

Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Julia Fuchs

Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau
– Ansatz zur Beschreibung einer
nachhaltigen Entwicklung

27 / 2009



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

**Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau
– Ansatz zur Beschreibung einer nachhaltigen Entwicklung**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Julia Fuchs
geboren in Bad Mergentheim

Göttingen, im Dezember 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2009
Zugl.: Göttingen, Univ. Diss., 2008

978-3-86727-937-6

D 7

Referent: Prof. Dr. Bernward Märländer

Korreferentin: Prof. Dr. Elke Pawelzik

Tag der mündlichen Prüfung: 29.01.2009

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2009
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2009

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-937-6

Inhaltsverzeichnis

Publikationen	I
Verzeichnis der Abkürzungen	II
1. Prolog	1
2. Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (<i>Beta vulgaris</i> L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte	12
3. Effizienzentwicklung im Zuckerrübenanbau am Beispiel der N-Düngung	36
4. Eco-efficiency of sugar beet cultivation	59
5. Epilog	82
6. Zusammenfassung/Summary	87
7. Literaturverzeichnis	90

Folgende Manuskripte der vorliegenden Dissertation wurden bereits publiziert oder sind für eine Publikation vorgesehen:

FUCHS, J., N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER (2008): Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte. Pflanzenbauwissenschaften 12 (2), 69-77.

FUCHS, J., N. STOCKFISCH (2008): Effizienzentwicklung im Zuckerrübenanbau am Beispiel der N-Düngung. Zuckerindustrie 134 (1), 33-41.

FUCHS, J., N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER (2008): Eco-efficiency of sugar beet cultivation (submitted).

Verzeichnis der Abkürzungen

a	Jahr
Abb.	Abbildung
Akh	Arbeitskraftstunden
AmN	α -Amino-Stickstoff-Gehalt
BI/STI	Behandlungsindex/Standardized treatment index
BSA	Bundessortenamt
BZE/WSY	Bereinigter Zuckerertrag/White sugar yield
EEl	Eco-efficiency index
GJ	Gigajoule
ha	Hektar
IfZ	Institut für Zuckerrübenforschung
IOA	Input Output Accounting Systems
K	Kalium-Gehalt
kg	Kilogramm
mmol	Millimol
N	Stickstoff
Na	Natrium-Gehalt
n.s.	nicht signifikant/not significant
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
*	signifikant bei $p \leq 0,05$
**	signifikant bei $p \leq 0,01$
***	signifikant bei $p \leq 0,001$
p. a.	per annum/jährlich
r	Korrelationskoeffizient
r^2	Bestimmtheitsmaß
RE	Rübenertrag
SFV	Standardfabrikverlust
SMV	Standardmelasseverlust
t	Tonne
Tab.	Tabelle
w'	Stoffmenge eines Bestandteils bezogen auf die Gesamtmasse
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WP	Wertprüfung
ZG	Zuckergehalt

1. Prolog

Die globalen Rohstoffvorräte sind begrenzt und Rohstoffe, die wir heute verbrauchen, stehen künftigen Generationen nicht mehr zur Verfügung. Deshalb setzt eine nachhaltige Entwicklung einen effizienten Umgang mit natürlichen Ressourcen voraus (BUNDESREGIERUNG 2008). Allgemein beschreibt Effizienz das Verhältnis zwischen dem erreichten Ergebnis und den eingesetzten Ressourcen (DIN EN ISO 9000 2005). In der Pflanzenproduktion bestimmen Ertrag und Intensität des Ressourceneinsatzes maßgeblich die Effizienz.

Die Erträge der wichtigsten in Europa angebauten Ackerkulturen sind seit etwa 1960 kontinuierlich um 1 bis 2 % p. a. gestiegen (EWERT et al. 2005). Bei Zuckerrüben haben züchterischer und anbautechnischer Fortschritt den Ertrag in den vergangenen 25 Jahren um 1,27 % oder $0,1 \text{ t ha}^{-1}$ p. a. erhöht (MERKES et al. 1996, FUCHS et al. 2008a). Die Ertragsentwicklung in Deutschland wurde von MÄRLÄNDER (1991) für den Zeitraum 1969-1988 erstmals systematisch dargestellt und wird darauf aufbauend regelmäßig veröffentlicht (IFZ 2008).

Der Ertragsanstieg bei Zuckerrüben ist vor allem auf eine Steigerung des Rübenenertrags (Abb. 1) und einen Rückgang der Nichtzuckerstoffe Kalium (K), Natrium (Na) und insbesondere Amino-N (AmN) zurückzuführen (Abb. 2). Der Zuckergehalt blieb im Betrachtungszeitraum nahezu konstant (Abb. 1).

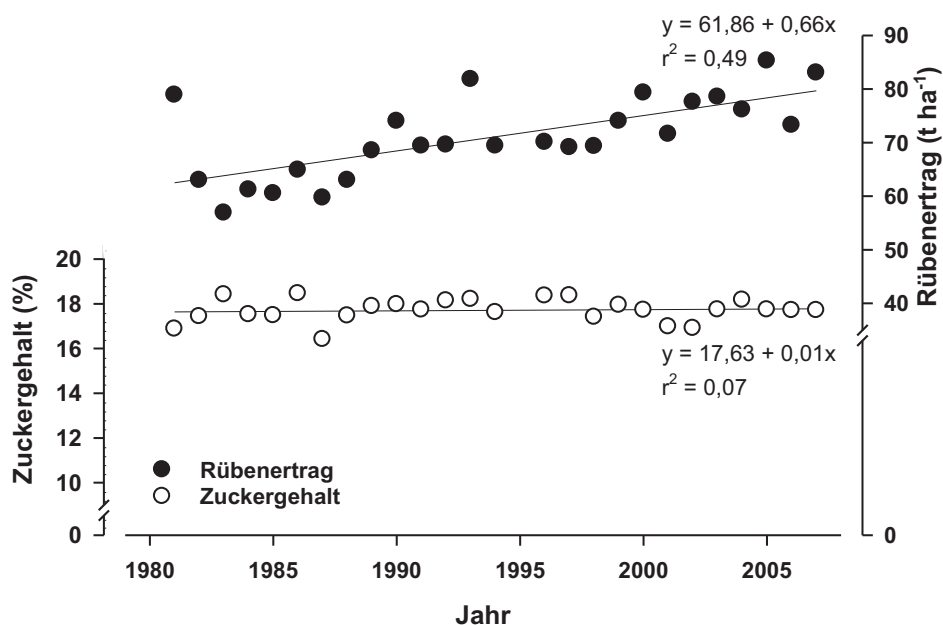


Abb. 1: Entwicklung von Zuckergehalt und Rübenenertrag 1981-2007; Mittel über die in der Wertprüfung des Bundessortenamts neu zugelassenen Zuckerrübensorten

Quelle: verändert nach MÄRLÄNDER et al. (2003)

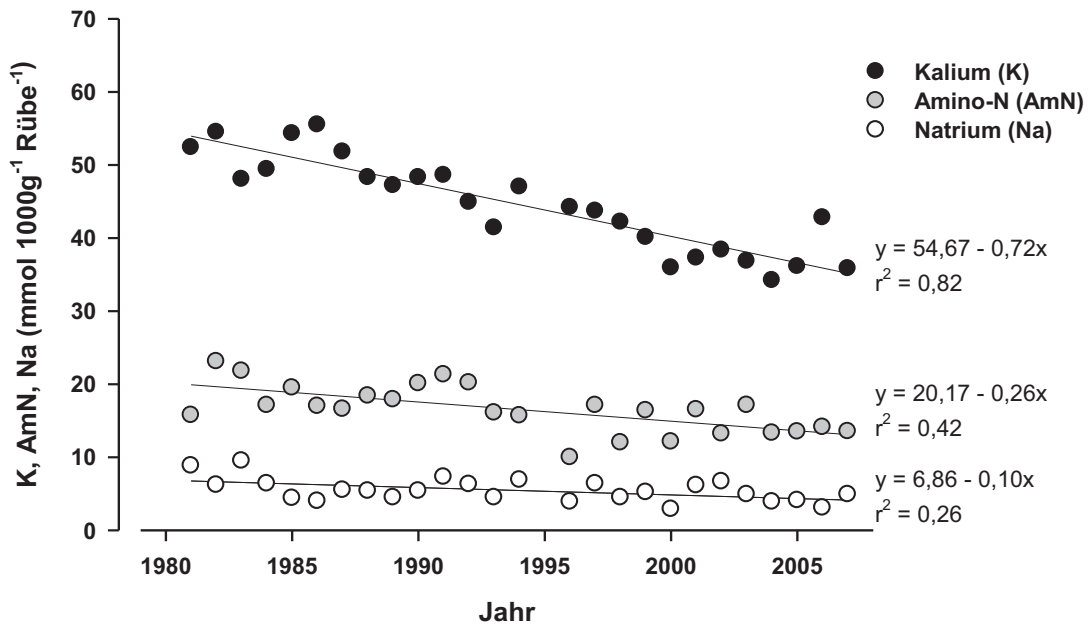


Abb. 2: Entwicklung der Nichtzuckerstoffe Kalium, Natrium und Amino-N 1981-2007; Mittel über die in der Wertprüfung des Bundessortenamts neu zugelassenen Zuckerrübensorten

Quelle: verändert nach IfZ (2008)

Als Kennzahl zur Charakterisierung von Ertrag und Qualität bei der Produktion von Zuckerrüben wird in Deutschland der Bereinigte Zuckerertrag (BZE) herangezogen (MÄRLÄNDER et al. 2003). In die Formel zur Berechnung des BZE fließen Rübenertrag (RE; t ha⁻¹), Zuckergehalt (ω'_{ZG} ; %), Standardfabrikverlust (SFV; %) und Standardmelasseverlust (SMV; %) ein. Dabei berücksichtigt der SMV die Gehalte der melassebildenden Inhaltsstoffe (mmol 100 g⁻¹ Rübenfrischmasse) K, Na und AmN und definiert den Anteil an Zucker, der in der Fabrik nicht gewonnen werden kann, sondern in der Melasse verbleibt. Der SMV (1) findet seit 1996 in Deutschland Anwendung und wird mit folgender Formel berechnet (BUCHHOLZ et al. 1995):

$$SMV = 0,12 * (\omega'_{K} + \omega'_{Na}) + 0,24 * \omega'_{\alpha-Am-N} + 0,48 \quad (1)$$

Für die Berechnung des BZE ergibt sich damit folgende Formel (MÄRLÄNDER et al. 2003) (2):

$$BZE = \frac{RE * (ZG - SMV - SFV)}{100} \quad (2)$$

Als SFV wird konstant ein Wert von 0,6 abgezogen. Er charakterisiert allgemeine Zuckerverluste und die Zuckermenge, die technisch bedingt nicht aus dem Rohstoff extrahiert werden kann. Bis 1995 wurde statt des SMV der Melassezucker nach REINEFELD et al. (1974) zur Berechnung der Zuckerverluste verwendet.

Eine umfassende Analyse von Einflussfaktoren auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben anhand langjähriger Versuche führten erstmals VON BOGUSLAWSKI und SCHILDBACH (1969) durch. Mit Schwerpunkt auf der Erfassung anbautechnischer Maßnahmen bearbeiteten BAROCKA et al. (1972) die Thematik mittels Regressionsanalyse und multiplen Mittelwertvergleichen. MÄRLÄNDER (1991) nahm eine Einteilung in beeinflussbare und nicht beeinflussbare Faktoren vor und setzte die Methode der Varianzkomponentenschätzung zur Quantifizierung des spezifischen Einflusses der Sorte und deren Interaktion zur Umwelt ein. Diese Methode wurde später auch von WOLF (1995) zur Quantifizierung des Einflusses von Umwelt und Sorte unter Berücksichtigung der neuen Bundesländer angewandt. Zusammengefasst zeigten die Untersuchungen, dass der Ertrag von Zuckerrüben sehr stark durch die Umwelt beeinflusst wird, d. h. durch Standort und Jahr sowie deren Interaktion.

Ertrag und Qualität von Zuckerrüben unterscheiden sich zwischen den Regionen Deutschlands (WVZ 2007). Zwischen landwirtschaftlichen Betrieben auch in direkter räumlicher Nähe können durchaus Differenzen im Zuckerertrag von über 5 t ha^{-1} bestehen (WINDT 2005). Es liegt nahe, dass bestehende Unterschiede zwischen Betrieben vergleichbarer Umwelten (Standort x Jahr) auf das Anbaumanagement der Landwirte zurückzuführen sind. Es umfasst die langfristige Ausrichtung des Bodennutzungssystems (z. B. Fruchtfolge) und alle kurzfristigen direkt beeinflussbaren produktionstechnischen Maßnahmen (z. B. Düngung, Pflanzenschutz). Das Anbaumanagement war trotz seiner zentralen Bedeutung für die Pflanzenproduktion bisher kaum Gegenstand pflanzenbaulicher Forschung. Der Einfluss des Anbaumanagements ist i. d. R. kaum von dem des Standorts zu trennen, eine strikte Trennung der Varianzursache ist nur in Dauerversuchen mit Großparzellen möglich (PRINGAS und MÄRLÄNDER 2004). Eine genaue Kenntnis des Einflusses des Anbaumanagements könnte aber einen Beitrag leisten, die Effizienz im Zuckerrübenanbau zu erhöhen. Mithilfe betriebsbezogener Daten sollte deshalb in dieser Arbeit der Faktor „Anbaumanagement“ quantifiziert werden, der in der wissenschaftlichen Literatur zu Zuckerrüben bisher nicht beschrieben wurde.

Neben dem erreichten Ergebnis wirken die eingesetzten Ressourcen auf die Effizienz. Nach GELDERMANN und KOGEL (2002) sind Umweltaspekte der landwirtschaftlichen Produktion hauptsächlich mit deren Intensität verknüpft. Zweifelsohne war der Zuckerrübenanbau bis Ende der 70er Jahre sehr

arbeitsintensiv, wurden doch etwa 600 Arbeitskraftstunden (Akh) $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ aufgewendet (DIEPENBROCK et al. 1999), woraus sich auch eine hohe Kostenintensität ableiten ließ. Heute ist ein Arbeitszeitbedarf von weniger als 10 Akh $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ erforderlich (KTBL 2006). Die Reduzierung des Arbeitszeitbedarfs ist vor allem auf den Einsatz von monogermem Saatgut, die Entwicklung rübenverträglicher Herbizide und die zunehmende Technisierung der Ernte zurückzuführen (LÜTKE ENTRUP et al. 1995). Aus der Nutzung des technischen Fortschritts resultierte die Substitution von Arbeit durch Kapital. Über den Einsatz von Mechanisierung, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln kann die Intensität in der Pflanzenproduktion quantifiziert werden (HERZOG et al. 2006). Der Anbau von Zuckerrüben gilt allgemein als intensiv und wird mit negativen Wirkungen auf die Umwelt verbunden (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2003, SRU 2004). Diese Einschätzung könnte darin begründet sein, dass Zuckerrüben einen sehr hohen Trockenmasseertrag liefern, der theoretisch bei über 30 t ha^{-1} liegt (KENTER et al. 2006), und davon ausgegangen wird, dass dieser nur mit einem hohen Aufwand an Düngung und Pflanzenschutz zu realisieren ist. Deshalb sollte in dieser Arbeit systematisch für Deutschland untersucht werden, ob eine hohe Ertragsleistung von Zuckerrüben eine hohe Intensität im Anbau voraussetzt.

Vor diesem Hintergrund erscheint das Öko-Effizienzkonzept, das Anfang der 1990er Jahre vom World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) initiiert wurde und als „one of the primary way in which business can contribute to the concept of sustainable development“ (HUR et al. 2004) angesehen wird, geeignet eine nachhaltige Entwicklung im Zuckerrübenanbau zu beschreiben. Nach Definition des WBCSD (1996 und 2000) ist Öko-Effizienz (engl. eco-efficiency) "... reached by the delivery of competitively priced goods and services that satisfy human needs and bring quality of life, while progressively reducing ecological impacts and resource intensity throughout the life cycle, to a level at least in line with the earth's estimated carrying capacity.“ Dabei steht der Begriff Öko-Effizienz als Abkürzung für ökonomische und gleichzeitig ökologische Effizienz (LUPTÁCIK und WEISS 2005). Das Öko-Effizienzkonzept führt den wirtschaftlichen Fortschritt, der eine effizientere Verwendung von Ressourcen und damit wirtschaftlichen Wohlstand ermöglicht, mit dem ökologischen Fortschritt zusammen, durch den eine Reduzierung, z. B. umweltschädlicher Emissionen und damit eine Verminderung der Umweltbelastung, erreicht wird (VERFAILLIE und BIDWELL 2000). Ziel ist die zunehmende Erzeugung

nützlicher Güter bei abnehmendem Verbrauch von Ressourcen (WBCSD 2000). Dabei zielte das WBCSD-Konzept nicht darauf ab, einen einzigen verbindlichen Ansatz zur Messung von Öko-Effizienz zu entwickeln. Vielmehr sollte ein Rahmenkonzept geschaffen werden, das einfach zu interpretieren ist und damit von einer großen Zahl von Anwendern genutzt werden kann. Das Öko-Effizienzkonzept wird international vielfach eingesetzt, insbesondere in der Industrie (SALING et al. 2002, DE SIMONE und POPOFF 1997).

Obwohl das Postulat der Nachhaltigkeit verfolgt wird, beschränkt sich die Auswahl von Indikatoren zur Messung der Öko-Effizienz auf ökonomische und ökologische Größen (VERFAILLIE und BIDWELL 2000), soziale Aspekte werden zumeist nicht berücksichtigt. Das WBCSD empfiehlt Unternehmen, sieben Handlungskriterien der Öko-Effizienz bei der betrieblichen Umsetzung des Konzeptes zu berücksichtigen (WBCSD 2000):

1. *Reduzierung der Materialintensität von Gütern und Dienstleistungen*
2. *Reduzierung der Energieintensität von Gütern und Dienstleistungen*
3. *Reduzierung der Verteilung giftiger Stoffe*
4. *Erhöhung der Wiederverwertbarkeit der eingesetzten Materialien*
5. *Maximierung der nachhaltigen/zukunftsfähigen Nutzung erneuerbarer Ressourcen*
6. *Verlängerung der Produktlebensdauer*
7. *Erhöhung der Serviceintensität von Gütern und Dienstleistungen*

Da das Produkt Zuckerrübe nicht direkt vergleichbar mit herkömmlichen Industriegütern oder Dienstleistungen ist, sondern der landwirtschaftlichen Urproduktion entstammt, wurden für den Zuckerrübenanbau nur die Handlungskriterien 1.-4. als relevant angesehen.

Eine Reduzierung der Materialintensität kann beim Anbau von Zuckerrüben als Rohstoff für die Zuckerproduktion durch eine Verminderung des Einsatzes an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln erfolgen. Im Hinblick auf die eingesetzten Landmaschinen weist die Bodenbearbeitung, die i. d. R. mit dem Einsatz eines Ackerschleppers verbunden ist, die höchste Materialintensität auf (WEGENER 2001). Hier verringern weniger Überfahrten und eine geringere Arbeitstiefe die Materialintensität. Beim Prozess Ernte ergeben sich durch einen verminderten Erdanteil Einsparungen beim Transport und dem Reinigungsaufwand in der Fabrik (MUHLACK 1989).

Die Herstellung von mineralischem N-Dünger, die auf dem Haber-Bosch-Verfahren basiert, ist sehr energieintensiv (LEWANDOWSKI et al. 1995). Organischer N-Dünger geht zumeist auf ebenfalls energieaufwändige Tierhaltungsverfahren zurück. Eine Reduzierung des N-Düngeraufwands vermindert die Energieintensität des Zuckerrübenanbaus. Ein qualitativ und quantitativ veränderter Maschineneinsatz bei der Bodenbearbeitung, die neben der N-Düngung den größten Anteil am Energieaufwand hat (HÜLSBERGEN et al. 2001), reduziert den Bedarf an fossilen Energieträgern, während eingesetztes Saatgut und Pflanzenschutzmittel eher weniger zum Energieaufwand beitragen (WEGENER 2001).

Als relevant für die Reduzierung der Verteilung giftiger Stoffe wurden die Prozesse N-Düngung und Pflanzenschutz identifiziert. Giftige Stoffe dürfen in der Pflanzenproduktion grundsätzlich nicht eingesetzt werden. Jedoch sollte der Einsatz übermäßiger N-Gaben aus ökologischen Gründen vermieden werden, da die Möglichkeit der Freisetzung von N_2O in die Atmosphäre (BOUWMAN 1996), der Nitratwaschung in das Grundwasser und der Eutrophierung von Oberflächengewässern besteht (LÆGREID et al. 1999). Pflanzenschutzmittel, im Zuckerrübenanbau zur Bekämpfung von Unkräutern, Krankheiten und Schädlingen eingesetzt, müssen durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit zugelassen werden. Sie werden im Rahmen des Zulassungsverfahrens toxikologisch bewertet und u. a. erst zugelassen, wenn ihre Prüfung ergibt (...), dass keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier und auf das Grundwasser bestehen (PFLSCHG 1998). Um jedoch die Risiken für Nichtzielorganismen und die Schutzgüter Boden, Wasser und Luft zu minimieren, ist eine Reduzierung der Applikation von Pflanzenschutzmitteln im Zuckerrübenanbau anzustreben.

Der Erhöhung der Wiederverwertbarkeit der eingesetzten Materialien kann bei der Zuckerrübenernte Rechnung getragen werden. Der Boden ist ein landwirtschaftlicher Produktionsfaktor und gleichzeitig eine endliche, nicht vermehrbare natürliche Ressource. Bei der Ernte kommt es durch den Rüben anhaftende Erde zum Bodenabtrag und damit zum Verlust an Ackerkrume. In Süd- und Südostdeutschland wurden bei der Zuckerrübenernte 2004 durchschnittlich $5,34 \text{ t Erde ha}^{-1}$ abgefahren (KRAUS 2005). Eine Reduzierung des Erdanhangs schont die Ressource Boden und trägt zur langfristigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit bei.

Das Ziel einer kontinuierlichen Erhöhung der Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau lässt sich erreichen durch:

1. Erhöhung der Flächenproduktivität,
d. h. ein höherer Zuckerertrag pro ha bei konstantem Ressourceneinsatz,
2. Reduzierung der Umweltwirkungen,
d. h. ein gleichbleibender Zuckerertrag bei geringerem Ressourceneinsatz.

Im Idealfall geht eine Erhöhung der Flächenproduktivität mit einer Reduzierung der Umweltwirkungen einher.

Um das Öko-Effizienzkonzept für den Zuckerrübenanbau umzusetzen, sollte ein praktikables, transparentes System von Indikatoren entwickelt werden, das ökonomische und ökologische Aspekte des Zuckerrübenanbaus integriert. Diese Indikatoren sollten einfach zu erheben sein. Abgeleitet aus den zuvor erläuterten Handlungskriterien stehen dabei die Prozesse Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte im Mittelpunkt der Betrachtung. Um die Öko-Effizienz eines bestehenden Systems zu messen und zu erhöhen, ist es notwendig, geeignete Indikatoren einzusetzen, die ökonomische und ökologische Faktoren integrieren (HUR et al. 2004). Es sind sowohl Wertindikatoren als auch Umwelteinwirkungsindikatoren notwendig, die entsprechend in Beziehung gesetzt werden müssen (LUPTÁCIK und WEISS 2005). Öko-Effizienz wird in der Regel als Produkt- oder Dienstleistungswert pro Umweltwirkung gemessen. Allgemein anwendbare Indikatoren für den geschaffenen Produkt- oder Dienstleistungswert wie die Menge an erzeugten Gütern bzw. zur Verfügung gestellten Dienstleistungen oder Umsatzerlöse werden auf Indikatoren für den Umwelteinfluss bezogen. In dieser Arbeit wurde, um eine höhere Transparenz und Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen ausgearbeiteten Indikatoren zu schaffen, die Inverse dieser Formel verwendet, d. h. die Umweltwirkungen wurden ins Verhältnis zum geschaffenen Wert gesetzt. Diese Vorgehensweise folgt der Position des WBCSD, dass die wesentliche Information in beiden Varianten enthalten ist (VERFAILLIE und BIDWELL 2000).

