimum für eine Infektion bei höheren Temperaturen liegt. Dazu zählt auch der bodenbürtige Plasmodiophoromycet *Polymyxa betae,* der über die Seitenwurzeln in Zuckerrüben eindringt und dabei *Beet necrotic yellow vein virus* (BNYVV) überträgt, welches die Viröse Wurzelbärtigkeit an Zuckerrüben (Rizomania) verursacht.

1.3 Rizomania

BNYVV dringt über die Seitenwurzeln in Chenopodiaceen ein und gilt an Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) als Verursacher der Virösen Wurzelbärtigkeit oder auch Rizomania (TAMADA und BABA, 1973). An Zuckerrüben kommt es zu einer verstärkten Ausprägung von Seitenwurzeln bis hin zur Bildung eines Wurzelbartes. Erkennbar ist eine Infektion an einem weinglasförmigen, verkleinerten Rübenkörper (Abb. 2A) sowie einer Leitbündelverbräunung. Die Blätter zeigen eine aufrechte Stellung, was auch mit den Symptomen eines Nematodenbefalls verwechselt werden kann, sowie nesterweise Aufhellungen (Abb. 2C) (TAMADA und BABA, 1973; JOHANSSON 1985; RICHARD-MOLARD, 1985). Eine Gelbfärbung entlang der Blattadern, wie sie in Abb. 2B zu sehen ist, kommt im Feld seltener vor. Das in der Abb. 2B gezeigte Blatt wurde mechanisch inokuliert. Durch eine Infektion mit BNYVV können Ertrags- und Zuckerverluste bis zu 70% entstehen, weshalb die Krankheit im Zuckerrübenanbau eine hohe Bedeutung hat (JOHANSSON, 1985;

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.