Die Herausforderung bei der Entwicklung eines Indikators der Öko-Effizienz liegt in der Verknüpfung von ökologischen und ökonomischen Daten zu Öko-Effizienz-Angaben. Da sowohl der geschaffene Wert als auch die Umweltwirkungen in unterschiedlichen Einheiten gemessen und für ganz unterschiedliche Abgrenzungen

erhoben werden können, sind leistungsfähige, flexible und nachvollziehbare Methoden der Effizienzmessung erforderlich (LUPTÁČIK und WEISS 2005).

Ziel der Arbeit war es, mit einem System geeigneter Indikatoren die aktuelle Öko-Effizienz des Zuckerrübenanbaus abzubilden. Gleichzeitig sollte untersucht werden, ob eine Beziehung zwischen der Intensität des Anbaus und der Ertragsleistung von Zuckerrüben besteht.

Ein System praktikabler Indikatoren, sog. Öko-Effizienzkriterien, wurde generiert, um Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau messbar zu machen. Für die Prozesse Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte konnten aufbauend auf die Handlungskriterien des WBCSD Öko-Effizienzkriterien abgeleitet werden. Unter einem Öko-Effizienzkriterium für den Zuckerrübenanbau ist der Quotient aus prozessspezifischer Umweltwirkung und erzeugtem BZE zu verstehen. Die Intensität bei Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte ist verbunden mit dem Einsatz von Ressourcen und mit Umweltwirkungen auf die Schutzgüter Boden, Wasser und Luft. Ein Set von Indikatoren für die genannten Prozesse, entwickelt in einem Co-Projekt (REINEKE und STOCKFISCH 2008), wurde genutzt, um die Umweltwirkungen des Zuckerrübenanbaus abzuschätzen. Der Energieinput der Bodenbearbeitung, die Höhe der N-Düngung, der Behandlungsindex und der Erdanhang sind Indikatoren für diese Umweltwirkungen. Diese Indikatoren wurden ins Verhältnis zum BZE gesetzt und bilden so Öko-Effizienzkriterien. Für das Anbaujahr 2004 wurden Öko-Effizienzkriterien berechnet. Datengrundlage zu ihrer Berechnung war eine bundesweite Befragung von 109 Zuckerrüben anbauenden Betrieben mit 232 Schlägen.

Die erarbeiteten Ergebnisse zu Ertragsentwicklung, Öko-Effizienz und Intensität im Zuckerrübenanbau werden nachfolgend in drei Artikeln vorgestellt.

Da die Öko-Effizienz des Zuckerrübenanbaus wesentlich vom Ertrag mitbestimmt wird, wurde innerhalb des ersten Artikels die „Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte“ untersucht und in der Zeitschrift Pflanzenbauwissenschaften veröffentlicht (FUCHS et al. 2008a). Die Leistung der Zuckerrübe wird in Deutschland auf unterschiedlichen Ebenen mit unterschiedlichen Schwerpunkten und individueller Zielsetzung erhoben. Die dadurch existierende,

vergleichsweise dichte Datengrundlage wurde genutzt, um folgende Versuchsfragen zu beantworten:

1. Wie hat sich die Leistung von Zuckerrüben in den Regionen Nord, Ost, Süd und West über die vergangenen 25 Jahre und in Nachbarländern entwickelt?
2. Welchen Einfluss hat das Anbaumanagement in Relation zu Sorte, Standort, Region und Jahr auf die Leistung von Zuckerrüben?

Über den Betrachtungszeitraum 1981-2005 stieg der Zuckerertrag in Deutschland im Anbau um 1,27 % p. a. an. Die Entwicklung verlief in den Regionen (Nord, Ost, Süd, West) Deutschlands parallel und die Prognose ergab für alle vier Regionen einen gleichmäßigen Ertragszuwachs von etwa 1 t ha^{-1} in zehn Jahren. Der mittlere Zuckerertrag lag aktuell (2001-2005) bei $9,5 \text{ t ha}^{-1}$ und variierte von 11 t ha^{-1} in der Region Süd bis 8 t ha^{-1} in Ost. Die Bedeutung des Anbaumanagements wurde auf den Ebenen Naturraum (= Subregion mit ähnlichen Umweltbedingungen) und Region abgeschätzt. Die Zuckererträge der leistungsstärksten Betriebe lagen bis zu 7 t ha^{-1} über dem regionalen Mittel. Auf Naturraumebene variierten die Zuckererträge um bis zu 10 t ha^{-1} . Die Analyse des Datenmaterials ergab, dass an allen Standorten ein sehr hoher Ertrag von etwa 14 t ha^{-1} im BZE möglich ist, wobei das Anbaumanagement wesentlich zur betriebsbezogenen Leistung beitrug. An vergleichbaren Standorten ist die Variation im Zuckerertrag letztlich Ausdruck des individuellen Anbaumanagements. Ertrags- und Qualitätsunterschiede tragen somit auch zur Variation der Öko-Effizienz von Zuckerrüben bei. Damit nimmt der Landwirt über den Ertrag Einfluss auf die Öko-Effizienz.

Gegenstand des zweiten Artikels war die „Effizienzentwicklung im Zuckerrübenanbau am Beispiel der N-Düngung“, veröffentlicht in der Zeitschrift Zuckerindustrie (FUCHS und STOCKFISCH 2008). Exemplarisch für die N-Düngung wurden folgende Fragen erörtert:

1. Welche Effizienz wird aktuell im Zuckerrübenanbau in Deutschland erreicht?
2. Bestehen Unterschiede in der Effizienz zwischen Regionen Deutschlands?

Für den Zuckerrübenanbau im Ganzen wurde diskutiert:

3. Welche Effizienzsteigerungen, abgeleitet aus der Entwicklung der vergangenen 25 Jahre, sind möglich bzw. künftig zu erwarten?

Die Variation der N-Düngungseffizienz auf den Schlägen war sehr groß ($3,5 - 38 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE). Für die N-Düngung konnte aufgezeigt werden, dass sich die Effizienz durch die Reduktion des Aufwands deutlich schneller steigern ließ als durch

Ertragssteigerungen, die zwar stetig, aber insgesamt verhalten realisiert werden. Es konnte gezeigt werden, dass im Zuckerrübenanbau gute Ausgangsbedingungen für Effizienzsteigerungen bei der N-Düngung bestehen, da eine Reduzierung des Aufwands nicht zwangsläufig einen verminderten Ertrag bedeutet und weiterhin mit Ertragssteigerungen unabhängig von der Höhe der N-Düngung zu rechnen ist.

Der dritte Artikel trägt den Titel „Eco-efficiency of sugar beet cultivation“ und wurde bei der Zeitschrift *Agriculture, Ecosystems and Environment* eingereicht (FUCHS et al. 2008b). Das Öko-Effizienzkonzept wurde für den Zuckerrübenanbau adaptiert, um dort Wege zu einer nachhaltigen Entwicklung aufzuzeigen und abzubilden. Ziel war es zunächst,

1. die Beziehung zwischen der Intensität des Zuckerrübenanbaus und der Ertragsleistung zu analysieren und darauf aufbauend
2. mit einem System von Indikatoren die gegenwärtige Öko-Effizienz im deutschen Zuckerrübenanbau zu beschreiben.

Die Indikatoren Energieinput der Bodenbearbeitung, N-Düngung, Behandlungsindex und Erdanhang bilden, ins Verhältnis zum BZE gesetzt, aggregiert die Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau in Deutschland ab. Auf Schlagebene variierten die genannten Indikatoren wie auch der BZE ($6-15 \text{ t ha}^{-1}$) sehr stark. Die Öko-Effizienz zeigte folglich ebenfalls eine hohe Variation. Zwischen Erdanhang und BZE bestand eine schwach positive Korrelation. Energieinput der Bodenbearbeitung, N-Düngung und Behandlungsindex korrelierten nicht mit dem BZE. So konnte gezeigt werden, dass der BZE von Zuckerrüben weitgehend unabhängig von der Intensität des Anbaus ist.

Empfehlungen für die Umsetzung des Öko-Effizienzkonzepts schließen die Arbeit ab, die eines von vier Teilprojekten des Verbundprojekts "Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau" war.

Das Verbundprojekt wurde am Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ), Göttingen, von Dr. Nicol Stockfisch koordiniert. Neben den Kennzahlen zur Öko-Effizienz wurden spezifische Agrar-Umweltindikatoren für den Zuckerrübenanbau mit dem Schwerpunkt Pflanzenschutz und Energieeinsatz von Heinrich Reineke (IfZ, Betreuung: Prof. Märländer) ausgearbeitet, um Umweltwirkungen/-risiken dezidiert abzubilden (REINEKE und STOCKFISCH 2008). Mit dem Modell REPRO analysierte Peter Deumelandt (Universität Halle-Wittenberg, Betreuung: Prof. Christen) die Bedeutung der Zuckerrübe in Fruchtfolgen und deren Auswirkungen auf die Stoff-

und Energieflüsse im landwirtschaftlichen Betrieb (DEUMELANDT und CHRISTEN 2008). Aufbauend auf eine Vollkostenrechnung wurden von Jörn Uwe Starcke (Universität Göttingen, Betreuung: Prof. Bahrs) Kennzahlen zur Rentabilität des Zuckerrübenanbaus berechnet und Einflussgrößen auf das Betriebszweigergebnis identifiziert (STARCKE und BAHRS 2008). Im Verbundprojekt wurden die komplexen Umweltwirkungen des Zuckerrübenanbaus effektiv (gemeinsame Datengrundlage) aus unterschiedlichen Perspektiven (ökonomisch und ökologisch) und auf verschiedenen Ebenen (Schlag, Betrieb) erfasst.

2. Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte

Development and Variation of Yield Performance in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Germany with particular Respect to Crop Management and Variety
Julia Fuchs, Nicol Stockfisch & B. Märländer

Zusammenfassung

Die Leistung von Zuckerrüben (Ertrag und Qualität) am Standort wird erheblich von den Anbaumaßnahmen des Landwirts beeinflusst. Um den Einfluss von Anbaumanagement und Sorte zu bestimmen, wurden langjährige Daten (1981-2005) aus Sortenprüfungen und Anbauerhebungen herangezogen. Über diesen Zeitraum betrug der Anstieg des Zuckerertrags in Deutschland im Anbau 1,27% p. a., wobei dieser in der Region Ost deutlich höher ausfiel als in Süd, West und Nord. Der mittlere Zuckerertrag lag aktuell (2001-2005) bei 9,5 t ha⁻¹ und variierte von 11 t ha⁻¹ in der Region Süd bis 8 t ha⁻¹ in Ost. Aus einer Varianzkomponentenschätzung ergaben sich ein geringer Einfluss der Sorte auf den Zuckerertrag und mittlere Einflüsse des Jahres und der Wechselwirkung zwischen Standort und Region. Größte Bedeutung hatte die Wechselwirkung zwischen Jahr, Standort und Region, deren Ursache vermutlich eine von Jahr zu Jahr und Standort zu Standort innerhalb einer Region stark variierende Witterung ist. Eine regionale Vorzüglichkeit von Sorten konnte nicht nachgewiesen werden. Die Bedeutung des Anbaumanagements wurde auf den Ebenen Naturraum (= Subregion mit ähnlichen Umweltbedingungen) und Region abgeschätzt. Aus den Zuckererträgen der leistungsstärksten Betriebe mit bis zu 7 t ha⁻¹ über dem regionalen Mittel und der starken Variation auf Naturraumebene (über 10 t ha⁻¹) ließ sich ableiten, dass an allen Standorten Höchsterträge möglich waren, wobei das Anbaumanagement wesentlich zur betriebsbezogenen Leistung beitrug.

Schlüsselworte: Zuckerrübe, Leistung, Region, Anbaumanagement, Sorte

Summary

The yield performance of sugar beet is significantly influenced by the farmer's crop management. The effect of crop management and variety was determined by

analysing data of official variety trials and practice results of the period 1981-2005. The increase in sugar yield was 1.27% p. a., and this increase was considerably higher in region East than South, West and North. The mean sugar yield (2001-2005) was recently at 9.5 t ha⁻¹ including a high regional variation of 11 t ha⁻¹ in South versus 8 t ha⁻¹ in East. Variance component estimations revealed a small effect of the variety and medium effects of the year and the interaction of site by region on yield. The interaction of year by site by region with the largest effect reflects a strong variation in weather across years and sites within one region. However, the performance of sugar beet varieties was independent from the growing region. The importance of farm crop management was estimated on the levels of natural geographic unit (subregion with similar environmental conditions) and region. Sugar yield of + 7 t ha⁻¹ above the regional mean as reached by best farms and strong yield variation on the natural geographic unit level (over 10 t ha⁻¹) demonstrates a high yield potential on all sites, whereas crop management significantly determined the performance of sugar beet on the farm level.

Keywords: sugar beet, yield performance, region, crop management, variety

Einleitung

Die Erträge der wichtigsten in Europa angebauten Kulturen sind seit etwa 1960 kontinuierlich um 1 bis 2% p. a. angestiegen (EWERT et al. 2005). Bei Zuckerrüben lag der Ertragsanstieg in Deutschland in den vergangenen 30 Jahren bei 1,3% p. a. (IFZ 2007), wobei ein Vergleich mit anderen europäischen Ländern bisher nicht stattgefunden hat. Es ist bekannt, dass die Leistung von Zuckerrüben sehr stark durch die Umwelt, d. h. Standort und Jahr sowie deren Interaktion, beeinflusst wird. Welche Bedeutung das Anbaumanagement für die Leistung von Zuckerrüben in Deutschland hat, wurde in dieser Studie untersucht.

Die Leistung von Zuckerrüben (Ertrag und Qualität) unterscheidet sich zwischen den Regionen Deutschlands (WVZ 2006). Aus der Praxis ist bekannt, dass zwischen landwirtschaftlichen Betrieben auch in direkter räumlicher Nähe durchaus Differenzen im Rübenantrag von 30 t ha⁻¹ bestehen können. Es liegt nahe, dass Leistungsdifferenzen zwischen Betrieben insbesondere auf das Anbaumanagement des Landwirts zurückzuführen sind. Es umfasst die vom Landwirt vorgenommene langfristige Ausrichtung des Bodennutzungssystems (z. B. Fruchtfolge) und alle kurzfristigen von ihm direkt beeinflussbaren produktionstechnischen Maßnahmen (z.

B. Düngung, Pflanzenschutz). Obwohl der Einfluss des Landwirts zentrale Bedeutung für die Pflanzenproduktion hat, war er bisher kaum Gegenstand pflanzenbaulicher Forschung.

Die Ertragsentwicklung von Zuckerrüben in Deutschland wurde von MÄRLÄNDER (1991) für den Zeitraum von 1969-1988 systematisch aufbereitet, darauf aufbauend kontinuierlich dargestellt (IFZ 2007) und hinsichtlich technischer Qualität von HOFFMANN (2006) spezifisch ergänzt. Eine umfassende Analyse von Einflussfaktoren auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben wurde anhand langjähriger Versuche erstmals von BOGUSLAWSKI und SCHILDBACH (1969) deskriptiv durchgeführt. BAROCKA et al. (1972) bearbeiteten die Thematik mittels Regressionsanalyse und multiplen Mittelwertvergleichen. Dabei stand die Erfassung anbautechnischer Maßnahmen im Vordergrund. MÄRLÄNDER (1991) nahm eine Einteilung in beeinflussbare und nicht beeinflussbare Faktoren vor und setzte die Methode der Varianzkomponentenschätzung zur Quantifizierung des spezifischen Einflusses der Sorte und deren Interaktion zur Umwelt ein, die später auch von WOLF (1995) mit Berücksichtigung der neuen Bundesländer angewandt wurde. In diesen jeweils dreijährigen orthogonalen Versuchsserien hatte die Sorte mit weniger als 2% Varianzanteil nur geringe Bedeutung. Wie sich jedoch der Einfluss der Sorte über einen langen Betrachtungszeitraum verhält, wurde bisher nicht untersucht.

Vor diesem Hintergrund sollen folgende Versuchsfragen beantwortet werden:

1. Wie hat sich die Leistung von Zuckerrüben in den Regionen Nord, Ost, Süd und West über die vergangenen 25 Jahre und in Nachbarländern entwickelt?
2. Welchen Einfluss hat das Anbaumanagement in Relation zu Sorte, Standort, Region und Jahr auf die Leistung von Zuckerrüben?

Um die Entwicklung im Zeitraum 1981-2005 darzustellen, steht mit der Wertprüfung des Bundessortenamts zur Abbildung der Leistung neu zugelassener Sorten und mit der Erzeugungsstatistik der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker (WVZ) zum Anbau eine kontinuierliche Datengrundlage zur Verfügung. Zur Beschreibung des Einflusses des Anbaumanagements wurden die leistungsstärksten Betriebe jeder Region mit dem regionalen Mittel verglichen und auf Ebene von Naturräumen wurde die Leistung aller Zuckerrüben anbauenden Betriebe betrachtet. Die Quantifizierung verschiedener Einflussfaktoren auf die Leistung erfolgte durch eine Varianzkomponentenschätzung, die auf jahresbezogenen Ergebnissen der neu zugelassenen Sorten (1981-2005) basiert.

Material und Methoden

Kennzahlen der Zuckerrüben- und Zuckerproduktion

Der Bereinigte Zuckerertrag (BZE) ist eine kalkulatorische Größe zur Charakterisierung von Ertrag und Qualität bei der Produktion von Zuckerrüben (MÄRLÄNDER et al. 2003). Er findet Anwendung bei der Auswertung von Versuchen sowie bei der Beurteilung der Leistung im landwirtschaftlichen Betrieb (HOFFMANN 2006). In die Formel zur Berechnung des BZE fließen Rübenenertrag (RE; t ha⁻¹), Zuckergehalt (ω'_{ZG} ; %), Standardfabrikverlust (SFV) und Standardmelasseverlust (SMV) ein. Dabei berücksichtigt der SMV die Gehalte der melassebildenden Inhaltsstoffe (mmol 100 g⁻¹ Rübenfrischmasse) Kalium (K), Natrium (Na) und α -Amino-Stickstoff (α -Am-N) und definiert den Anteil an Zucker, der in der Fabrik nicht gewonnen werden kann, sondern in der Melasse verbleibt. Der SMV (1) findet seit 1996 in Deutschland Anwendung und wird mit folgender Formel berechnet (BUCHHOLZ et al. 1995):

$$SMV = 0,12 * (\omega'_{K} + \omega'_{Na}) + 0,24 * \omega'_{\alpha-Am-N} + 0,48 \quad (1)$$

Für die Berechnung des BZE ergibt sich damit folgende Formel (MÄRLÄNDER et al. 2003) (2):

$$BZE = \frac{RE * (\omega'_{ZG} - SMV - SFV)}{100} \quad (2)$$

Als SFV wird konstant ein Wert von 0,6 abgezogen. Er charakterisiert allgemeine Zuckerverluste und die Zuckermenge, die technisch bedingt nicht aus dem Rohstoff extrahiert werden kann. Bis 1995 wurde statt des SMV der Melassezucker nach REINEFELD et al. (1974) zur Berechnung der Zuckerverluste verwendet.

Zur Charakterisierung der realen Zuckererzeugung wird dagegen der Weißzuckerertrag herangezogen. Er gibt den tatsächlich gewonnenen Zucker geteilt durch die Anbaufläche einer Zuckerfabrik an und wird für Deutschland und auf Ebene der Bundesländer von der WVZ jährlich erhoben. Der Weißzuckerertrag kann dementsprechend nicht in einem direkten Zusammenhang mit dem BZE gesehen werden (HOFFMANN 2006), da der BZE der Schätzung der potentiell extrahierbaren Zuckermenge dient.

Datengrundlage

Über unterschiedliche Zeiträume und europäische Länder wurde die prozentuale Entwicklung des kalkulatorischen Zuckerertrags von den

Zuckerrübenforschungsinstitutionen der jeweiligen Länder auf Basis nationaler Statistiken, zumeist Sortenversuche, berechnet und durch das Institut International de Recherches Betteravières (IIRB 2007; persönliche Mitteilung) zur Verfügung gestellt. Kalkulatorische Zuckererträge ergeben sich aus der im jeweiligen Ursprungsland angewandten Formel zur Bewertung der Leistung der Zuckerrübenproduktion. Diese kalkulatorischen Zuckererträge sind mit dem BZE vergleichbar, jedoch bestehen Unterschiede in der Wägung der ausgewählten Inhaltsstoffe (HOFFMANN 2006). Die kalkulatorischen Zuckererträge für den Zeitraum 2001-2005 basieren auf Angaben des zuckerwirtschaftlichen Taschenbuchs (MAIER et al. 2005 und 2007).

Der von der WVZ für Deutschland dokumentierte Weißzuckerertrag und der BZE der neu zugelassenen Sorten in der Wertprüfung (WP) des Bundessortenamts wurde von 1981-2005 berechnet. Es erfolgte eine Gliederung der Daten nach Regionen (Abb. 1): Schleswig-Holstein und Niedersachsen (Nord); Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen (Süd); Nordrhein-Westfalen (West). Seit 1990 (WVZ) bzw. 1991 (WP) lagen Daten für die neuen Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen (Ost) vor.

Durch Anfrage bei den Zuckerunternehmen wurden die zehn leistungsstärksten Betriebe jeder Region ermittelt. Es wurden die Betriebe, die im Mittel der Jahre 2001-2005 den höchsten BZE erzielt hatten, ausgewählt und ihre jeweiligen Einzeljahresergebnisse dargestellt.

Der BZE von vier Naturräumen wurde für 2002-2004 analysiert. Ein Naturraum ist definiert als eine Subregion mit ähnlichen Umweltbedingungen bezüglich Boden und Witterung und annähernd gleichem Ertragspotential (KNÄLMANN 2007; persönliche Mitteilung). Die vier ausgewählten Naturräume der Region Nord um Hannover (H) (Abb. 1) weisen trotz räumlicher Nähe große Heterogenität der Bodenarten auf. Die Bodenarten variierten von leichten Sandböden nördlich bis zu schweren Tonböden östlich von Hannover. Im Naturraum H-West ist sandiger Lehm (sL) vorherrschend, in H-Süd Lehm (L), in H-Nord Sand (S) und in H-Ost lehmiger Ton (IT). Hinsichtlich der Witterung sind die vier Naturräume sehr homogen. Das Niederschlagsniveau (langjähriges Mittel 1961-1990) der Naturräume lag bei 650 mm a^{-1} und die mittlere Temperatur (langjähriges Mittel 1961-1990) bei $8,9 \text{ °C}$. Im Naturraum H-West erfolgte zusätzlich eine Beregnung auf der Mehrzahl der Standorte. Für die

Naturräume standen die Daten aller Zuckerrüben anbauenden Betriebe (Grundgesamtheit) zur Verfügung.



Abb. 1: Übersicht über Regionen und Naturräume. Nord: Schleswig-Holstein, Niedersachsen; Süd: Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz; West: Nordrhein-Westfalen; Ost: Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern. Naturräume um Hannover (H): 1: H-West; 2: H-Süd; 3: H-Nord; 4: H-Ost

Regions and natural geographic units. North: Schleswig-Holstein, Niedersachsen; South: Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz; West: Nordrhein-Westfalen; East: Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern. Natural geographic units around Hannover (H): 1: H-West; 2: H-South; 3: H-North; 4: H-East

Zur Quantifizierung verschiedener Einflussfaktoren auf den BZE wurden Varianzkomponenten geschätzt. Die Varianzkomponentenschätzung basiert auf jahresbezogenen Ergebnissen der jährlich neu zugelassenen Sorten der an bis zu 20 Standorten durchgeführten Wertprüfung des Bundessortenamts 1981-2005. Die Ergebnisse des jeweils letzten Wertprüfungsjahrs (Variante ohne Fungizideinsatz) wurden gewählt, da sie den Leistungsstand der Züchtung in Zuckerrüben widerspiegeln. Für die Jahre 1981-2002 wurden ausschließlich Standardsorten (Sorten ohne besondere Resistenz- und Toleranzeigenschaften) berücksichtigt. Ab Anbaujahr 2003 wurden zusätzlich rizomaniatolerante Sorten integriert, da diese ab diesem Zeitpunkt in ihrer Leistung etwa den Standardsorten entsprachen und mehr

als 75% der neu zugelassenen Sorten ausmachten. Jährlich wurden zwischen null (1996) und 13 (2004) neue Sorten zugelassen.

Methodik

Durch lineare Regression ($y = a + bx$), getrennt nach Regionen, wurde eine Prognose der regionalen Entwicklung des Weißzuckerertrags für den Zeitraum von 2006-2015 gestellt. Für die Region Ost wurde zusätzlich eine Exponentialfunktion ($y = a (1 - e^{-bx})$) angepasst, da die durch Verlängerung der Geraden gestellte Prognose nicht angemessen erschien.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket SAS, Version 9.1 (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA). Zum Vergleich der Weißzuckererträge der Regionen wurde eine Varianzanalyse mit der Prozedur GLM durchgeführt. Wegen des ungleichen Stichprobenumfangs (Region Ost seit 1990) wurde dabei die Option LSMEANS angewendet. Die Berechnung der regionalen Gleichungen und der Vergleich der Regressionskoeffizienten, die den Ertragsfortschritt abbilden, erfolgten für WVZ- und WP-Daten innerhalb der Prozedur MIXED (LITTELL et al. 1996). Die Differenzen der Mittelwerte der Regressionskoeffizienten wurden mittels Linearer Kontraste und t-Test auf Signifikanz geprüft. Als Niveau für den Fehler erster Art wurde $\alpha = 0,05$ gewählt.

Im Zuge der Varianzkomponentenschätzung wurde an die Wertprüfungsdaten ein Gemischtes Modell (Prozedur MIXED) mit einem fixen Regionseffekt sowie einem fixen linearen Trend für die Wirkung des technischen Fortschritts angepasst. Die Effekte von Sorte, Jahr, Standort innerhalb der Region und alle Wechselwirkungen wurden als zufällig angenommen. Die Wirkung des Prüffjahres wurde in einen fixen (Trend) und einen zufälligen Anteil (Jahr) zerlegt. Da jeweils Mittelwerte von Sorte x Standort x Jahr analysiert wurden, ist diese Varianzkomponente mit dem Restfehler vermengt und nicht separat schätzbar.

Aufgrund des jährlichen Sortenwechsels (stets neu zugelassene Sorten) in der Wertprüfung und der von Jahr zu Jahr unterschiedlichen Sorten- und Standortzahl ergab sich ein stark unbalancierter Datensatz. Die Schätzung der Parameter des Modells erfolgte deshalb mit dem ReML-(**R**estricted **M**aximum **L**ikelihood)-Algorithmus (PATTERSON & THOMPSON 1971) innerhalb der Prozedur MIXED, der bei einem unbalancierten Datensatz bevorzugt anzuwenden ist (LYNCH & WALSH 1998). Für die im Gemischten Modell notwendige Berechnung der Nenner-Freiheitsgrade

wurde die von KENWARD & ROGER (1997) vorgeschlagene Methode verwendet. Aufgrund der unbalancierten Daten wurden adjustierte Mittelwerte nach der Methode der Kleinsten Quadrate bzw. Gewichteten Kleinsten Quadrate berechnet. Die Anpassung der Exponentialfunktion für die Region Ost und die Erstellung der Abbildungen erfolgte mit dem Softwarepaket SigmaPlot for Windows, Version 10 (Systat Software, Inc.).

Ergebnisse

Entwicklung in Europa

In den Nachbarländern wurden die höchsten kalkulatorischen Zuckererträge im Mittel 2001-2005 mit etwa 11 t ha⁻¹ in Frankreich, Belgien, den Niederlanden und Spanien erzielt. Darauf folgten Großbritannien, Dänemark und auch Deutschland mit etwa 10 t ha⁻¹ (Tab. 1). In Schweden, Ungarn, Polen und der Slowakei wurden 6 bis 8,5 t ha⁻¹ erreicht. In den letzten Jahrzehnten wurde zumeist ein durchschnittlicher jährlicher Anstieg des kalkulatorischen Zuckerertrags von 1 bis 2% in diesen Ländern erreicht. In den osteuropäischen Ländern und der Region Ost in Deutschland sowie in Spanien variierte die jährliche Zunahme für den kürzeren Zeitraum seit etwa 1990 zwischen 3,5 und 7%.

Tab. 1: Kalkulatorischer Zuckerertrag in EU-Mitgliedstaaten im Mittel 2001-2005 (MAIER et al. 2005 und 2007) sowie Anstieg in unterschiedlichen Zeiträumen (IIRB 2007)

Calculated sugar yield in EU member states from 2001-2005 and increase in different periods

Land	Zuckerertrag (t ha ⁻¹) 2001-2005	Anstieg (% p. a.)	im Zeitraum
B	10,74	2,2	1985-2004
DK	9,96	<1,3	1984-2004
E	10,58	5	1990-2005
F	11,88	>1,5	1983-2004
FIN	5,70	>1	1955-2004
GB	10,35	2	1970-2004
I	6,43	<1	1960-2004
NL	10,66	1,4	1950-2004
S	8,41	>1	1985-2004
D	9,50	1,6	1970-2005
D ¹	8,08	3,5	1990-2005
H	6,78	4	1999-2004
PL	7,05	7	1994-2004
SK	6,26	>5	1999-2005

¹ Region Ost

Entwicklung in Deutschland

Der BZE der neu zugelassenen Sorten ist in der Wertprüfung des Bundessortenamts von 1981 bis 2005 von 9,7 t ha⁻¹ auf 12,8 t ha⁻¹ gestiegen (Abb. 2). Der Ertragsanstieg betrug im Mittel der Jahre 0,13 t ha⁻¹, entsprechend 1,16% p. a. Der Weißzuckerertrag stieg im gleichen Zeitraum von 6,7 t ha⁻¹ auf 9,1 t ha⁻¹, entsprechend 1,27% p. a. Die Differenz zwischen Weißzuckerertrag und BZE belief sich im Mittel der Jahre auf 3,3 t ha⁻¹ a⁻¹ und zeigte eine steigende Tendenz. Dies resultiert aus der Tatsache, dass sich die absoluten jährlichen Zuwächse von BZE (0,13 t ha⁻¹) und Weißzuckerertrag (0,10 t ha⁻¹) stärker auswirken als die relativen, wo der Weißzuckerertrag mit 1,27% p. a. über dem BZE (1,16% p. a.) liegt. Die Differenz zwischen Weißzuckerertrag und BZE in Einzeljahren schwankte erheblich zwischen 2 (1987) und 5 t ha⁻¹ (1993). Der hohe BZE der Jahre 1981 und 1993 in der Wertprüfung fand sich nicht in einer überproportionalen Menge an tatsächlich gewonnenem Zucker wieder. Andererseits stand einem unterproportionalen BZE (1987) durchaus ein durchschnittlicher Weißzuckerertrag gegenüber.

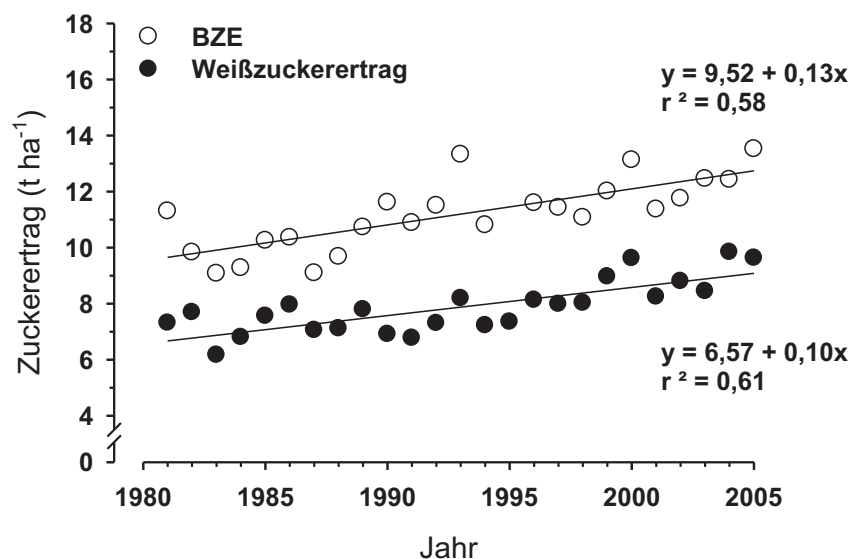


Abb. 2: Entwicklung des Bereinigten Zuckerertrags (BZE) von neu zugelassenen Zuckerrübensorten in der Wertprüfung (WP) des Bundessortenamts und des Weißzuckerertrags (tatsächlich in Fabriken gewonnener Zucker) in Deutschland 1981-2005; Daten für die neuen Bundesländer seit 1991 (WP) und 1990 (tatsächlich gewonnener Zucker); keine Neuzulassungen in 1996

Development of the white sugar yield of new sugar beet varieties from the official variety trials of the Bundessortenamt and the recovered sugar yield (recovered sugar by factories) in Germany 1981-2005. Data from Eastern Germany since 1991 (variety trials) and 1990 (recovered sugar by factories); no new varieties in 1996

Entwicklung in den Regionen

Die Entwicklung des Weißzuckerertrags verlief in den Regionen Süd, West und Nord auf unterschiedlichen Niveaus nahezu parallel (Abb. 3). Insgesamt war der Weißzuckerertrag in der Region Süd am höchsten, gefolgt von West und Nord. Im Mittel von 1981-2005 zeigte der Weißzuckerertrag signifikante Unterschiede zwischen den Regionen Nord und Süd, Ost und West sowie Ost und Süd (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$; nicht dargestellt). In der Region Süd stieg der Weißzuckerertrag 1981-2005 um $3,5 \text{ t ha}^{-1}$, in der Region West um $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ und in der Region Nord um 3 t ha^{-1} . Die Prognose ergab für den Zeitraum 2006-2015 für alle drei Regionen einen Ertragszuwachs von etwa 1 t ha^{-1} .

Deutlich verschieden vollzog sich die Entwicklung in der Region Ost: Der Weißzuckerertrag war 1990 um etwa ein Drittel niedriger als in den anderen drei Regionen und ist bis 2005 von 5 auf $8,7 \text{ t ha}^{-1}$ angestiegen. Dabei war der Anstieg in Ost, der sich auch signifikant von dem der anderen Regionen unterschied, ungefähr doppelt so hoch ($b = 0,23 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) wie in den drei anderen Regionen ($b = 0,11$ bzw. $0,12 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; Tab. 2). Die Entwicklung lässt sich durch Anpassung einer Exponentialfunktion besser beschreiben, da unter Annahme einer linearen Funktion in der Region Ost in zehn Jahren ein höherer Weißzuckerertrag als in der Region Süd zu erwarten wäre. Eine Angleichung der Entwicklung in der Region Ost an die übrigen Regionen ist ausgehend vom aktuellen Ertragsniveau wahrscheinlich.

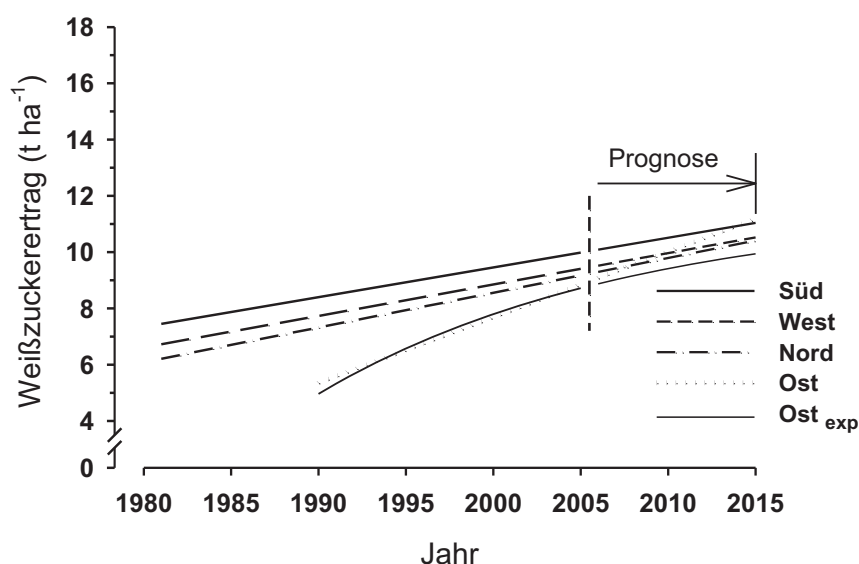


Abb. 3: Entwicklung des Weißzuckerertrags in den Regionen Deutschlands (vgl. Abb. 1) 1981-2005 und Prognose bis 2015. Daten für die neuen Bundesländer (Ost) seit 1990

Development of the recovered sugar yield in different regions of Germany for 1981-2005 and forecast until 2015. Data from Eastern Germany since 1990

Tab. 2: Gleichung ($y = a + bx$) zur Entwicklung des Weißzuckerertrags in den Regionen Deutschlands (vgl. Abb. 1); Vergleich der Regressionskoeffizienten (b) mittels t-Test ($\alpha = 0,05$) und Standardfehler von b , Exponentialfunktion ($y = a (1 - e^{-bx})$) zur Prognose der Entwicklung in der Region Ost

Equation ($y = a + bx$) for the development of recovered sugar yield in different regions in Germany; comparison of regression coefficients (b) via t-test ($\alpha = 0.05$) and standard error of b , exponential function ($y = a (1 - e^{-bx})$) to forecast the development in Eastern Germany

Region	a (1981)	b	t-Test $\alpha = 0,05$	Standardfehler (b)
Süd	7,34	0,11	a	0,0176
West	6,61	0,11	a	0,0176
Nord	6,08	0,12	a	0,0176
Ost	3,02	0,23	b	0,0289
Ost _{exp}	11,57	0,056	-	-

Bei den neu zugelassenen Sorten aus der WP des Bundessortenamts betrug die Streuung des BZE zwischen den Jahren und Regionen über 3 t ha^{-1} und der maximale Abstand zwischen Jahren und Regionen bis zu 6 t ha^{-1} (Abb. 4). Hier zeigte der BZE in der Region Ost bereits ab 1991 eine ähnliche Höhe wie in den anderen Regionen. In jeder der vier Regionen konnte ein BZE über 13 t ha^{-1} erzielt werden. Die Regressionskoeffizienten (b) der Gleichungen, die den jährlichen Ertragsfortschritt im Betrachtungszeitraum abbilden, unterschieden sich zwischen den vier Regionen nicht signifikant (multipler Mittelwertvergleich; t-Test; $\alpha = 0,05$; nicht dargestellt).

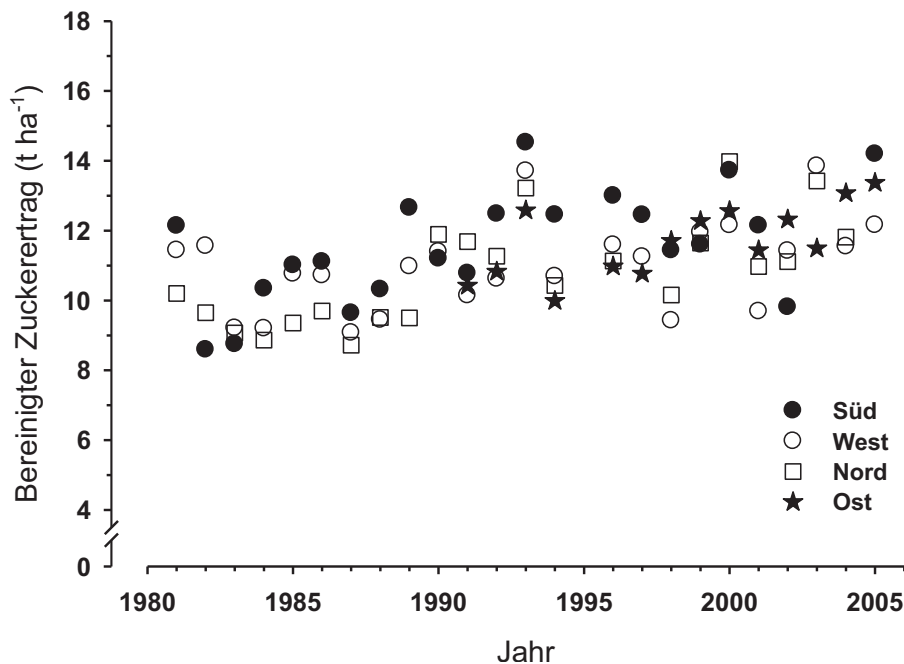


Abb. 4: Bereinigter Zuckerertrag der neu zugelassenen Sorten in der Wertprüfung des Bundessortenamts in den Regionen Deutschlands (vgl. Abb. 1) 1981-2005; Daten für neue Bundesländer (Ost) seit 1991

White sugar yield of new sugar beet varieties from the official variety trials of the Bundessortenamt in different regions of Germany from 1981-2005; Data from Eastern Germany since 1991

Die leistungsstärksten Betriebe erzielten in Einzeljahren unabhängig vom mittleren Ertragsniveau der Region bis zu 16 t ha^{-1} BZE (Abb. 5). Zwischen diesen leistungsstärksten Betrieben variierte der BZE in einzelnen Jahren erheblich von $2,5$ (Süd 2005) bis 7 t ha^{-1} (Süd 2003). Der niedrigste BZE der Betriebe in den Regionen Nord, Ost und West entsprach stets mindestens dem regionalen Weißzuckerertrag oder lag in der Region Ost mindestens 2 t ha^{-1} über dem Weißzuckerertrag. In der Region Süd war der BZE nicht in allen Jahren höher als der regionale Weißzuckerertrag, z. B. erreichte 2003 ein Betrieb der Region Süd lediglich 6 t ha^{-1} BZE.

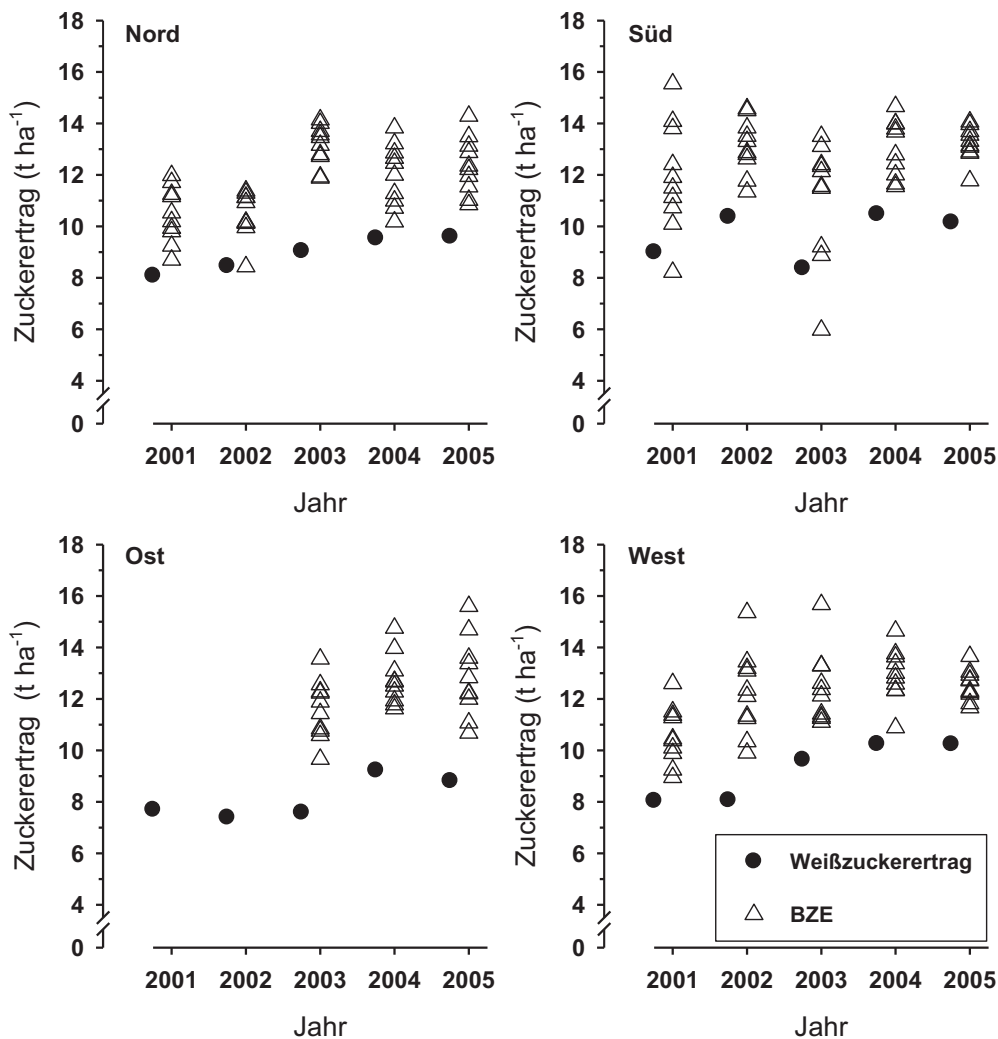


Abb. 5: Weißzuckerertrag in den Regionen Deutschlands (vgl. Abb. 1) sowie Bereinigter Zuckerertrag (BZE) der regional zehn leistungsstärksten Betriebe 2001-2005; Daten für die neuen Bundesländer (Ost) seit 1990, leistungsstärkste Betriebe entsprechend BZE im Durchschnitt 2001-2005 bzw. 2003-2005 (Ost)

Recovered sugar yield in different regions in Germany and white sugar yield of the regionally ten best performing sugar beet farms from 2001-2005; data from Eastern Germany since 1990, best performing farms in relation to mean white sugar yield from 2001-2005 and 2003-2005, respectively (Eastern Germany).

Der mittlere BZE der um Hannover (H) gelegenen Naturräume nahm von H-West über H-Nord und H-Süd nach H-Ost ab (Abb. 6). Der im Mittel höchste BZE wurde in allen Jahren in H-West erzielt. Zwischen den Jahren bestanden in allen vier Naturräumen deutliche Unterschiede in der Höhe des BZE. Im Jahr 2002 war der mittlere BZE mit Werten von 7,4 bis 8,7 t ha⁻¹ vergleichsweise niedrig, in den Jahren 2003 und 2004 mit etwa 8,5 bis 11 t ha⁻¹ deutlich höher. Mit Ausnahme von H-Süd betrug der BZE der leistungsstärksten Betriebe aller Naturräume in Einzeljahren über 14 t ha⁻¹. Der Abstand zwischen dem leistungsstärksten und dem schwächsten Betrieb innerhalb eines Naturraums betrug bis zu 11 t ha⁻¹. Der BZE von 50% der

Betriebe variierte von etwa 1,5 bis 2,5 t ha⁻¹ (Box) und von 80% der Betriebe von etwa 3 bis 4 t ha⁻¹ (Whisker). Insgesamt waren die Ertragsunterschiede zwischen den Betrieben innerhalb eines Naturraums deutlich größer als zwischen den Naturräumen und Jahren.

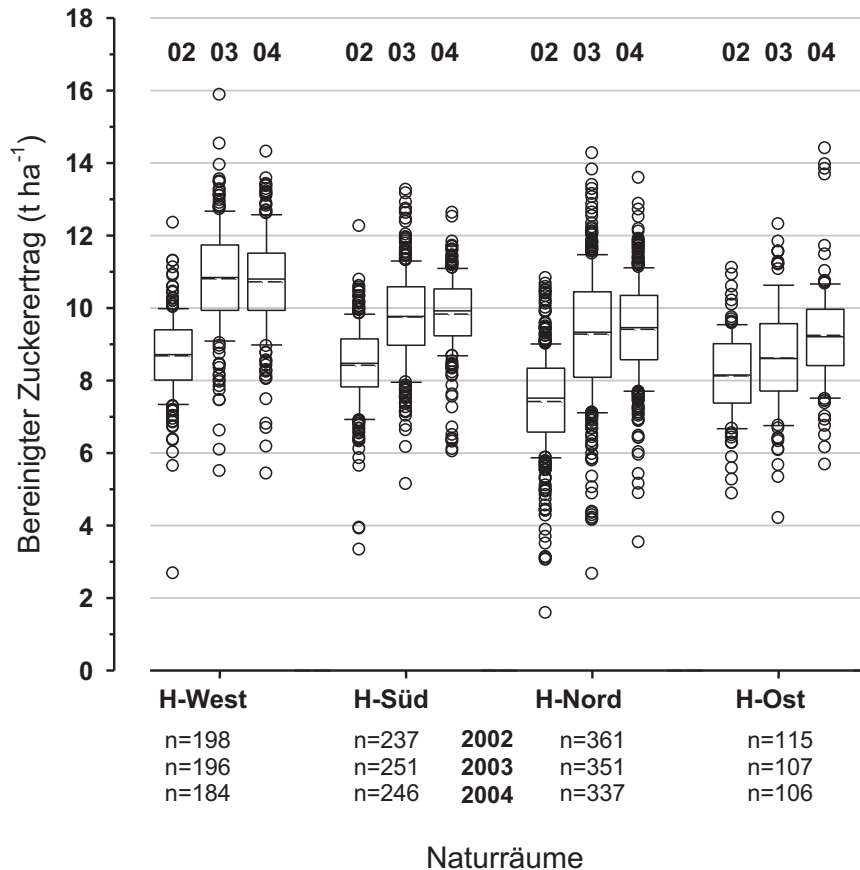


Abb. 6: Mittlerer Bereinigter Zuckerertrag je Betrieb in Naturräumen um Hannover (H) (vgl. Abb. 1) 2002, 2003 und 2004; n = Grundgesamtheit.

Mean white sugar yield per farm in natural geographic units around Hannover (H) 2002, 2003 and 2004; n = population.

Einfluss von Sorte, Jahr, Region und Standort

Die Quantifizierung des Einflusses von Sorte, Jahr, Region und Standort auf den BZE (Tab. 3) beruht auf den in Abb. 4 graphisch dargestellten Daten aus Wertprüfungen des Bundessortenamts. Den größten Einfluss auf den BZE hatte mit 50,8% Varianzanteil die Wechselwirkung zwischen Jahr, Standort und Region, gefolgt von der Hauptwirkung des Jahres mit 22,1% und der Wechselwirkung zwischen Standort und Region mit 13,3%. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Region mit 4,6%, die Hauptwirkung der Sorte mit 3,5% und die Wechselwirkung zwischen Region und Sorte mit 0,4% Varianzanteil beeinflussten den BZE hingegen nur geringfügig.

Tab. 3: Varianzkomponentenschätzung für den Einfluss von Sorte, Jahr, Region und Standort auf den Bereinigten Zuckerertrag von Zuckerrüben und zugehörige Standardfehler auf Grundlage der neu zugelassenen Sorten in der Wertprüfung des Bundessortenamts 1981-2005 in Deutschland. Wechselwirkung von Standort und Sorte nicht schätzbar, da mit Restfehler vermennt

Estimation of variance components for the effect of genotype, year, region and field site on white sugar yield of sugar beet and relevant standard errors based on sugar beet varieties from the official variety trials of the Bundessortenamt 1981-2005. Estimation of the interaction of site and genotype not possible since confounded with residual

Varianzursache	Varianzkomponente	%	Standardfehler
Sorte	0,089	3,5	0,015
Jahr	0,565	22,1	0,228
Sorte*Region	0,010	0,4	0,005
Jahr*Region	0,118	4,6	0,115
Standort*Region	0,341	13,3	0,159
Jahr*Standort*Region	1,302	50,8	0,150
Restfehler	0,137	5,3	0,007

Diskussion

In Deutschland wurden 2005 auf etwa 420.000 ha Zuckerrüben in etwa 45.000 landwirtschaftlichen Betrieben angebaut und von sechs Zuckerunternehmen verarbeitet (WVZ 2006). Der Anbau von Zuckerrüben ist im Rahmen der EU-Zuckermarktordnung (WVZ 2007) über Branchenvereinbarungen und betriebsbezogene Lieferverträge zur Erzeugung von Zucker und seit 2007 von Industrie- und Ethanolrüben geregelt. Daten zur Leistung der Zuckerrübe werden national auf den Ebenen Bundesrepublik, Bundesland, Naturraum und landwirtschaftlicher Betrieb von Bundessortenamt, WVZ und Zuckerunternehmen mit unterschiedlichen Schwerpunkten und individueller Zielsetzung erhoben. Die dadurch existierende, vergleichsweise dichte Datengrundlage wurde genutzt, um gezielte Betrachtungen der Leistung zu bestimmten Zeitpunkten durchzuführen, Entwicklungen über lange Zeiträume abzubilden und Prognosen zu stellen. Datengrundlage der nachfolgend vorgestellten Varianzkomponentenschätzung waren Wertprüfungen des Bundessortenamts, die in Deutschland hinsichtlich des Anbaumanagements nach einheitlichen Vorgaben durchgeführt werden (BUNDESSORTENAMT 2000). Im Gegensatz zu bisherigen Ansätzen erfolgte dabei die Quantifizierung der Wirkung nicht durch sortenorthogonale Versuchsanlagen, sondern durch langjährige Versuchsserien mit stets wechselnden Sorten.

Sorte, Jahr, Standort, Region

Der Einfluss der Sorte auf den BZE war mit 3,5% Varianzanteil über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren mit jährlich wechselnden Zulassungs- und Verrechnungssorten ähnlich gering wie in den jeweils dreijährigen orthogonalen Versuchsserien von MÄRLÄNDER (1991) und WOLF (1995) in Deutschland und einer Untersuchung von HOFFMANN et al. (2007) in fast allen europäischen Anbaugebieten. Auch unter Berücksichtigung der jeweils mehrjährig eingesetzten Verrechnungssorten in der Varianzkomponentenschätzung, die den Effekt der Sorte über den Betrachtungszeitraum normalisierten, waren die Ergebnisse hinsichtlich aller Prüffaktoren nahezu identisch (nicht dargestellt). Der züchterische Fortschritt kann über die Ertragsentwicklung in Wert- und Sortenprüfungen indirekt ermittelt werden, da sich das Anbaumanagement im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren kaum verändert hat (BUNDESSORTENAMT 1977, 1988, 2000). Die jährlich neu zugelassenen Sorten unterschieden sich kaum in ihrer Leistung (MÄRLÄNDER & LADEWIG 1997). Ungeachtet der geringen Sortenunterschiede stieg über die Jahre der BZE der neu zugelassenen Sorten in der Wertprüfung im Betrachtungszeitraum um $0,13 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, entsprechend 1,16% p. a., linear an (Abb. 2) und entsprach mit Ausnahme der osteuropäischen Länder etwa dem Ertragsanstieg in anderen Ländern Europas (Tab. 1). Für den Faktor Sorte ergab sich so aus einem jahresbezogen statisch niedrigen Einfluss über die Zeit ein dynamisch hoher. Die Nutzung des züchterischen Fortschritts im Rahmen des Anbaumanagements setzt deshalb einen häufigen Sortenwechsel voraus. MÄRLÄNDER et al. (2003) führen den jährlichen Ertragsanstieg auf den züchterischen Fortschritt zurück, JAGGARD et al. (2007) dagegen einen erheblichen Teil auf Veränderungen des Klimas. Ursache dafür könnte neben höheren Temperaturen im Frühjahr (CHMIELEWSKI & RÖTZER 2000) auch eine Erhöhung der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre sein (MANDERSCHIED et al. 2005, WEIGEL 2005).

Die geringe Wechselwirkung zwischen Sorte und Region (0,4%) ist für den Zuckerrübenanbau nicht von Bedeutung. Daher gibt es keine Sorten, die für bestimmte Regionen besonders geeignet sind. Eine Ausnahme bilden Sorten, die eine Resistenz bzw. Toleranz gegenüber regional auftretenden Krankheiten aufweisen. Bei diesen wird in der Wertprüfung entweder (i) gezielt zweifaktoriell mit und ohne Fungizid getestet (z. B. *Cercospora beticola*) bzw. erfolgt (ii) eine Anlage von regionalen Sonderprüfungen (z. B. *Rhizoctonia solani*) oder (iii) eine Anlage

sowohl auf befallsfreien Flächen als auch auf Flächen mit Befall (z. B. *Heterodera schachtii*) (MÄRLÄNDER & LADEWIG 1997). Bei Krankheiten mit hoher allgemeiner Bedeutung (z. B. Rizomania) erfolgt dagegen eine Anlage der Wertprüfung nur auf Befallsflächen, so dass sich keine Veränderung der Genotyp-Umwelt-Interaktion ergibt und die Toleranz gegenüber der Krankheit allgemeiner Bestandteil der Zulassung ist. Insgesamt haben Zuckerrübensorten in Deutschland eine hohe Anpassungsfähigkeit für die vielfältigen ökologischen Voraussetzungen. Physiologische Ursache dieser Anpassung ist vermutlich die im Vergleich zu anderen Kulturarten gering ausgeprägte stadienspezifische Differenzierung der Ertragsbildung. Das Jahr beinhaltet den Einfluss der Witterung, wobei deren Komponenten Globalstrahlung (SIBMA 1970), Temperatur, Niederschlagshöhe und -verteilung (BOGUSLAWSKI & SCHILDBACH 1969) den stärksten Einfluss auf die Entwicklung von Zuckerrüben haben und entscheidend auf die Ertrags- und Qualitätsbildung einwirken (CHMIELEWSKI & KÖHN 2002, STOCKFISCH et al. 2002). Mit 22,1% Varianzanteil hatte es ähnlich hohen Einfluss auf den BZE wie in Untersuchungen von GLATTKOWSKI & MÄRLÄNDER (1994) bzw. WOLF (1995). Durch den erheblich längeren Betrachtungszeitraum in dieser Untersuchung wurde eine größere Variation der Jahreswitterung erfasst und dadurch die Aussagekraft erhöht. Die sehr hohe Wechselwirkung zwischen Jahr, Standort und Region (50,8%) lässt sich auf von Jahr zu Jahr und Standort zu Standort innerhalb einer Region stark variierende Witterung und damit verbundener Variation der Aussaattermine zurückführen. Der Erntetermin, der wegen eines relativ hohen Ertragszuwachses der Zuckerrübe im Herbst relevant ist (MÄRLÄNDER 1991), schwankt stark zwischen den Versuchsflächen und Jahren und führt so zusammen mit der Aussaatzeit und dem direkten Einfluss der Witterung am Standort zu dieser ausgesprochen hohen Wechselwirkung. Unter Einbeziehung des Varianzanteils von Jahr und Region (4,6%) entspricht das Ergebnis etwa dem von WOLF (1995) bestimmten Einfluss der Umwelt.

Den Begriff Standort definieren neben Relief und Klima Bodeneigenschaften, die nach WEBSTER et al. (1977) aber nur sehr geringen Einfluss auf die Leistung von Zuckerrüben haben bzw. sich nur bei sehr niedriger Bodengüte verbunden mit geringer Wasserverfügbarkeit auswirken (KENTER 2003). Der mittlere Varianzanteil des Standorts innerhalb einer Region (13,3%) entspricht etwa Untersuchungen von MÄRLÄNDER (1991) und WOLF (1995), die bei separater Betrachtung des Einflusses des Standorts 11,2 und 8,6% Varianzanteil ermittelten. Insgesamt zeigt sich, dass in

Sortenversuchen, die annähernd gleiches Anbaumanagement aufweisen, die Unterschiede im BZE zwischen den Standorten verschiedener Regionen nicht größer sind als die Unterschiede zwischen Standorten innerhalb einer Region. Somit ist der Effekt der Region zu vernachlässigen. Die Variation der Leistung an vergleichbaren Standorten ist letztlich Ausdruck des individuellen Anbaumanagements. Der Einfluss des Anbaumanagements ist i. d. R. kaum von dem des Standorts zu trennen, eine strikte Trennung der Varianzursache ist nur in Dauerversuchen mit Großparzellen möglich (PRINGAS & MÄRLÄNDER 2004).

Anbaumanagement

Nach MÄRLÄNDER (1991) lassen sich Einflussfaktoren auf die Leistung von Zuckerrüben nach der Gestaltbarkeit durch den Landwirt gliedern. Auf die Faktoren Region, Standort und Jahr kann der Landwirt keinen Einfluss nehmen. Alle beeinflussbaren Faktoren fallen im Folgenden unter den Begriff Anbaumanagement. Doch sind beim Anbau von Zuckerrüben nicht alle anbautechnischen Maßnahmen frei gestaltbar, z. B. bestimmen verarbeitungstechnische Vorgaben den Erntetermin oder der Aussattermin zeigt eine Wechselwirkungsvarianz zur Witterung (siehe unten). Bei Zuckerrüben ist somit eine direkte Ermittlung des Einflusses des Anbaumanagements nicht möglich. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde deshalb versucht, den Einfluss indirekt zu bestimmen. Dazu erfolgten auf Bundesebene und regionaler Ebene Vergleiche zwischen der in der Wertprüfung erzielten Leistung neu zugelassener Sorten mit der tatsächlichen betriebsbezogenen Leistung. Die Zuckererträge der regional jeweils zehn leistungsstärksten Betriebe und aller Zuckerrüben anbauenden Betriebe innerhalb von ausgewählten Naturräumen wurde ebenfalls analysiert.

Die Differenz in der Leistung zwischen Wertprüfung und tatsächlich erzeugter Zuckermenge (Anbau und Zuckergewinnung) (Abb. 2) ist erheblich. Die deutlich höhere Leistung der neu zugelassenen Sorten in der Wertprüfung ist nur zu einem kleinen Teil auf die Zeit bis zum Anbau der neuen Sorten in der Praxis zurückzuführen. Generelle Unterschiede zwischen Wertprüfung und Praxisanbau bestehen in der strikten Krankheits- und Schädlingskontrolle und manueller Vereinzelung zur optimalen Standraumzumessung (BUNDESSORTENAMT 2000) und einem als ideal anzusehenden Erntetermin, vorzugsweise im Oktober. Die Bestandesführung ist in Wertprüfungen als ideal für das Wachstum der Kultur zu

sehen, wobei die Bonität von Versuchsfeldern i. d. R. höher und homogener ist als im Mittel des Anbaus. Ziel im Anbau muss es sein, durch verbessertes Anbaumanagement den Abstand zur in der Wertprüfung erzielten Leistung zu verringern.

Der mittlere Weißzuckerertrag einer Region (Abb. 3) wird von einer Vielzahl von landwirtschaftlichen Betrieben bestimmt, so dass davon auszugehen ist, dass der Einfluss des Anbaumanagements gepuffert ist. Zwischen den Regionen besteht über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren eine erhebliche Differenz von bis zu 3 t ha^{-1} (Abb. 3). Es wird angenommen, dass Witterungseinflüsse, insbesondere der Temperaturverlauf im Frühjahr, maßgeblich sein können (KENTER et al. 2006). Eine geringere Leistung durch Wasserdefizit existiert nur flächenmäßig gering auf Sandböden ohne Beregnung oder in Regionen mit hoher negativer klimatischer Wasserbilanz (Rheinhessen/ Pfalz, Mitteldeutsches Trockengebiet). Jedoch existiert im Gegensatz zu anderen Kulturarten, bspw. Winterweizen (u. a. FISCHBECK & DENNERT 1998), keine bedeutende Wechselwirkung der Witterung zu Faktoren des Anbaumanagements, z. B. Wasserdefizit und Sorte (BLOCH & HOFFMANN 2005) oder N-Düngung (WENDENBURG & KOCH 1996, KÖNIG et al. 2005). Zudem ist die Wechselwirkung zwischen den beeinflussbaren Faktoren bei Zuckerrüben vergleichsweise gering, z. B. unterscheiden sich Zuckerrübensorten kaum in ihrer Reaktion auf variierte Bestandesdichten (MÄRLÄNDER & RÖVER 1994), Verunkrautung (BRÄUTIGAM 1998), N-Düngung (HOFFMANN 2005) und Erntezeit (MÄRLÄNDER 1991). Typisch bei Zuckerrüben ist auch die geringe Ertragsreaktion auf die Intensität pflanzenbaulicher Maßnahmen, z. B. auf die Höhe der Bestandesdichte oder N-Düngung, die im Sinne eines falschen Anbaumanagements bei zu niedriger Aussaatstärke oder zu hoher Gabe wegen sinkender technischer Qualität eher nachteilig ist (HOFFMANN 2005).

Die leistungsstärksten Betriebe erzielten mit über 14 t ha^{-1} BZE in allen Regionen eine ähnlich hohe Leistung (Abb. 4), wobei aber eine starke Streuung zwischen den Jahren vorlag. Keiner der leistungsstärksten Betriebe erzielte kontinuierlich Höchstserträge, vielmehr bestimmte vermutlich die Wechselwirkung zwischen Jahr (lokaler Witterung) und individuellem Aussaatzeitpunkt die Leistung im BZE (MÄRLÄNDER 1991). Vor dem Hintergrund etwa gleich hoher Leistungen der leistungsstärksten Betriebe über die Regionen überrascht nicht, dass auch zwischen Naturräumen mit gleicher Witterung, aber unterschiedlicher Bodenart sich die jeweils

leistungsstärksten und leistungsschwächsten Betriebe kaum unterschieden. Innerhalb eines Naturraums waren die Ertragsunterschiede zwischen den Betrieben erheblich größer (bis $11 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) als im Mittel zwischen den verschiedenen Naturräumen und Jahren. Als Maß für den Einfluss des Anbaumanagements können die ungefähr um den Faktor 2 höhere Streuung im BZE innerhalb im Vergleich zu zwischen den Naturräumen und der um bis zu 7 t ha^{-1} höhere BZE der leistungsstärksten Betriebe einer Region im Vergleich zu deren Mittel gelten. Das Anbaumanagement trägt somit erheblich zur Gesamtvarianz des BZE bei.

Nach MÄRLÄNDER (1991) hat die Bestimmung des optimalen Aussaatzeitpunkts innerhalb des Anbaumanagements herausragende Bedeutung für die Erzielung höchster Leistung beim Anbau von Zuckerrüben. Dabei wird die Aussaatperiode stark von der Witterung (d. h. Wechselwirkung zum Jahr) und der optimale Aussaatzeitpunkt von der Tragfähigkeit des Bodens bei Saatbettbereitung und Saat beeinflusst. Der Aussaatzeitpunkt muss vom Landwirt direkt bestimmt werden. Dies erfordert viel Erfahrung, da keine Messmethodik existiert und aufgrund hoher Wechselwirkung zwischen Witterung, Bodenart, eingesetzter Technik etc. auch in Zukunft nicht zu erwarten sein dürfte.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass neben dem züchterischen Fortschritt das Anbaumanagement maßgeblich die Höhe des Bereinigten Zuckerertrags und damit die Leistung der Produktion von Zuckerrüben bestimmt. Wie hoch der Einfluss des Anbaumanagements letztlich ist, zeigt sich in der überproportionalen Entwicklung der Leistung in der Region Ost, die über mit den anderen Regionen vergleichbare Standort- und Witterungsbedingungen verfügt. Durch planwirtschaftliche Vorgaben konnten Anbaumanagement (Pflanzenschutz, Sorten, Maschinenteknik etc.) und Zuckergewinnung nicht optimal gestaltet werden. Daraus resultierte lediglich eine tatsächlich gewonnene Zuckermenge (Weißzuckerertrag) von 3 bis 4 t ha^{-1} , obwohl in Feldversuchen ein kalkulatorischer Zuckerertrag (vergleichbar mit BZE) von über 9 t ha^{-1} erzielt wurde (RÖSTEL 1989).

Ausblick

Allgemein wird bei Zuckerrüben weiterhin ein kontinuierlicher Anstieg der Leistung durch intensive Hybridzüchtung erwartet. Eine Optimierung des Anbaumanagements ist erforderlich, um das genetisch bedingte Ertragspotential der Sorte am Standort zu nutzen. In der vorliegenden Untersuchung konnte die Bedeutung des

Anbaumanagements für den Zuckerrübenanbau gezeigt werden. Dieses für alle Betriebe in allen Regionen zu verbessern erfordert einen systematischen Wissenstransfer von der Forschung über die Beratung in die Praxis.

Danksagung

Wir danken den Zuckerunternehmen Danisco, Pfeifer & Langen, Südzucker und der Zuckerfabrik Jülich für das Überlassen von Datenmaterial zu den leistungsstärksten Betrieben und Nordzucker zusätzlich für das Bereitstellen der Naturraumdaten. Dem Bundessortenamt danken wir für die Erlaubnis der Nutzung von Datenmaterial aus der Wertprüfung, Dr. A. Bückse für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Unterstützung.

Literatur

BAROCKA, K.H., H. GEIDEL & W. MÜLLER, 1972: Der Einfluß der Bestandesdichte und N-Düngung auf die Leistung von Zuckerrüben. I. Rübenertrag, Zuckergehalt, Zuckerertrag. Z. Zuckerind. **22**, 81-88.

BLOCH, D. & C. HOFFMANN, 2005: Seasonal development of genotypic differences in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and their interaction with water supply. J. Agron. Crop Sci. **191**, 263-272.

BOGUSLAWSKI, E. VON & R. SCHILDBACH, 1969: Der Einfluß von Standort, Jahr, Düngung und Beregnung auf die Qualität der Zuckerrübe unter Berücksichtigung des Ertrages. Zucker **22**, 123-132.

BRÄUTIGAM, H. 1998: Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen Unkraut und Zuckerrüben – Auftreten, Ursachen und Konsequenzen für die Unkrautregulierung. Cuvillier, Göttingen.

BUCHHOLZ, K., B. MÄRLÄNDER, H. PUKE, H. GLATTKOWSKI & K. THIELECKE, 1995: Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. Zuckerind. **120**, 113-121.

BUNDESSORTENAMT, 1977: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Verlag Alfred Strothe, Hannover.

BUNDESSORTENAMT, 1988: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Verlag Alfred Strothe, Hannover.

BUNDESSORTENAMT, 2000: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch Verlag, Hannover.

- CHMIELEWSKI, F.-M. & W. KÖHN, 2002: Zuckerrübenenerträge auf Sandboden und witterungsbedingte Ursachen ihrer Variabilität. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. **14**, 129-130.
- CHMIELEWSKI, F.-M. & T. RÖTZER, 2000: Annual and spatial variability of the beginning of growing season Europe in relation to air temperature changes. Agrarmeteorologische Schriften **8**, 1-11.
- EWERT, F., M.D.A. ROUNSEVELL, I. REGINSTER, M.J. METZGER, R. LEEMANS, 2005: Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. Agric. Ecosyst. Environ. **107**, 101-116.
- FISCHBECK, G. & J. DENNERT, 1998: Sortenbedingte Differenzierungen der Aufnahme und Verwertung von Stickstoff bei Winterweizen. Pflanzenbauwiss. **2**, 176-182.
- GLATTKOWSKI, H. & B. MÄRLÄNDER, 1994: Zur Frage der Beeinflußbarkeit von Ertrag und Qualität beim Anbau von Zuckerrüben durch pflanzenbauliche Maßnahmen. Teil 1: Ertragsparameter und Melassebildner. Zuckerind. **119**, 570-574.
- HOFFMANN, C., 2005: Changes in N Composition of Sugar Beet Varieties in Response to Increasing N Supply. J. Agron. Crop Sci. **191**, 138-145.
- HOFFMANN, C. 2006: Zuckerrüben als Rohstoff: Die technische Qualität als Voraussetzung für eine effiziente Verarbeitung. Weender Druckerei GmbH & Co. KG, Göttingen.
- HOFFMANN, C.M., A.W.M. HUIBREGTS, N. VAN SWAIJ & R. JANSEN, 2007: Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes (*Beta vulgaris* L.). Europ. J. Agronomy (submitted).
- IFZ, 2007: Jahresbericht des Instituts für Zuckerrübenforschung 2006/07. <http://www.ifz-goettingen.de/site/de/247/jahresberichte.html> (Zugriff: 10.10.2007).
- JAGGARD, K.W., A. QI & M.A. SEMENOV, 2007: The impact of climate change on sugar beet yield in the UK: 1976-2004. J. Agric. Sci. **145** (4), 367-375.
- IIRB, 2007: persönliche Mitteilung; Ergebnisse einer Erhebung des Institut International de Recherches Betteravières (IIRB), vorgestellt anlässlich des Scientific Advisory Committee Meeting am 11.10.2005 in Brüssel.
- KENTER, C. (2003): Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Witterung. Cuvillier, Göttingen.
- KENTER, C., C. HOFFMANN & B. MÄRLÄNDER, 2006: Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). Europ. J. Agronomy **24**, 62-69.

KENWARD, M.G. & J.H. ROGER, 1997: Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. *Biometrics* **53**, 983-997.

KNÄLMANN, F., 2007: Persönliche Mitteilung von Herrn F. Knälmann, Nordzucker AG, Braunschweig.

KÖNIG, H.-P., H.-J. KOCH & B. MÄRLÄNDER, 2005: Wirkung langjährig differenzierter Bodenbearbeitung und N-Düngung auf N-Aufnahme und N-Bilanz einer Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge. *Pflanzenbauwiss.* **9**, 19-28.

LITTELL, R.C., G.A. MILLIKEN, W.W. STROUP & R.D. WOLFINGER, 1996: SAS[®] System for Mixed Models. SAS Institute Inc., Cary, NC.

LYNCH, M. & B. WALSH, 1998: *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.

MANDERSCHIED, R., A. PACHOLSKI & H.-J. WEIGEL, 2005: Hinweise auf eine Senkenlimitierung des Wachstums von Zuckerrüben unter erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentration. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **17**, 365-366.

MÄRLÄNDER, B., 1991: *Zuckerrüben – Optimierung von Anbauverfahren, Züchtungsfortschritt, Sortenwahl*. Bernhardt-Pätzold, Stadthagen.

MÄRLÄNDER, B. & A. RÖVER, 1994: Einfluß von Sorte und Bestandesdichte auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben – ein Beitrag zur Lichtkonkurrenz. *Zuckerind.* **119**, 39-47.

MÄRLÄNDER, B. & E. LADEWIG, 1997: Entwicklung wertbestimmender Eigenschaften bei Zuckerrübensorten. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* **39**, 126-140.

MÄRLÄNDER, B., C. HOFFMANN, H.-J. KOCH, E. LADEWIG, R. MERKES, J. PETERSEN & N. STOCKFISCH, 2003: Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *J. Agron. Crop Sci.* **189**, 201-226.

MAIER, K., O. BARON & J. BRUHNS, 2005: *Zuckerwirtschaft Europa 2005*. 51. Jahrgang, Verlag Dr. Albert Bartens, Berlin.

MAIER, K., O. BARON & J. BRUHNS, 2007: *Zuckerwirtschaft Europa 2007*. 53. Jahrgang, Verlag Dr. Albert Bartens, Berlin.

PATTERSON, H. D. & R. THOMPSON, 1971: Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika* **58**, 545-554.

PRINGAS, C. & B. MÄRLÄNDER, 2004: Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualität, Rentabilität und Cercospora-Befall von Zuckerrüben – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. *Pflanzenbauwiss.* **8**, 82-90.

REINEFELD, E., A. EMMERICH, G. BAUMGARTEN, C. WINNER & U. BEIß, 1974: Zur Voraussage des Melassezuckers aus Rübenanalysen. *Zucker* **27**, 2-15

RÖSTEL, H. J., 1989: Entwicklung der Zuckerrübenzüchtung in Klein Wanzleben unter besonderer Beachtung der Zeit nach 1945 und weiterer Vorstellungen. In: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR (Hrsg.): Erhöhung von Ertrag und Qualität in Zuckerrübenzüchtung und Zuckerrübenproduktion, Tagungsbericht Nr. 276, 19-30, Berlin.

SIBMA, L., 1970: Relation between total radiation and yield of some field crops in the Netherlands. *Neth. J. agric. Sc.* **18**, 125-131.

STOCKFISCH, N., H.-J. KOCH & B. MÄRLÄNDER, 2002: Einfluss der Witterung auf die Trockenmassebildung von Zuckerrüben. *Pflanzenbauwiss.* **6**, 63-71.

WEBSTER, R., C.A.H. HODGES, A.P. DRAYCOTT & M.J. DURRANT, 1977: The effect of soil type and related factors on sugar beet yield. *J. Agric. Sc.* **88**, 455-469.

WEIGEL, H.-J., 2005: Gesunde Pflanzen unter zukünftigem Klima. Wie beeinflusst der Klimawandel die Pflanzenproduktion? *Gesunde Pflanzen* **57**, 6-17.

WENDENBURG, C. & H.-J. KOCH, 1996: Zum Einfluß unterschiedlicher Sorteneigenschaften auf den Stickstoffentzug von Zuckerrüben. *Zuckerind.* **121**, 623-630.

WOLF, I., 1995: Sorte und Sortenwahl bei Zuckerrüben und deren Wechselwirkung zu Umwelt und Qualitätsbezahlung. Cuvillier, Göttingen.

WVZ, 2006: Jahresbericht der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker und des Vereins der Zuckerindustrie 2005/2006. Bonn.

WVZ, 2007: Europäische und nationale Verordnungen zur neuen Zuckermarktordnung 2006/07. Änderungen, Berichtigungen, Ergänzungen. Bonn.

Anschrift der Verfasser:

Julia Fuchs, Dr. Nicol Stockfisch, Prof. Dr. Bernward Märländer, Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, D-37079 Göttingen, E-Mail: mail@ifz-goettingen.de, Telefon: 0551/50562-0, Fax: 0551/50562-99

3. Effizienzentwicklung im Zuckerrübenanbau am Beispiel der N-Düngung

Development of efficiency in sugar beet cultivation as illustrated by N-fertilizer application

Julia Fuchs und Nicol Stockfisch

Abstract

Durch gesunkene Preise infolge der Reform der EU-Zuckermarktordnung gewinnt ein effizienter Anbau von Zuckerrüben stark an Bedeutung. Zur Abbildung der aktuellen Situation wurden Ergebnisse einer bundesweiten Befragung unter Zuckerrübenanbauern genutzt. Für die Prozesse Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte wurden auf Schlagebene Effizienzkriterien berechnet, d.h. Energieinput der Bodenbearbeitung (GJ), N-Düngung (kg), Behandlungsindex und Erdanteil (t) wurden als prozessspezifischer Aufwand betrachtet und ins Verhältnis zum Bereinigten Zuckerertrag (BZE) gesetzt. Aggregiert bilden diese Effizienzkriterien den Gesamt-Effizienzindex. Schläge mit einer niedrigen Gesamt-Effizienz befanden sich in mindestens drei Prozessen unter dem Mittelwert, Schläge mit einer hohen Gesamt-Effizienz in mindestens drei Prozessen über dem Mittelwert. Exemplarisch für die N-Düngung konnte aufgezeigt werden, dass sich die Effizienz durch die Reduktion des Aufwands deutlich schneller steigern ließe, als durch Ertragssteigerungen, die zwar stetig, aber insgesamt verhalten realisiert werden. Die Variation der Düngung auf den Schlägen war sehr groß (3,5 - 38 kg N t⁻¹ BZE) und die Reduktionspotentiale damit sehr unterschiedlich. Insgesamt bestehen im Zuckerrübenanbau gute Ausgangsbedingungen für Effizienzsteigerungen, da eine Reduzierung des Aufwands nicht zwangsläufig einen verminderten Ertrag bedeutet und weiterhin mit Ertragssteigerungen zu rechnen ist.

Stichwörter: Aufwand, Ertrag, Effizienz, Energieinput, N-Düngung, Behandlungsindex, Erdanteil

As a consequence of EU sugar regime reform, prices for sugar beet were reduced and an efficient sugar beet cultivation gains in importance. In this study the current situation is represented by the results of a nationwide survey of sugar beet growers. In this regard efficiency criteria were calculated for soil tillage, fertilizer application,

plant protection and harvest at field site level, i.e. energy input for tillage (GJ), N-fertilizer rate (kg), standardised treatment index and soil tare (t) were considered as process specific input and were related to white sugar yield (WSY). These four efficiency criteria were aggregated to an over-all efficiency index. Field sites with a low over-all efficiency lay minimum three processes under the arithmetic mean, field sites with a high over-all efficiency lay minimum three processes over the arithmetic mean. As an example, N-fertilizer application was selected to show that efficiency is easier to rise by reducing the input level than by increasing yields. Indeed rising yields are put into practice steadily, but only in a slow manner and with rather small effects on efficiency. The variation of fertilizer application on field site level was very large ($3.5 - 38 \text{ kg N t}^{-1} \text{ WSY}$) and so was reducible input in order to enhance efficiency. Altogether in sugar beet cultivation the basic conditions to become more efficient are excellent, because a reduced input does not necessarily imply a diminished output and in addition further yield increases are likely.

Key words: input, output, efficiency, energy input, N-fertilization, standardized treatment index, soil tare

1 Einleitung

In der Vergangenheit haben züchterische und anbautechnische Fortschritte den Ertrag erhöht (*Merkes et al.*, 1996) und dürften auch in Zukunft eine nachhaltige Entwicklung im Zuckerrübenanbau gewährleisten (*Märlander et al.*, 2003). Jedoch haben sich für den Zuckerrübenanbau tiefe Einschnitte durch die Reform der EU-Zuckermarktordnung ergeben, die eine starke Senkung der Erzeugerpreise zur Folge hatte (*Anonym*, 2006). Bei gleichzeitig gestiegenen Preisen für andere Marktfrüchte konkurriert die Zuckerrübe um den Anbau mit anderen Ackerkulturen. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Effizienz im Anbau von Zuckerrüben stark an Bedeutung.

Effizienz beschreibt das Verhältnis zwischen dem erreichten Ergebnis und den eingesetzten Ressourcen (*DIN EN ISO 9000*, 2005). Die Effizienz im Zuckerrübenanbau wird neben dem Ertrag maßgeblich von der Gestaltung der Prozesse Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte bestimmt. Grundsätzlich wird der höchste mögliche Ertrag angestrebt, erzielt mit Produktionsverfahren die Umweltverträglichkeit gewährleisten und kostengünstig zu realisieren sind.

Im Zuckerrübenanbau lässt sich Effizienz als prozessspezifischer Aufwand im Verhältnis zum Ertrag beschreiben. Sie lässt sich durch Erhöhung der Flächenproduktivität, d.h. einen höheren Zuckerertrag pro ha bei konstantem Ressourceneinsatz, steigern. Aber auch eine Erhöhung der Ressourcenproduktivität, und damit ein gleich bleibender Zuckerertrag bei niedrigerem Ressourceneinsatz, lässt die Effizienz steigen. Ökonomische und ökologische Effizienz entwickeln sich überwiegend gleichgerichtet, so dass ein sinkender Ressourceneinsatz mit sinkenden Kosten und sinkenden negativen Umweltwirkungen einhergeht.

Daraus ergaben sich für die vorliegende Arbeit folgende Fragen, die exemplarisch für die Effizienz der N-Düngung und für den Zuckerrübenanbau im Ganzen erörtert werden sollen:

1. Welche Effizienz wird aktuell im Zuckerrübenanbau in Deutschland erreicht?
2. Bestehen Unterschiede in der Effizienz zwischen Regionen Deutschlands?
3. Welche Effizienzsteigerungen, abgeleitet aus der Entwicklung der vergangenen 25 Jahre, sind möglich bzw. künftig zu erwarten?

Zur Beschreibung der aktuellen Effizienz im Zuckerrübenanbau wurden die Ergebnisse einer bundesweiten Befragung unter Zuckerrübenanbauern für das Anbaujahr 2004 genutzt. Der Weißzuckerertrag, Kennzahl zum Anbau in der Erzeugungsstatistik der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker (WVZ, 2006), wurde herangezogen, um den Ertrag in den Regionen Nord, Ost, Süd und West abzubilden und Prognosen für die weitere Entwicklung abzuleiten. Für eine retrospektive Betrachtung der Effizienzentwicklung der N-Düngung wurden langjährige Daten aus Süd- und Westdeutschland verwendet.

2 Material und Methoden

2.1 Datenbasis

Datengrundlage bildet eine Befragung von 109 Zuckerrübenanbauern in allen deutschen Anbaugebieten (Stockfisch et al., 2008) für das Anbaujahr 2004. Die Daten zur Anbaugestaltung wurden auf Schlagebene erfasst, da schlagspezifische Gegebenheiten die Entscheidungen des Landwirts beeinflussen.

2.2 Kennzahlen der Zuckerrüben- und Zuckerproduktion

Als Kennzahl für die Leistung der Zuckerrübe wurde der Bereinigte Zuckerertrag (BZE) auf Schlagebene herangezogen. Der BZE charakterisiert Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in Deutschland (*Märländer et al.*, 2003) und findet Anwendung bei der Auswertung von Versuchen und bei der Beurteilung der Leistung im landwirtschaftlichen Betrieb (*Hoffmann*, 2006). In die Formel zur Berechnung des BZE (t ha^{-1}) gehen Rübenenertrag (RE; t ha^{-1}), Zuckergehalt (ZG; %), Standardmelasseverlust (SMV; %) und ein Standardfabrikverlust (SFV) von 0,6 % ein (1):

$$BZE = RE * (ZG - SMV - SFV) \quad (1)$$

Der SMV berücksichtigt die Gehalte der melassebildenden Inhaltsstoffe Kalium, Natrium und α -Amino-Stickstoff und definiert den Anteil an Zucker, der in der Melasse verbleibt (*Buchholz et al.*, 1995). Die zur Berechnung des BZE benötigten Angaben sind aus den Liefermitteilungen der Zuckerfabriken an die Betriebe entnommen. Die Zuordnung der Rübenlieferungen zum jeweiligen Schlag erfolgte durch den Betriebsleiter. Zur Abbildung der Entwicklung der Zuckererzeugung in Deutschland von 1981-2005 wurde der Weißzuckerertrag herangezogen, der den tatsächlich erzeugten Zucker geteilt durch die Anbaufläche einer Zuckerfabrik angibt und auf Ebene der Bundesländer von der WVZ jährlich erhoben wird. Werden der Weißzuckerertrag und die in der Betriebsbefragung erhobenen Daten regional dargestellt, folgen sie der in Abbildung 1 gezeigten Einteilung in Nord, Ost, Süd und West.



Abb. 1: Übersicht über die Einteilung der Regionen und geographische Herkunft der KORA- und AK 1-Daten. Nord: Schleswig-Holstein, Niedersachsen; Süd: Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz; West: Nordrhein-Westfalen; Ost: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen. KORA-Erhebung vorwiegend in Franken und Niederbayern; AK 1-Erhebung in der Köln-Aachener Bucht

2.3 Effizienzkriterien

Für die Prozesse Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte wurden Effizienzkriterien abgeleitet. Bei den nachstehend beschriebenen Effizienzkriterien handelt es sich um Quotienten, die den prozessbezogenen Aufwand (Input) ins Verhältnis zur Leistung, d.h. dem BZE (Output), setzen. Für 232 Schläge konnten die Effizienzkriterien zu Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz berechnet werden. Das Effizienzkriterium zur Ernte ließ sich wegen fehlender Werte nur für 224 Schläge berechnen.

2.3.1 Bodenbearbeitung

Das Effizienzkriterium zur Bodenbearbeitung gibt den Energieinput für die Bodenbearbeitung (GJ ha^{-1}) im Verhältnis zum BZE (t ha^{-1}) an. Der Energieinput hängt von Art, Tiefe und Häufigkeit der Bodenbearbeitungsgänge sowie eingesetzter Maschinenteknik ab und spiegelt in der Summe die Intensität der Bodenbearbeitung

wider. Alle Bodenbearbeitungsgänge nach der Ernte der Vorfrucht bis zur Aussaat der Zuckerrübe sind berücksichtigt. Der Energieinput für die Bodenbearbeitung auf Schlagebene wurde mit dem Modell REPRO berechnet (*Hülsbergen, 2003*). REPRO bezieht den gesamten direkten und indirekten Energieaufwand ein. Direkte Energie umfasst Kraft- und Schmierstoffe, indirekte Energie den energetischen Herstellungsaufwand für Traktoren und Bodenbearbeitungsgeräte, abgeschrieben auf die Lebensdauer. Detailliert beschrieben ist die methodische Vorgehensweise von REPRO bei *Deumelandt und Christen (2008)*.

2.3.2 Düngung

Das Effizienzkriterium zur Düngung gibt die gesamte organische und mineralische N-Düngung (kg N ha^{-1}) im Verhältnis zum BZE (t ha^{-1}) an. Die N-Düngung wurde gewählt, da sie spezifisch zu Zuckerrüben erfolgt. Dagegen können P- und K-Düngung nur in der Fruchtfolge sinnvoll betrachtet werden. Es wurden alle Düngergaben nach Ernte der Vorfrucht berücksichtigt. Für organische Dünger wurden die N-Gehalte nach Standardwerten berechnet (*Kolbe, 2006; LWK, 2007*). Dabei wurde der für die Zuckerrübe während der Vegetationszeit verfügbare Rein-N (kg ha^{-1}) angerechnet. Da die Bedingungen, unter denen die Ausbringung erfolgte, nicht bekannt waren, ließen sich keine Ausbringungsverluste ermitteln.

2.3.3 Pflanzenschutz

Das Effizienzkriterium zum Pflanzenschutz gibt den Behandlungsindex (BI) im Verhältnis zum BZE (t ha^{-1}) an. Der BI ist die Kennzahl des Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz der Bundesregierung (*BMVEL, 2004*) und ein Indikator für die Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in der Landwirtschaft. Der BI ist definiert als die Menge der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel bezogen auf die jeweils zugelassene Aufwandmenge und die behandelte Anbaufläche (*Roßberg, 2006*). Bei der Berechnung wird jede Anwendung eines Pflanzenschutzmittels gesondert betrachtet, auch wenn das Pflanzenschutzmittel innerhalb einer Tankmischung ausgebracht wird. Alle Pflanzenschutzmittelapplikationen über alle Wirkstoffgruppen, die auf den Schlägen nach der Ernte der Vorfrucht bis zur Ernte der Hauptfrucht Zuckerrübe stattfanden, sind im BI addiert. Die in geringen Mengen als Saatgutbeizung ausgebrachten Insektizide und Fungizide wurden nicht eingerechnet.

2.3.4 Ernte

Das Effizienzkriterium zur Ernte gibt den Erdanteil ($t\ ha^{-1}$) im Verhältnis zum BZE ($t\ ha^{-1}$) an. Bei der Zuckerrübenernte kommt es zum Bodenabtrag und damit zum Verlust an Ackerkrume. Diese Verluste können als anthropogen verursachte Erosionsereignisse angesehen werden (*Ruysschaert et al., 2004*). Der Erdanteil beinhaltet die den Rüben anhaftende Erde und beim Transport mitgeführte lose Erde und Steine. Die Angaben aus den Liefermitteilungen der Zuckerfabriken sind unterschiedlich ausführlich, enthalten aber alle die Größe Gesamtabzug. Deshalb wurde der Erdanteil ($t\ ha^{-1}$) aus Gesamtabzug (%) minus 3,5% Pauschalabzug für den Kopf-/Blattanteil und dem Brutto-Rübenertrag berechnet.

2.3.5 Effizienz-Indexzahl und Gesamt-Effizienzindex

Die Effizienz von Zuckerrübenanbauverfahren lässt sich durch Aggregation der einzelnen Effizienzkriterien zu einem Index beschreiben. Aus den vier oben vorgestellten Effizienzkriterien wurde für jeden der 224 Schläge eine Effizienz-Indexzahl berechnet. Dafür wurden zunächst die Einzelwerte der vier Effizienzkriterien auf ein einheitliches Skalenniveau überführt, d.h. sie wurden auf den Mittelwert aller Schläge des jeweiligen Effizienzkriteriums relativiert. Die relativen Werte der vier Effizienzkriterien, in gleicher Gewichtung addiert, bilden die Effizienz-Indexzahl. Das Mittel aus allen Effizienz-Indexzahlen auf Schlagebene ($n=224$) ergibt den Gesamt-Effizienzindex im Zuckerrübenanbau der Befragung für 2004.

2.4 Regionale Betrachtung

Um die Entwicklung der Effizienz der Düngung retrospektiv aufzuzeigen, wurden Daten von KORA (**K**ostenrechnung im Zuckerrübenanbau) und des Arbeitskreises für Betriebsführung (AK1) der Jahre 1981 bzw. 1986-2005 herangezogen. Die KORA-Daten stammen vorwiegend aus den zwei Anbauregionen Franken und Südbayern innerhalb der Region Süd, die AK 1-Daten aus der Anbauregion Köln-Aachener Bucht innerhalb der Region West (Abb. 1).

2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket SAS, Version 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Die regionalen Daten folgten, größtenteils auch nach einer log-Transformation, nicht der Normalverteilung. Deshalb wurde ein nicht-

parametrisches statistisches Verfahren basierend auf einer Rangtransformation (Proc RANK) der Daten verwendet (Brunner und Munzel, 2002). Zum Vergleich der Regionen hinsichtlich des Effizienzkriteriums zur Düngung wurde eine Varianzanalyse (Proc MIXED) durchgeführt. Wegen des ungleichen Stichprobenumfangs wurde dabei die Option LSMEANS angewendet. Die Differenzen der mittleren Ränge wurden mit multiplem t-Test auf Signifikanz geprüft.

3 Ergebnisse

Das Effizienzkriterium zur Düngung, das die Summe der mineralischen und organischen N-Düngung (kg N ha^{-1}) im Verhältnis zum BZE (t ha^{-1}) umfasst (Abb. 2), lag über alle Schläge zwischen 38 (niedrigste Effizienz) und $3,5 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE (höchste Effizienz). Im Mittel waren es $13,4 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE. Mehr als die Hälfte der Schläge wies Werte über dem Mittelwert von $13,4 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE auf und war damit unterdurchschnittlich effizient. Die 25% der Schläge mit der niedrigsten Effizienz ($n=58$) variierten mit 16 bis 38 kg N t^{-1} BZE besonders deutlich. Die mittleren 50% der Schläge ($n=116$) wurden mit 9 bis 16 kg N t^{-1} BZE gedüngt. Die 25% der Schläge mit der höchsten Effizienz erhielten $3,5$ bis 9 kg N t^{-1} BZE.

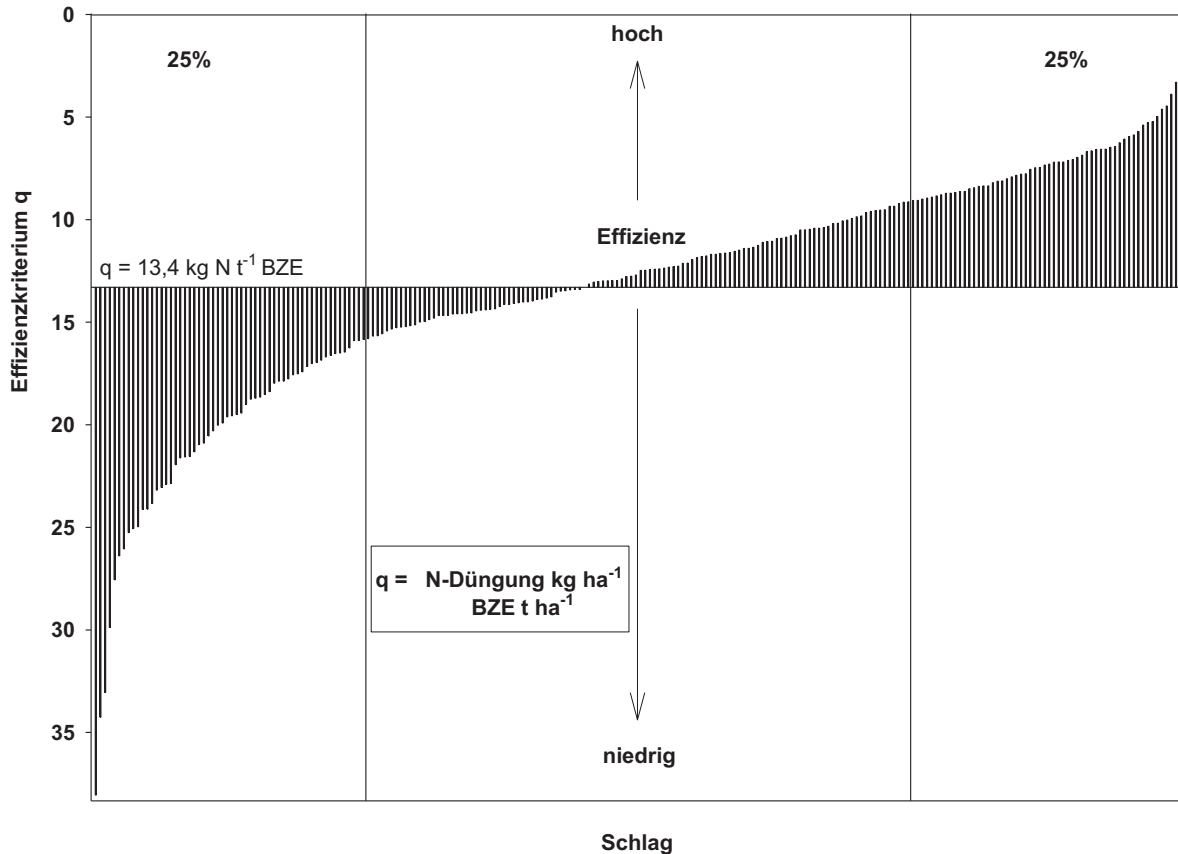


Abb. 2: Effizienzkriterium q zur Düngung auf den Schlägen der Befragung 2004 ($n=232$); Mittelwert (MW) über alle Schläge $q = 13,4 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE; Schläge aufsteigend sortiert

Abbildung 3 zeigt den BZE ($t\ ha^{-1}$) in Abhängigkeit von der N-Düngung ($kg\ ha^{-1}$) auf Schlagebene. Es bestand keine Korrelation zwischen den beiden Größen. Sowohl mit einer äußerst hohen Düngung von über $250\ kg\ N\ ha^{-1}$ als auch mit einer niedrigen von unter $80\ kg\ N\ ha^{-1}$ wurde ein BZE von $14\ t\ ha^{-1}$ erzielt. Niedrige Erträge von unter $8\ t\ ha^{-1}$ im BZE wurden mit sehr niedriger, aber auch mit sehr hoher N-Düngung erreicht. Die Linie gibt den Mittelwert von $13,4\ kg\ N\ t^{-1}$ BZE über alle Schläge der Befragung an. Dabei lag etwas mehr als die Hälfte der Schläge über dem Mittelwert von $13,4\ kg\ N\ t^{-1}$ BZE (vgl. Abb.2).

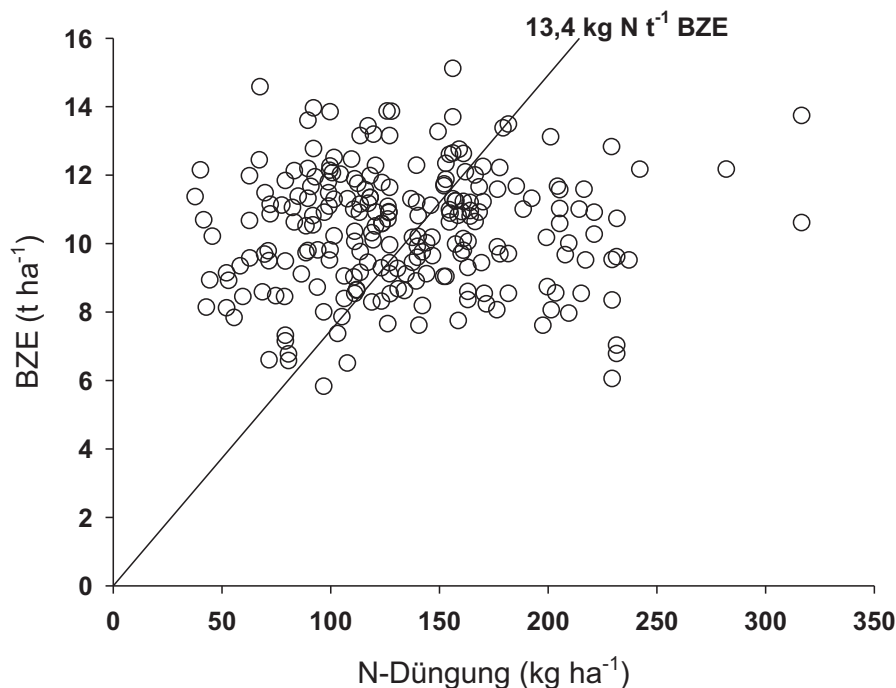


Abb. 3: Bereinigter Zuckerertrag (BZE; $t\ ha^{-1}$) in Abhängigkeit von der N-Düngung ($kg\ ha^{-1}$). Die Linie zeigt die mittlere N-Düngung in $kg\ t^{-1}$ BZE auf den Schlägen der Befragung 2004 ($n=232$)

Bei regionaler Betrachtung der Effizienz der Düngung (Abb. 4) wurde deutlich, dass jeweils die Ergebnisse der Regionen Nord und West bzw. der Regionen Ost und Süd hinsichtlich der regionalen Mittelwerte und in ihrer Verteilung um den Mittelwert sehr ähnlich waren. In Nord und West lagen etwa zwei Drittel der Schläge in der Effizienz unter dem Gesamtmittelwert von $13,4\ kg\ N\ t^{-1}$ BZE, in Ost und Süd war es etwa ein Viertel. Die Streuung war in allen vier Regionen groß, d.h. überall waren Schläge mit sehr niedriger Effizienz der N-Düngung von $>25\ kg\ N$, aber auch mit hoher von $<8\ kg\ N\ t^{-1}$ BZE zu finden. Die durchschnittliche Effizienz der N-Düngung in Ost und Süd lag mit etwa $10\ kg\ N\ t^{-1}$ BZE deutlich über der in Nord und West mit etwa $16\ kg\ N\ t^{-1}$ BZE. Die Regionen Nord und West unterschieden sich in ihrem mittleren Rang signifikant von den Regionen Ost und Süd.

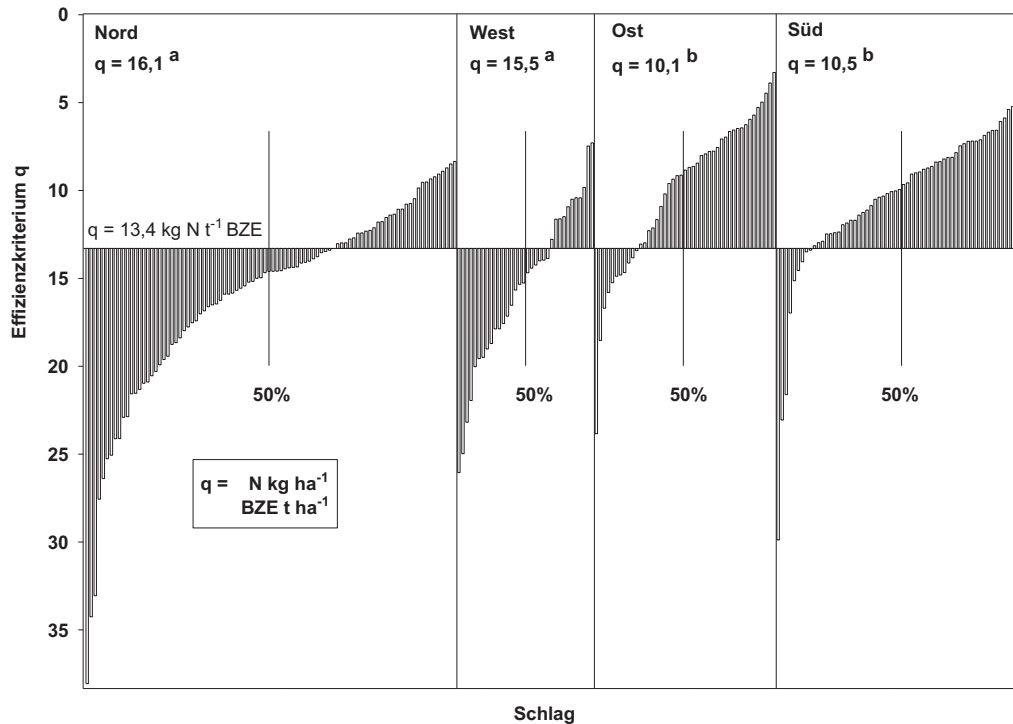


Abb. 4: Effizienzkriterium q zur Düngung auf den Schlägen der Befragung 2004 gegliedert nach Regionen (vgl. Abb. 1): Nord ($n=92$), West ($n=34$), Ost ($n=45$) und Süd ($n=61$). Mittelwert über alle Schläge $q=13,4 \text{ kg N t}^{-1} \text{ BZE}$; Schläge aufsteigend sortiert, beginnend mit den Schlägen mit der niedrigsten Effizienz entsprechend dem höchsten N-Einsatz $\text{t}^{-1} \text{ BZE}$. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen den Regionen

Das Effizienzkriterium zur Bodenbearbeitung lag im Mittel über alle Schläge bei $0,31$ (Spannweite $0,08-0,57$) $\text{GJ t}^{-1} \text{ BZE}$, das Effizienzkriterium zum Pflanzenschutz bei $0,51$ (Spannweite $0,17-1,27$) $\text{t}^{-1} \text{ BZE}$ und das Effizienzkriterium zur Ernte bei einem Erdanteil von $0,35 \text{ t}$ (Spannweite $0,07-0,91$) $\text{t}^{-1} \text{ BZE}$ (nicht dargestellt).

Die Punkte in Abbildung 5 stellen die Effizienz-Indexzahlen dar, die sich aus der Summe der relativen Werte der vier Prozesse Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte ergeben haben. Je höher die Effizienz-Indexzahl, desto höher war auch die Effizienz des Zuckerrübenanbaus auf dem Schlag. Die Effizienz-Indexzahlen lagen in einem Bereich zwischen -370 (niedrigste Effizienz) und 200 (höchste Effizienz). Schläge im unteren Viertel, d. h. mit einer niedrigen Effizienz, befanden sich mit wenigen Ausnahmen in mindestens drei der vier Prozesse unter dem jeweiligen prozessspezifischen Mittelwert. Schläge mit einer mittleren Effizienz-Indexzahl setzten sich meist aus über- und unterdurchschnittlichen Einzelkriterien zusammen. Diese hoben sich dann in der Effizienz-Indexzahl gegenseitig auf. Die Schläge im oberen Viertel, die hohe Werte erreichten, lagen häufig in allen vier, mindestens aber in drei Effizienzkriterien über dem Mittelwert.

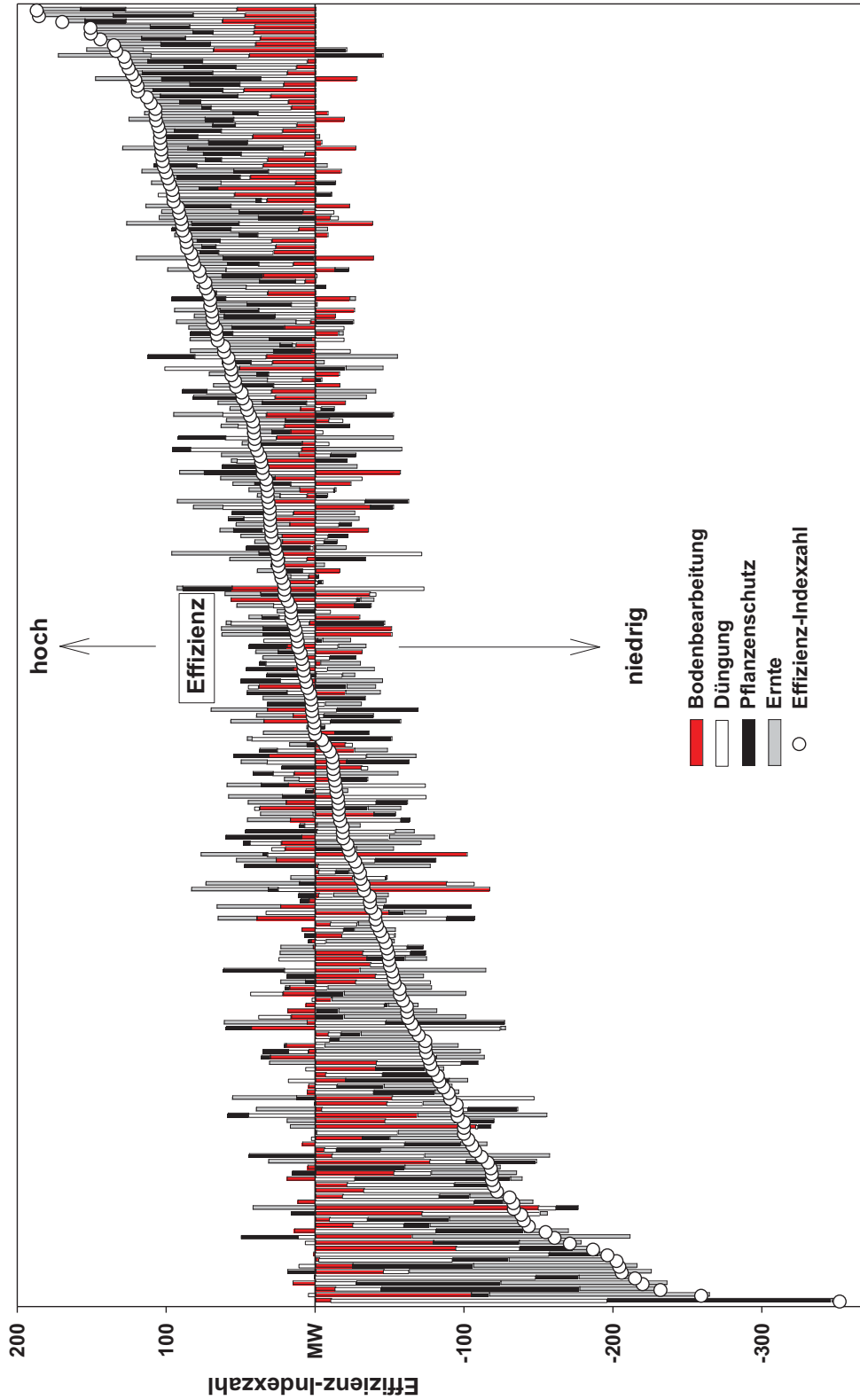


Abb. 5: Effizienz-Indexzahlen für den Zuckerrübenanbau auf den Schlägen der Befragung 2004 (n=224). Berücksichtigt sind Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte; schlagspezifische Werte der einzelnen Prozesse (relativ zum Mittelwert MW des jeweiligen Prozesses) addieren sich zur Effizienz-Indexzahl

Die Entwicklung des Weißzuckerertrags verlief in den Regionen Süd, West und Nord fast parallel (Abb. 6), wenngleich auf unterschiedlichen Ertragsniveaus. Insgesamt war der Weißzuckerertrag in der Region Süd am höchsten, darauf folgten West und Nord. In der Region Süd stieg der Weißzuckerertrag 1981-2005 um $3,5 \text{ t ha}^{-1}$, in der Region West um $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ und in der Region Nord um 3 t ha^{-1} . Die Prognose ergab für den 10-Jahreszeitraum 2006-2015 für alle drei Regionen einen Ertragszuwachs von etwa 1 t ha^{-1} . Anders die Entwicklung in der Region Ost, wo der Weißzuckerertrag 1990 um etwa ein Drittel niedriger lag als in den anderen Regionen. Im Zeitraum 1990 bis 2005 stieg der Weißzuckerertrag dort von 5 auf $8,7 \text{ t ha}^{-1}$ an. Diese Entwicklung ließ sich durch Anpassung einer Exponentialfunktion beschreiben. Die Prognose für 2006-2015 ergab für die Region Ost ebenfalls eine Ertragssteigerung von etwa 1 t ha^{-1} .

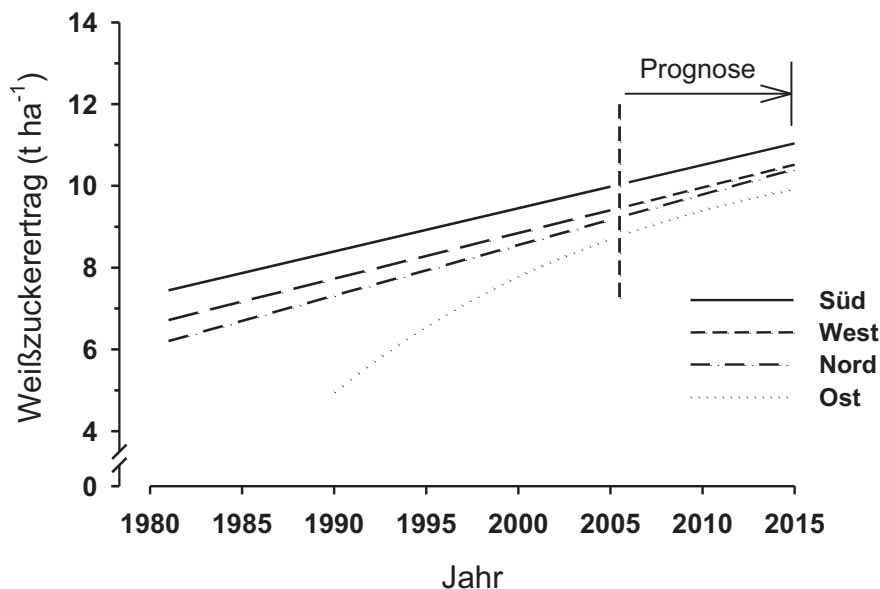


Abb. 6: Entwicklung des Weißzuckerertrags in den Regionen Süd, West, Nord und Ost (vgl. Abb. 1) 1981-2005 und Prognose bis 2015. Daten für die Region Ost seit 1990

Die potentielle Ertragssteigerung (Abb. 6) wurde für Prognosen der Entwicklung der Effizienzkriterien herangezogen. Der Aufwand der Bodenbearbeitung betrug im Mittel aller Schläge $0,23 \text{ GJ t}^{-1} \text{ BZE}$ (Tab. 1), wurde ein um 1 t ha^{-1} höherer BZE unterstellt, sank der Wert auf $0,21 \text{ GJ t}^{-1} \text{ BZE}$. Die N-Düngung sank unter der Annahme eines Mehrertrags von 1 t BZE ha^{-1} von $13,4$ auf $12,1 \text{ kg N t}^{-1} \text{ BZE}$, der Behandlungsindex von $0,51$ auf $0,46 \text{ t}^{-1} \text{ BZE}$ und der Erdanhang von $0,35$ auf $0,32 \text{ t ha}^{-1}$.

Durch die Relativierung im Zuge der Indexbildung wurden die vier Effizienzkriterien, die vorher unterschiedliche Größenverhältnisse aufwiesen, auf ein einheitliches

Effizienzniveau überführt. Das Mittel aus allen Effizienz-Indexzahlen ($n=224$) ergab den Gesamt-Effizienzindex für die Befragung 2004. Wurde dieser Gesamt-Effizienzindex gleich 100 gesetzt, so ließ sich bei einem Ertragszuwachs von 1 t BZE ha^{-1} und konstantem Aufwand ein Anstieg auf 109 Relativpunkte ermitteln.

Tab. 1: Mittelwert und Standardabweichung der Effizienzkriterien für Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte und Gesamt-Effizienzindex aus der Befragung 2004; Prognose $+1 \text{ t BZE ha}^{-1}$; Anzahl Schläge n

Prozess	Effizienzkriterium	Mittelwert	Standardabweichung	Prognose Mittelwert $+1 \text{ t BZE ha}^{-1}$	n
Bodenbearbeitung	<u>Energieinput GJ ha^{-1}</u>				
	BZE t ha^{-1}	0,23	0,08	0,21	232
Düngung	<u>N-Düngung kg ha^{-1}</u>				
	BZE t ha^{-1}	13,35	5,67	12,12	232
Pflanzenschutz	<u>Behandlungsindex</u>				
	BZE t ha^{-1}	0,51	0,17	0,46	232
Ernte	<u>Erdanteil t ha^{-1}</u>				
	BZE t ha^{-1}	0,35	0,15	0,32	224
Gesamt-Effizienzindex	aggregiert	100	-	109	224

Betriebe, die innerhalb der KORA-Erhebung in der Region Süd befragt wurden, wendeten von 1981 bis 1985 zwischen 20 und 25 kg N t^{-1} BZE auf (Abb. 7 a). Die Effizienz der Düngung stieg kontinuierlich. Seit 1996 wurden etwa 10 kg N t^{-1} BZE gedüngt und die N-Düngung verblieb mit kleineren jahresbedingten Abweichungen auf diesem Niveau. Der seit 1995 in der KORA-Erhebung erzielte, später dann unterschrittene Wert von $13,4 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE entsprach dem mittleren Wert der bundesweiten Untersuchung für das Jahr 2004.

Nach Ergebnissen der Erhebung des AK 1 für die Jahre 1986-2005 in der Region West, wurden dort zwischen 16 und 25 kg N t^{-1} BZE (Abb. 7 b) ausgebracht. Zwischen 1990 und 2000 variierte die N-Düngung zwischen 20 und 25 kg N t^{-1} BZE. Danach war ein Rückgang bis auf 16 kg N t^{-1} BZE im Jahr 2005 zu verzeichnen. Bislang lag die Region West über dem Mittelwert von $13,4 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE der bundesweiten Befragung 2004.

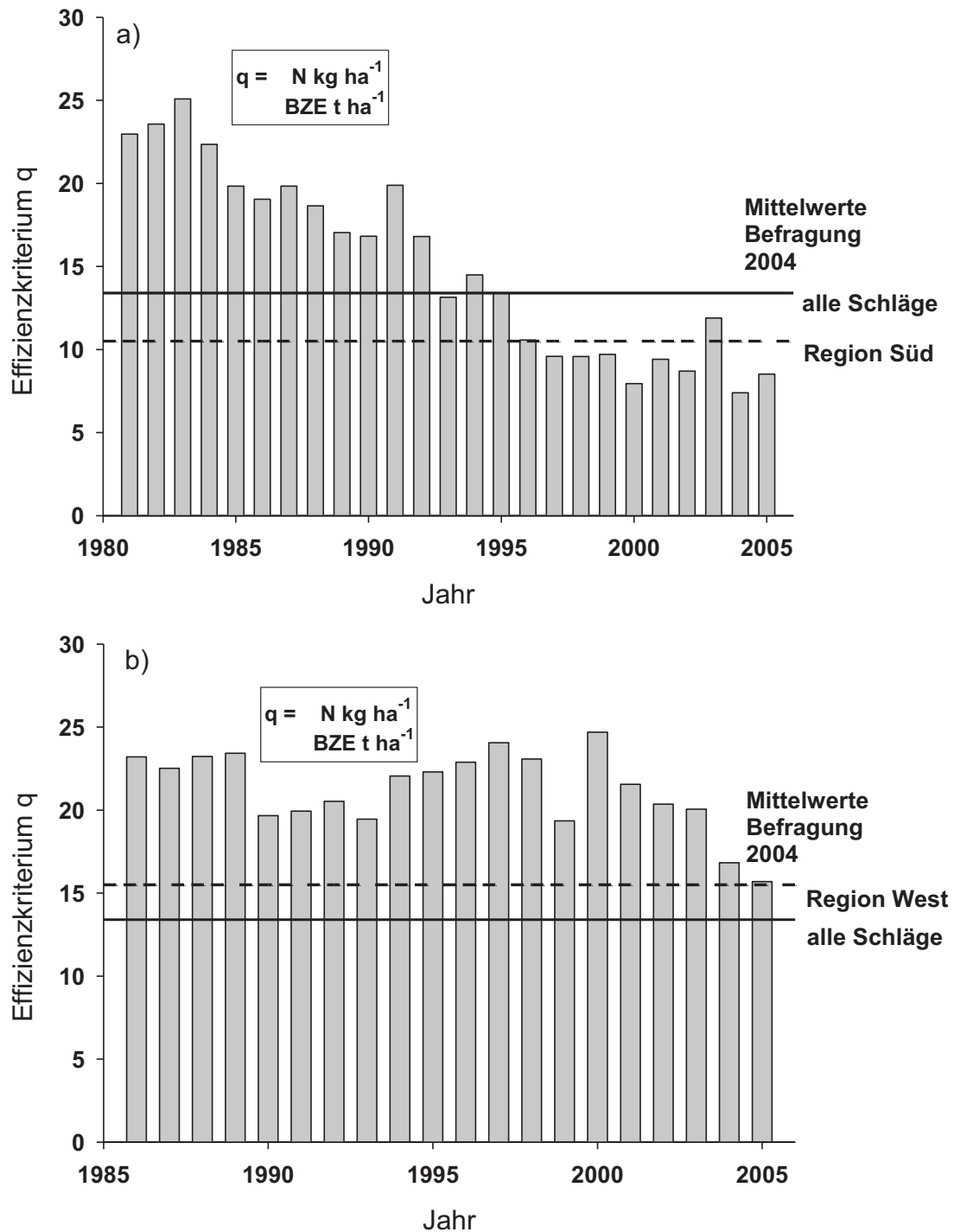


Abb. 7a: Entwicklung des Effizienzkriteriums q zur Düngung 1981-2005 in der KORA-Erhebung (vgl. Abb. 1); Mittelwerte der Befragung 2004 über alle bzw. über die Schläge in Region Süd; Anzahl der Betriebe zwischen $n = 43$ (1997) und $n = 223$ (1994)

Abb. 7b: Entwicklung des Effizienzkriteriums q zur Düngung 1986-2005 in der AK 1-Erhebung (vgl. Abb. 1); Mittelwerte der Befragung 2004 über alle bzw. über die Schläge in Region West; Anzahl der Betriebe $n \sim 30$ (1986-2005)

4 Diskussion

Effizienz ist ein wichtiges Maß für die Leistung landwirtschaftlicher Unternehmen (*van Passel et al.*, 2006) und definiert die größtmögliche Produktion von Output bei gegebenen Inputfaktoren (*Farell*, 1957). Nach *Schulze* (1995) hat die Landwirtschaft im Zuge einer nachhaltigen Entwicklung die Aufgabe, Kulturpflanzenerträge zu steigern und die aus dem Anbau resultierenden Umweltbelastungen zu senken. Umweltaspekte der Landwirtschaft sind hauptsächlich mit der Produktionsintensität verknüpft (*Geldermann und Kogel*, 2003). Zuckerrüben unterscheiden sich in dieser Hinsicht von anderen Kulturpflanzen und werden kaum von der Intensität der Produktion, z. B. der Höhe der N-Düngung im Ertrag beeinflusst (*Märländer et al.*, 2003). Somit bedeutet eine Reduzierung des Inputs nicht zwangsläufig einen verminderten Output.

Bislang werden im deutschen Zuckerrübenanbau Aspekte der Inputseite der Effizienz in der regelmäßig stattfindenden Expertenbefragung „Umfrage Produktionstechnik“ des Instituts für Zuckerrübenforschung (*Merkes et al.*, 2003) festgehalten. Die Outputseite wird mit der Größe Weißzuckerertrag von der WVZ jährlich dokumentiert. Die hier vorgestellte bundesweite direkte Befragung landwirtschaftlicher Betriebe zum Zuckerrübenanbau (*Stockfisch et al.*, 2008) verbindet Input- und Outputseite und erweitert die bisherige Dokumentation auf Betriebs- und Schlagebene.

Bei der N-Düngung sind sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte der Effizienz zu betrachten. Aus ökonomischen Gründen sind zu hohe oder zu niedrige Düngermengen zu vermeiden. Zu niedrige Düngermengen mindern die Leistung (*Claupein*, 1994), zu hohe Mengen erhöhen die Kosten (*Starcke und Bahrs*, 2008). Bei Zuckerrüben lassen hohe N-Gaben zwar den Rübenenertrag ansteigen, führen aber gleichzeitig zu steigenden Standardmelasseverlusten und wirken damit insgesamt negativ auf den BZE (*Märländer*, 1990; *Hoffmann*, 2005). Darüber hinaus ist aus ökologischen Gründen grundsätzlich ein übermäßiges N-Saldo zu vermeiden, da durch Nitratauswaschung ein erhebliches Gefährdungspotential für das Grundwasser besteht (*Flaig et al.*, 2002). Aus genannten Gründen ist es wichtig, die optimale Höhe der N-Düngung zu kennen.

Die zur Erreichung des höchsten BZE nötige N-Düngermenge liegt bei Zuckerrüben auf fruchtbaren Lößstandorten, zu denen die Mehrzahl der Schläge in der Befragung zählt, bei etwa 100 kg N ha^{-1} (*Märländer et al.*, 2003) und ist deutlich niedriger als bei

Winterweizen und -gerste (Claupein, 1994). Auf Sandböden ist die optimale Düngungshöhe zu Zuckerrüben vergleichbar mit der auf Lößstandorten, kann aber im Einzelfall leicht nach oben abweichen (Grocholl, 2002).

Anders als andere Kulturarten, bspw. Winterweizen (u. a. Fischbeck und Dennert, 1998), reagieren Zuckerrüben in ihrer Leistung kaum auf die Höhe der N-Düngung (Becker und Bruss, 1996). Grundsätzlich besteht keine Beziehung zwischen Input und Output, d.h. zwischen der N-Aufnahme der Zuckerrübe und dem BZE. Da zusätzlich keine Sortenunterschiede im Stickstoffentzug existieren, ist auch kein sortenspezifischer Stickstoffbedarf zu berücksichtigen (Wendenburg und Koch, 1996). Eine höhere N-Düngung erhöht zwar den Rübenenertrag weiter, jedoch nicht die Zielgröße BZE. Die ökonomisch optimale Höhe der N-Düngung, mit dem korrigierten Geldrohertrag als Zielgröße, liegt noch unter der für den höchsten BZE (Heyn, 2001). Das Verhältnis von N-Düngung zu BZE bestimmt die Effizienz. Das Effizienzkriterium zur Düngung betrug im Mittel aller Schläge $13,4 \text{ kg N t}^{-1} \text{ BZE}$. Der Input war mit 30 bis 300 kg N ha^{-1} bzw. 38 bis $3,5 \text{ kg N t}^{-1} \text{ BZE}$ auf einer Vielzahl der Schläge erheblich vom Optimum entfernt. Nach Wendenburg und Koch (1996) ist zwar aus ökonomischen und ökologischen Gründen zu diskutieren, ob das Erreichen des Höchstertrags das Ziel ist oder ob der Ertrag am Beginn des Höchstertragsbereichs, der sich mit deutlich niedrigerem Stickstoffentzug realisieren lässt, das sinnvollere Ziel darstellt. Jedoch ist zum einen zu berücksichtigen, dass anders als bei Getreidearten die Düngung nicht in Abhängigkeit von der Ertragserwartung erfolgt. Zum anderen liegt das Düngeniveau in der Praxis häufig weit über dem schlagspezifischen Optimum (Reineke und Stockfish, 2008), was sich auch in Abweichungen von der Düngeempfehlung um 50 kg ha^{-1} und mehr auf etwa einem Viertel der untersuchten Schläge zeigt (nicht dargestellt). Auf Schlägen, die über dem Optimum gedüngt wurden, erscheint zunächst eine grundsätzliche Reduzierung der N-Düngung zielführend (bzw. eine Erhöhung bei Düngungshöhen unter dem Optimum). Insbesondere vor dem Hintergrund der novellierten Düngeverordnung (DüV, 2007), die für 3-Jahreszeiträume ab 2009 ein N-Saldo von maximal 60 kg vorgibt, ist der Anbau von Zuckerrüben in der Fruchtfolge günstig. Der Anbau von Zuckerrüben gibt Spielraum in der Bemessung der N-Düngung für das Wintergetreide, das auf eine verminderte N-Düngung mit Ertrags- und Qualitätsverlusten deutlich stärker reagiert (König et al., 2005).

Grundsätzlich ging die N-Düngung zu Zuckerrüben in der Vergangenheit bundesweit zurück. Darauf folgte eine Phase der Konsolidierung in der allgemeinen Nährstoffversorgung (Merkes et al., 2003), wobei in den Expertenbefragungen zur Produktionstechnik das N-Düngenniveau allgemein niedriger eingeschätzt wurde (Merkes et al., 2001 und 2003), als es die hier vorgestellten Ergebnisse zeigten. Der Rückgang der N-Düngung war größtenteils in der Einführung von schlagspezifischen Bodenuntersuchungen und einer intensiven Beratung begründet (Merkes et al., 2001). Zusätzlich zu der Reduktion des Aufwands hat ein kontinuierlicher Anstieg im Ertrag die Effizienz der N-Düngung erhöht. Obwohl der Ertrag gleichmäßig zunahm, wurde die Effizienz in den Regionen nicht gleichmäßig erhöht, da große Unterschiede in der Entwicklung der mittleren Düngungshöhe zwischen den Regionen bestanden. Die durchschnittliche Effizienz der N-Düngung in den Regionen Ost und Süd lag mit etwa $10 \text{ kg N t}^{-1} \text{ BZE}$ deutlich über der der Regionen Nord und West mit etwa $16 \text{ kg N t}^{-1} \text{ BZE}$. Dabei zeichnete sich die Region Süd mit einem mittleren BZE von $11,4 \text{ t ha}^{-1}$ durch ein überdurchschnittliches Ertragsniveau bei mittlerem Düngenniveau (118 kg N ha^{-1}) aus, die Region Ost durch ein unterdurchschnittliches Düngenniveau (94 kg N ha^{-1}) und Ertragsniveau ($9,4 \text{ t ha}^{-1}$). In den Regionen West und Nord war bei der Mehrzahl der Betriebe ein mittleres Ertragsniveau von etwa 10 t BZE ha^{-1} mit einem hohen Düngenniveau von etwa 160 kg N ha^{-1} verknüpft (nicht dargestellt). Durch Reduzierung des N-Aufwands ließe sich in den Regionen Nord und West die Effizienz deutlich erhöhen. In den Regionen Ost und Süd geben große Unterschiede im N-Aufwand pro Tonne BZE zwischen den Schlägen Effizienzerhöhungen Raum. Die im Zeitraum von 3 bis 5 Jahren vorliegende Schwankung in der Effizienz der N-Düngung in den Regionen Süd und West (Abb. 7 a und b) war in der zwischen den Jahren erheblichen Variation der Erträge (Fuchs et al., 2008) begründet. Die N-Düngung dürfte über diese kurzen Zeiträume konstant gewesen sein. Erst über den Beobachtungszeitraum von 20 Jahren und mehr ließ sich die Entwicklung in Richtung einer Effizienzsteigerung, die vor allem in der Region Süd deutlich ausfiel, eindeutig erkennen.

Auf 30% aller Schläge erfolgte die Düngung in Kombination organischer und mineralischer Düngergaben. 5% der Schläge wurden rein organisch gedüngt (vgl. Reineke und Stockfisch, 2008), wobei eine Vielzahl verschiedener organischer Düngemittel tierischen und pflanzlichen Ursprungs eingesetzt wurde. Während die Nährstoffe Phosphat, Kalium und Magnesium in ihrer Wirkung mit

Mineraldüngergaben gleichgesetzt werden können (*Horn und Fürstenfeld, 2001*), weist die organische N-Düngung einige Besonderheiten auf. Die unterschiedliche Verfügbarkeit verschiedener N-Formen in organischen Düngern erschwert eine Abschätzung des durch die Pflanze nutzbaren N (*Heyland und Kloepfer, 1993*), ebenso wie die erhöhte Nachlieferung aus dem Bodenvorrat bei langjähriger organischer Düngung. Die Effizienzbewertung erschwert zusätzlich, dass die verfügbare N-Menge nur grob abgeschätzt werden kann und einer langjährigen organischen Düngung negative Auswirkungen auf die technische Qualität von Zuckerrüben zugeschrieben werden (*Kirchberg, 1988*).

Die untersuchten Schläge ließen sich anhand der Effizienz-Indexzahl in Schläge mit hoher, mittlerer und niedriger Effizienz aufteilen. Für alle drei Gruppen waren keine prozessspezifischen Trends in Richtung hoher oder niedriger Effizienz erkennbar, d.h. keines der Effizienzkriterien hatte überragenden Einfluss auf die Höhe der Effizienz-Indexzahl. Die größten Effizienzsteigerungen könnten auf Schlägen im unteren Viertel erzielt werden. Im Idealfall sind diese durch eine Reduzierung im Input bei gleichzeitiger Erhöhung im Output zu realisieren, z. B. durch reduzierte N-Düngung, die sich dann in einem höheren BZE niederschlägt.

Mit Abbildung 6 ließ sich auf regionaler Ebene zeigen, dass Ertragssteigerungen zwar stetig, aber insgesamt verhalten realisiert wurden, wobei für die nächsten 10 Jahre ein Mehrertrag von 1 t BZE ha⁻¹ prognostiziert ist. Die Effizienz ließe sich über die Reduktion der N-Düngung deutlich schneller erhöhen als über Ertragssteigerungen. Würde auf allen Schlägen der Befragung einheitlich 100 kg N ha⁻¹ gedüngt, würde sich die durchschnittliche Effizienz der Düngung erhöhen. Statt im Mittel 13,4 würden nur noch 9,6 kg N t⁻¹ BZE aufgewendet. In den Prozessen Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Ernte scheinen ebenfalls Effizienzsteigerungen möglich (*Merkes et al., 2003*).

Die zwischen den Regionen bestehende Differenz im Ertragsniveau wirkte sich auf das aktuelle Effizienzniveau aus. Nach *Fuchs et al. (2008)* hat die Wechselwirkung zwischen Jahr, Standort und Region den größten Einfluss auf den BZE, aber auch der Einfluss des individuellen Anbaumanagements im Betrieb ist zu beachten. Die Entwicklung des Weißzuckerertrags verlief parallel in den vier Regionen und die Prognose ergab für alle Regionen einen gleichmäßigen Ertragszuwachs von etwa 1 t ha⁻¹ in zehn Jahren, wobei zwischen den Jahren wie bisher Schwankungen im Ertrag auftreten werden. Bei konstantem Aufwand würde der Ertragszuwachs von 1 t ha⁻¹

bewirken, dass der Gesamt-Effizienzindex, der für die Befragung 2004 gleich 100 gesetzt wurde, auf 109 Relativpunkte anstiege.

Eine Prognose zur Entwicklung des Aufwands ist dagegen schwierig. In Folge der Reform der EU-Zuckermarktordnung und den damit verbundenen Kürzungen der Rübenpreise und gleichzeitig gestiegenen Preisen für andere Marktfrüchte ist zu erwarten, dass der Aufwand im Zuckerrübenanbau eher zurückgehen wird. Aber erst durch eine Wiederholung der Befragung ließe sich die Entwicklung der Effizienz im Zuckerrübenanbau genauer abschätzen.

Um beide Seiten der Effizienz zu berücksichtigen, ist die Ableitung von Zielwerten anzustreben. Dies könnte durch weiterführende Analysen und unter Einbeziehung wiederholter Befragungen spezifisch für jedes Effizienzkriterium und letztlich für den Gesamt-Effizienzindex erfolgen.

5 Schlussfolgerung

Zuckerrüben werden in Deutschland auf einem hohen produktionstechnischen Niveau angebaut. Dabei werden mittlere Bereinigte Zuckererträge um 8-10 t ha⁻¹ erzielt, die jahresbedingt nach oben oder unten abweichen können. Es ist davon auszugehen, dass der züchterische Fortschritt kontinuierlich zu Ertragssteigerungen beitragen wird. Mit steigenden Erträgen im Zuckerrübenanbau wird bei gleich bleibendem Aufwand parallel die Effizienz steigen.

Für die Düngung konnte gezeigt werden, dass auf einem großen Teil der untersuchten Schläge der Aufwand an N-Dünger reduziert werden kann. Aufbauend auf den Ergebnissen der Befragung ist eine Ableitung von Beratungsstrategien zur Reduzierung des Aufwands sinnvoll. Da eine Reduzierung des Aufwands im Zuckerrübenanbau nicht zwangsläufig zu einem verminderten Ertrag führt, bestehen gute Ausgangsbedingungen für Effizienzsteigerungen.

Der Gesamt-Effizienzindex ermöglicht es, die Effizienz prozessübergreifend zu messen und Wechselwirkungen zwischen den Prozessen zu erkennen. Um die Entwicklung der Effizienz über die Zeit zu bestimmen, wäre es wichtig die Befragung regelmäßig zu wiederholen und durch eine repräsentative Auswahl der Betriebe die Aussagekraft noch zu erhöhen. Gleichzeitig lässt sich so eine nachhaltige Entwicklung im Zuckerrübenanbau abbilden.

Danksagung

Die Verfasser danken dem AK 1 und dem Verband Süddeutscher Zuckerrübenanbauer für die Überlassung von Datenmaterial zur Entwicklung von Ertrag und N-Düngung. Herrn Peter Deumelandt danken wir für die Verrechnung der Bodenbearbeitungsdaten mit dem Modell REPRO und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Unterstützung.

Anonym (2006): EU sugar regime reform. *International Sugar Journal* 1285, 6-11

Becker, K.W.; Bruss, A. (1996): Die Ertragsentwicklung von Wintergetreide und Zuckerrüben bei dauerhafter Senkung des N-Düngungsniveaus. *J. Agron. Crop Sci.* 177, 339-354

BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (2004): Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. *BMVEL*, Referat 518, Berlin

Brunner, E.; Munzel, U. (2002): Nicht-parametrische Datenanalyse. Unverbundene Stichproben. Springer, Berlin, Heidelberg

Buchholz, K.; Märländer, B.; Puke, H.; Glattkowski, H.; Thielecke, K. (1995): Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerind.* 120, 113-121

Claupein, W. (1994): Möglichkeiten und Grenzen der Extensivierung im Ackerbau: Wirkungen der Bewirtschaftungsintensität auf die langfristige Produktivität und Stabilität von Agrarökosystemen und deren Umweltwirkungen. Habilschrift, Universität Göttingen, Triade-Verlag Erika Claupein, Göttingen

Deumelandt, P.; Christen, O. (2008): Interaktionen wichtiger Agrarumweltindikatoren in Zuckerrübenanbausystemen. *Zuckerind.* 133, Sonderband zur 8. Göttinger Zuckerrübenanbaubearbeitung, 9-18

DIN EN ISO 9000 (2005): Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, Beuth-Verlag, Berlin

DüV (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung), *Bundesgesetzblatt*, Teil 1 Nr. 7, 222-240

Farell, M. (1957): The measurement of productive efficiency, *J. R. Stat. Soc., Series A*, 120, 253-290

- Fischbeck, G.; Dennert, J. (1998):* Sortenbedingte Differenzierungen der Aufnahme und Verwertung von Stickstoff bei Winterweizen. Pflanzenbauwiss. 2, 176-182
- Flaig, H.; Lehn, H.; Pfenning, U.; Akkan, Z.; Elsner, D.; Waczlowski, N. (2002):* Umsetzungsdefizite bei der Reduzierung der Nitratbelastung des Grundwassers. Materialienband der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart
- Fuchs, J.; Stockfisch, N.; Märländer, B. (2008):* Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte. Pflanzenbauwiss. 12, 69-77
- Geldermann, U.; Kogel, K.-H. (2002):* Nature's concept. The "New Agriculture" amidst ecology, economy and the demythologization of the gene. J. Agron. Crop Sci. 188, 368-375
- Grocholl, J. (2002):* Stickstoff-Düngung zu Zuckerrüben auf leichten Böden. Land & Forst, Nr. 12, 26-29
- Heyland, K.-U.; Kloepfer, F. (1993):* Zur Frage der Anpassung der Stickstoffdüngung an den Bedarf der Zuckerrüben, insbesondere unter Berücksichtigung von Gülle. Bodenkultur 44, 317-333
- Heyn, J. (2001):* Wirkung steigender N-Düngung auf Ertrag, Rentabilität und N-Saldo bei den wichtigsten Ackerfrüchten. VDLUFA-Schriftenreihe 57, Teil 2, Kongressband, 684-691
- Hoffmann, C. (2005):* Changes in N Composition of Sugar Beet Varieties in Response to Increasing N Supply. J. Agron. Crop Sci. 191, 138-145
- Hoffmann, C. (2006):* Zuckerrüben als Rohstoff: Die technische Qualität als Voraussetzung für eine effiziente Verarbeitung. Habilitationsschrift, Universität Göttingen, Weender Druckerei GmbH & Co. KG, Göttingen
- Horn, D.; Fürstenfeld, F. (2001):* Bedarfsgerechte Düngung im Qualitätsrübenanbau. in: Fortschritte im Zuckerrübenanbau. Hrsg. Südzucker AG, Mannheim/Ochsenfurt, 38-45
- Hülsbergen, K.-J. (2003):* Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift, Universität Halle-Wittenberg, Shaker Verlag, Aachen
- Kirchberg, T. (1988):* Wirkung einer Güllendüngung im Frühjahr auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe sowie auf die Folgefrucht Winterweizen unter Berücksichtigung des N-Umsatzes im Boden. Dissertation, Universität Göttingen

- König, H.-P.; Koch, H.-J.; Märländer, B.* (2005): Wirkung langjährig differenzierter Bodenbearbeitung und N-Düngung auf N-Aufnahme und N-Bilanz einer Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge. *Pflanzenbauwiss.* 9, 19-28
- Kolbe, H.* (2006): Organische Düngemittel im ökologischen Landbau. Teil 2: Gülle, Handelsprodukte sowie Schätzverfahren zur N-Freisetzung. *Kartoffelbau* 57, 544-549
- LWK* (2007): Nährstoffgehalte in organischen Düngern. Homepage der LWK Niedersachsen; Stand: 23.07.2007: <http://www.direkt-dahin.lwk-hannover.de/download.cmf/file/340/naehrstoffgehalte-in-organischen-duengern~pdf.html>
- Märländer, B.* (1990): Influence of nitrogen supply on yield and quality of sugar beet. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 153, 327-332
- Märländer, B.; Hoffmann, C.; Koch, H.-J.; Ladewig, E.; Merkes, R.; Petersen, J.; Stockfisch, N.* (2003): Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *J. Agron. Crop Sci.* 189, 201-226
- Merkes, R.; Jung, G.H.; Mugele, H.; Ziegler, K.* (1996): Stand der Produktionstechnik im Zuckerrübenbau – Ergebnisse einer Umfrage bei Zuckerfabriken 1994, *Zuckerind.* 121, 496-503
- Merkes, R.; Kröhl, M.; Mugele, H.; Sauer, M.* (2001): Produktionstechnik zu Zuckerrüben im Jahr 2000 – Kostensenkung, Umweltschonung; Nachhaltigkeit, *Zuckerind.* 126, 804-811
- Merkes, R.; Coenen, H.; Hesse, F.; Schütz, G.* (2003): Stand der Produktionstechnik zu Zuckerrüben - Ergebnisse der Umfrage 2002, *Zuckerind.* 128, 425-433
- van Passel, S.; Lauwers, L.; van Huylbroeck, G.* (2006): Factors of farm performance: an empirical analysis of structural and managerial characteristics, in: *Causes and Impacts of Agricultural Structures*. Hrsg. S. Mann. Nova Science Publishers, New York, 1-24
- Reineke, H.; Stockfisch, N.* (2008): Ausgewählte Umweltindikatoren für Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau. *Zuckerind.* 133, Sonderband zur 8. Göttinger Zuckerrübenagung, 19-28
- Roßberg, D.* (2006): NEPTUN 2005 – Zuckerrüben. Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. *Berichte aus der BBA*, Heft 137

Ruysschaert, G.; Poesen, J.; Verstraeten, G.; Govers, G. (2004): Soil loss due to crop harvesting: significance and determining factors. *Prog. Phys. Geogr.* 28, 467-501

Schulze, E. (1995): Bei der Gestaltung einer nachhaltigen Landwirtschaft die Einheit von Ökonomie und Ökologie gewährleisten. *Agrarwirtschaft* 44, 361-363

Starcke, J.U.; Bahrs, E. (2008): Leistungen und Kosten bei Zuckerrüben und Ackerbau vor und nach den jüngsten Agrarreformen. *Zuckerind.* 133, Sonderband zur 8. Göttinger Zuckerrübentagung, 38-45

Stockfisch, N.; Deumelandt, P.; Fuchs, J.; Reineke, H.; Starcke, J. U.; Märländer, B. (2008): Verbundprojekt Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau: Aufgaben und Ziele. *Zuckerind.* 133, Sonderband zur 8. Göttinger Zuckerrübentagung, 2-8

Wendenburg, C.; Koch, H.-J. (1996): Zum Einfluß unterschiedlicher Sorteneigenschaften auf den Stickstoffentzug von Zuckerrüben. *Zuckerind.* 121, 623-630

WVZ (2006): Jahresbericht der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker und des Vereins der Zuckerindustrie 2005/2006. Bonn

Anschrift der Verfasser: *Julia Fuchs* und *Dr. Nicol Stockfisch*, Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, D-37079 Göttingen; e-mail: fuchs@ifz-goettingen.de

4. Eco-efficiency of sugar beet cultivation

Julia Fuchs, Nicol Stockfisch and Bernward Märländer

Abstract

The eco-efficiency concept, originally developed as a business model, seems also appropriate to point out options for sustainable development in crop production. Thus, the study aimed to introduce a system of indicators in order to describe the current eco-efficiency of sugar beet cultivation. In addition, the relation between production intensity and yield performance of sugar beet was analyzed.

In Germany, sugar beet cultivation of 109 farms with 232 fields in 2004 was surveyed across all growing areas. In our study, the operations tillage, fertilizer application, plant protection and harvest were considered. Energy input of tillage, N fertilizer rate, standardized treatment index of pesticide use and soil tare were used to reflect production intensity and environmental impact. These indicators were related to yield performance, i. e. white sugar yield (WSY) and aggregated to an index. This index reveals the range of eco-efficiency of sugar beet production in Germany in 2004.

On a field level, energy input of tillage, N fertilizer rate, standardized treatment index, soil tare and WSY (6-15 t ha⁻¹) were highly variable. Therefore, eco-efficiency varied considerably, too. A positive relation was given between soil tare and WSY. However, energy input of tillage, N fertilizer rate and standardized treatment index did not correlate with WSY. It was thus proved that WSY was independent of production intensity. But the effect of the farm (including crop management, site, weather, soil and their interactions) on WSY was highly significant.

In the short run, the most effective way to increase eco-efficiency is to reduce production intensity, which is not necessarily associated with a yield decrease. In the long run, continuously increasing yield will continuously enhance eco-efficiency.

Keywords: energy input of tillage; N fertilizer rate; pesticide use; soil tare; index; Germany; *Beta vulgaris* L.

1 Introduction

Present strategies for a sustainable development in agriculture trace back to the Agenda 21, passed by more than 170 nations at the UN Conference on Environment and Development in Rio in 1991 (UNCED, 1992). Agenda 2000 (EC Commission,

1999), the action programme of the European Commission, emphasized environmental goals for European agriculture. Common Agricultural Policy (CAP) consequently made direct payments dependent on compliance with environmental targets ('cross-compliance') (EC Regulation 1782, 2003). Since the reform of the EU sugar regime in 2005, sugar beet belongs to the general regulations of CAP.

The eco-efficiency concept was first introduced in 1992 by the World Business Council for Sustainable Development as a business concept for a sustainable development. Eco-efficiency requests businesses to achieve more value from lower inputs of raw materials and energy and with reduced emissions (Verfaillie and Bidwell, 2000). The concept was internationally adopted for numerous industrial applications (Saling et al., 2002; De Simone and Popoff, 1997).

Eco-efficiency is typically measured as product or service value divided by the environmental influence. Generally applicable indicators for product or service value as the quantity of goods or services produced or provided to customers or net sales were related to indicators for environmental influence. In our study, the inverse of this formula was used for more transparency following the WBCSD's position that the substantial information contained in both is the same (Verfaillie and Bidwell, 2000).

In agriculture, the efficient use of resources is one of the major challenges towards a sustainable development of production methods. The eco-efficiency concept relates input representing environmental impact to output representing yield performance. Eco-efficiency of e. g. wheat and barley production in Australia (McGregor et al., 2004), farming systems in general (Wilkins, 2007) and dairy, arable and pig farms in Flanders (Meul et al., 2007 a and b) was already analyzed.

The intensity of agricultural production can be assessed by quantifying inputs such as mechanization, fertilizer rates and pesticide use (Herzog et al., 2006). Some studies claim that sugar beet cultivation is highly intensive (EC Commission, 2003; SRU, 2004), but this evaluation is insufficiently proven. A few aspects of cultivation intensity were previously described in an expert survey (Merkes et al., 1996 and 2003), but without regarding the individual farm management. Yield data are regularly collected by sugar factories in Germany (Fuchs et al., 2008). To date, agronomic measures of sugar beet cultivation and yield were not recorded and evaluated on a field level in Germany. Consequently, the aims of the present study were:

- a) to analyze the relation between production intensity of sugar beet cultivation and yield performance.
- b) to introduce a system of indicators in order to describe the current eco-efficiency of sugar beet cultivation in Germany.

The study based on a survey of farms across all sugar beet growing areas in Germany. It comprised a set of indicators for the operations tillage, fertilizer application, plant protection, developed in a co-project (Reineke and Stockfisch, 2008), and harvest. Indicators were used for assessing the environmental impact of sugar beet cultivation. In addition, the importance of farm management for the different operations was estimated by an analysis of covariance.

2 Materials and methods

The sugar beet cultivation on 232 fields representing 109 farms throughout Germany was surveyed in 2004. For three fields per farm at maximum, information on yield and quality, and agronomic measures of sugar beet production were collected for all operations after harvest of the preceding crop in 2003 until beet harvest 2004.

Operation-specific indicators

Production intensity and environmental impact of sugar beet cultivation are represented by operation-specific indicators. For tillage the fossil energy input (GJ ha⁻¹) of all tillage operations was considered. It was calculated for each field by the model REPRO (Hülsbergen, 2003; Deumelandt and Christen, 2008). Energy input included the intensity of tillage, e.g. mode, depth and frequency of operations and used machinery. REPRO took the total of direct and indirect energy inputs into consideration. Direct energy inputs contained diesel and lubricants. Indirect energy inputs comprised the energy needed for the manufacturing of tractors and field machinery taking into account the operating lifetimes and depreciation periods.

Fertilizer application is expressed by nitrogen (N) fertilizer rate (kg ha⁻¹). For organic manures, standard values of N-concentration were used. The amount of mineral N (kg ha⁻¹) released from the mineralization of organic manures and available for sugar beet during the growing period was taken into account (Kolbe, 2006; LWK, 2007).

Standardized treatment index (STI) was the indicator of plant protection. It is a fixed indicator for the quantification of pesticide use in agriculture in Germany (BMVEL, 2004). STI regards the number of pesticides used and their actual application rate per ha in relation to (i) the registered maximum rate for application fixed by the official national authority (BVL, 2008) and (ii) the percentage of the treated area in relation to the total area (Roßberg et al., 2002; Sattler et al., 2007). Reduced dosages and non-spraying of field parts lower the index value (Bürger et al., 2008). As a convention, the application of insecticides and fungicides in the pelleted seed was not considered by STI.

Soil tare (t ha^{-1}) was the indicator of harvest. The definition of soil tare followed Ruyschaert et al. (2004), as shown in Eq. (1):

$$\text{Soil tare} = \text{mass of soil} + \text{mass of soil moisture} + \text{mass of rock fragments} \quad (1)$$

Information provided by the delivery notes of the sugar factories differed in detail, but constantly contained the parameter total tare (%). Soil tare (t ha^{-1}) was calculated by subtracting root yield from gross root yield and discounting 3.5% for leaves and crowns.

Yield performance

The yield performance of sugar beet was expressed by white sugar yield calculated according to Märländer et al. (2003) (Eq. 2).

$$WSY = \frac{RY * (SC - SML - SFL)}{100} \quad (2)$$

WSY: White sugar yield (t ha^{-1})

RY: Root yield (t ha^{-1})

SC: Sugar content (%)

SML: Standard molasses loss (%)

SFL: Standard factory loss (constant at 0.6%)

Detailed information on the natural conditions and the organisation of the surveyed farms is given in table 1. The farms were grouped by their mean WSY into top 25%, medium 50% and bottom 25% as usually carried out in economic farm comparisons (Trenkel, 1999). Soil fertility score gives information about the productivity of the

surveyed fields in relation to maximum productivity in Germany (Ad-hoc-AG Boden, 2005).

Table 1

Characterization of the surveyed farms (n = 109); farms grouped by white sugar yield

	Top 25%	Medium 50%	Bottom 25% ^a	All
White sugar yield (t ha ⁻¹) ^a	11.7	10.2	8.7	10.3
Field size (ha) ^a	5	9	12	9
Annual precipitation (mm) ^a	650	620	550	620
Annual temperature (°C) ^a	8.5	8.5	8.7	8.6
Soil fertility score (max. productivity = 100) ^a (min/max)	69 (30/90)	68 (25/95)	50 (27/82)	65 (25/95)
Livestock rate (%)	15	24	33	24
Arable land (ha) ^a	120	496	297	208
Sugar beet growing acreage (ha) ^a	27	50	47	32
Percentage of sugar beet growing acreage (% of arable farmland)	19	19	11	16

^a Median

Eco-efficiency criteria

Eco-efficiency criteria were calculated field-specifically for the operations tillage, fertilizer application, plant protection (n = 232 fields) and harvest (n = 224 fields due to missing data) following Eq. 3:

$$eco\text{-}efficiency = \frac{\text{operation-specific indicator}}{WSY} \quad (3)$$

The denominator contained the operation-specific input indicators representing production intensity and environmental impact, whereas the numerator contained WSY representing yield performance.

Eco-efficiency index

The total eco-efficiency of sugar beet cultivation was finally composed field-specifically from the eco-efficiency criteria for tillage, fertilizer application, plant protection and harvest. The absolute value of each single eco-efficiency criterion was normalized by setting the mean for all 224 fields of every eco-efficiency criterion to 100. The four relative values were summarized as an eco-efficiency index (EEI) and indicate the deviation in percent from the operation-specific mean. The EEI weighted

the four eco-efficiency criteria by 25% each, due to a lack of a solid base to distinguish different environmental impacts of single operations (Brentrup et al., 2001).

Statistical analysis

Statistical analysis was carried out using the SAS 9.1 statistical package (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). A linear regression analysis was made with the SAS procedure REG calculating the correlation coefficient according to Pearson. The analysis of covariance (ANCOVA) was conducted with the General Linear Model procedure of SAS using only data of 58 farms. These farms featured three surveyed sugar beet fields that were available as replicates. Energy input of tillage, N fertilizer rate, STI and soil tare were supposed to have additional effects on WSY. Thus, ANCOVA was performed separately for every covariate. However, the effect of the farm subsumed crop management, site, weather, soil and their interactions.

3 Results

On a field level, WSY of sugar beet ranged from 5.8 to 15.1 t ha⁻¹ and energy input of tillage from 0.8 to 5.2 GJ ha⁻¹ (Fig. 1). Energy efficiency (of tillage) was below 0.18 GJ t⁻¹ WSY for the 25% most efficiently managed fields (n = 58), between 0.18 and 0.27 GJ t⁻¹ WSY for the medium 50% (n = 116) and above 0.27 GJ t⁻¹ WSY for the 25% least efficiently managed fields (n = 58). N fertilizer rate varied between 38 and 317 kg ha⁻¹ (Fig. 2). N fertilizer efficiency was below 9.1 kg N t⁻¹ WSY for the 25% most efficiently managed fields, between 9.1 and 15.9 kg N t⁻¹ WSY for the medium 50% and above 15.9 kg N t⁻¹ WSY for the 25% least efficiently managed fields. STI varied between 2.0 and 9.6 (Fig. 3). STI per WSY as an indicator for plant protection efficiency was below 0.33 t⁻¹ WSY for the 25% most efficiently managed fields, between 0.33 and 0.60 t⁻¹ WSY for the 50% medium and above 0.60 for the 25% least efficiently managed fields. Soil tare varied between 0.2 and 7.8 t ha⁻¹ (Fig. 4). Soil tare efficiency was below 0.24 t t⁻¹ WSY for the 25% most efficiently managed fields (n = 56), between 0.24 and 0.43 t t⁻¹ WSY for the 50% medium (n = 112) and above 0.43 t t⁻¹ WSY for the 25 % least efficiently managed (n = 56).

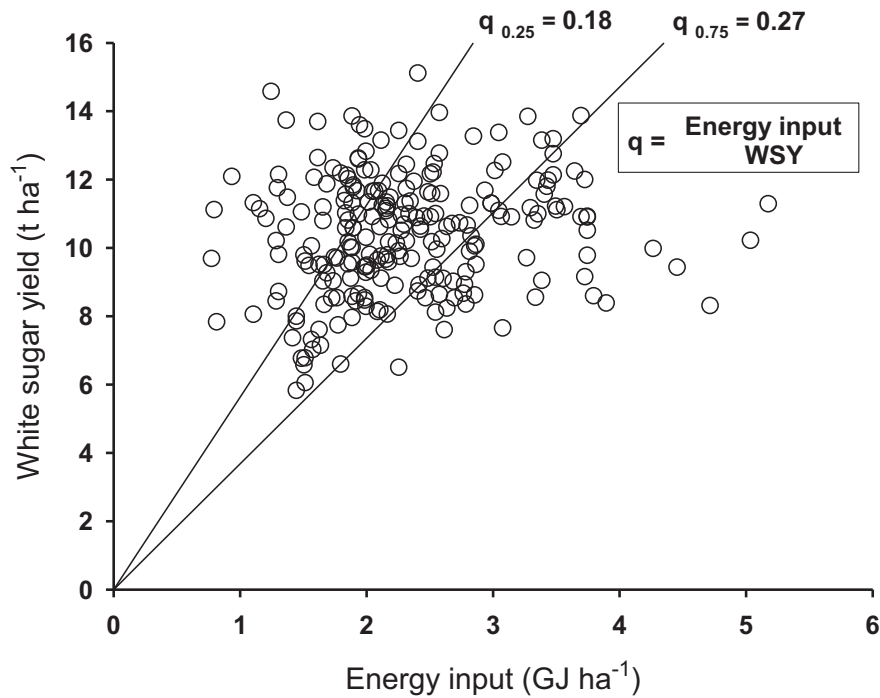


Fig. 1. White sugar yield (WSY) and energy input of tillage in sugar beet in Germany 2004 ($n = 232$ fields). Isoquants (q ; GJ t⁻¹ WSY) of equal efficiency for energy input per WSY. 25% most efficiently managed fields $\leq q_{0.25}$; 25% least efficiently managed fields $\geq q_{0.75}$.

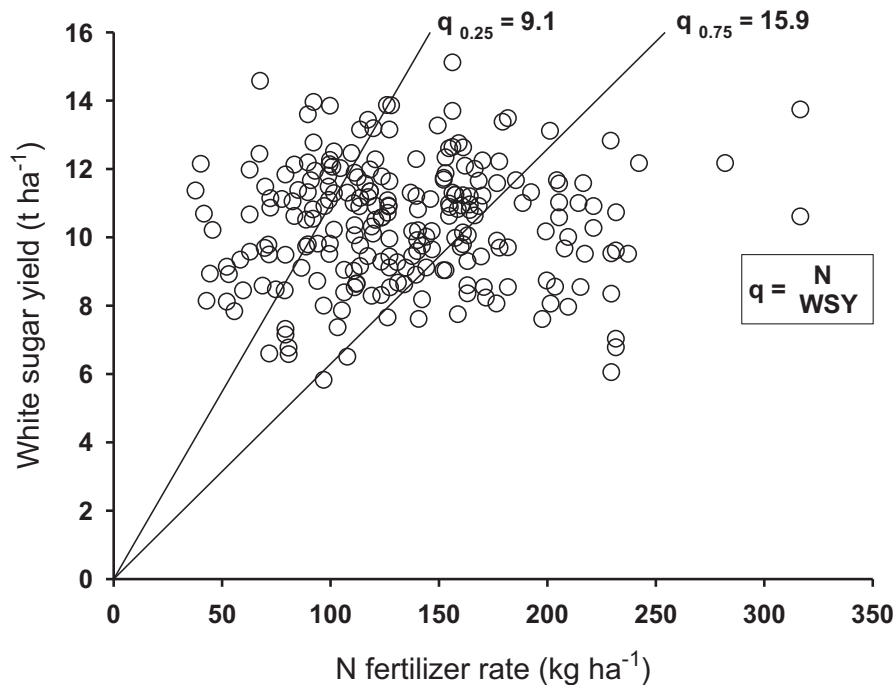


Fig. 2. White sugar yield (WSY) and N fertilizer rate in sugar beet in Germany 2004 ($n = 232$ fields). Isoquants (q ; kg N t⁻¹ WSY) of equal efficiency for N fertilizer rate per WSY. 25% most efficiently managed fields $\leq q_{0.25}$; 25% least efficiently managed fields $\geq q_{0.75}$.

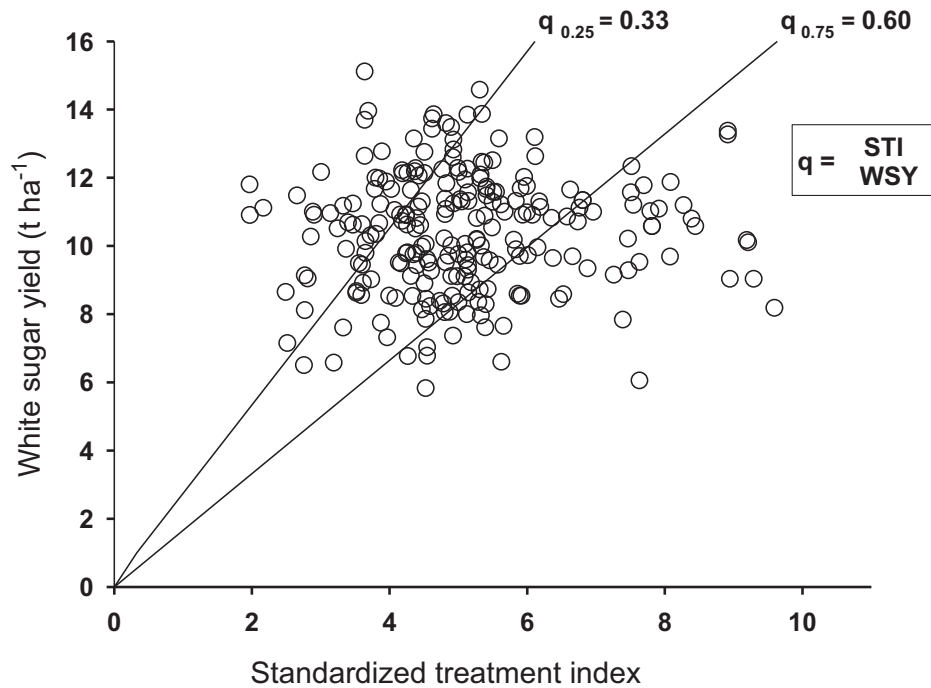


Fig. 3. White sugar yield (WSY) and standardized treatment index (STI) in sugar beet in Germany 2004 ($n = 232$ fields). Isoquants (q ; $\text{STI t}^{-1} \text{ WSY}$) of equal efficiency for STI per WSY. 25% most efficiently managed fields $\leq q_{0.25}$; 25% least efficiently managed fields $\geq q_{0.75}$.

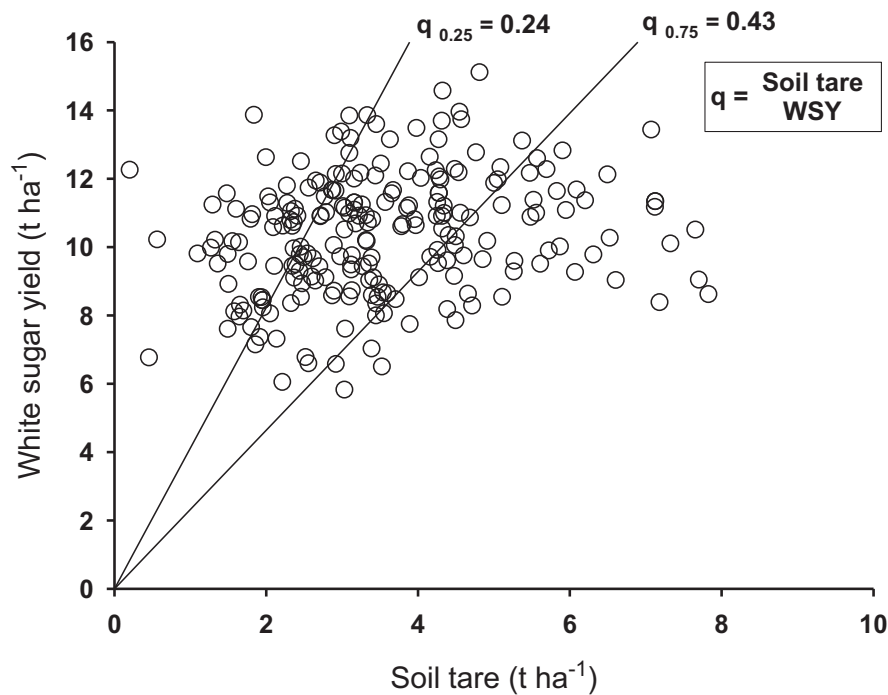


Fig. 4. White sugar yield (WSY) and soil tare in sugar beet in Germany 2004 ($n = 224$ fields). Isoquants (q ; $\text{t t}^{-1} \text{ WSY}$) of equal efficiency for soil tare per WSY. 25% most efficiently managed fields $\leq q_{0.25}$; 25% least efficiently managed fields $\geq q_{0.75}$.

The relation between energy input of tillage and WSY ($r = 0.15$) was very weak (Tab. 2). N fertilizer rate and STI showed no correlation with WSY. A slight relation was given between soil tare and WSY.

Table 2

Pearson's coefficient of correlation (r) for white sugar yield (WSY) and operation parameters ($n = 224$ or 232 fields)

	WSY (t ha ⁻¹)	Energy input of tillage (GJ ha ⁻¹)	N-fertilizer rate (kg ha ⁻¹)	STI
Energy input of tillage (GJ ha ⁻¹)	0.15*			
N-fertilizer rate (kg ha ⁻¹)	0.05 ns	0.06 ns		
Standardized treatment index (STI)	0.05 ns	0.12 ns	0.13*	
Soil tare (t ha ⁻¹)	0.23***	0.02 ns	0.05 ns	0.05 ns

*, **, *** significant at $p \leq 0.05$, 0.01 and 0.001 ; ns = not significant

The effect of the farm on WSY was highly significant (Tab. 3). Energy input of tillage, N fertilizer rate and STI had no significant effect on WSY, while the effect of soil tare was significant. The interactions between farm and energy input of tillage, N fertilizer rate or soil tare were not significant. The interaction between STI and farm was significant.

Table 3

Analyses of covariance for the effects of energy input of tillage, N fertilizer rate, standardized treatment index (STI) of plant protection and soil tare on white sugar yield (WSY) of sugar beet (n = 58 farms); in each case regarding the effect of the farm

Effect	DF	MS	F-Value
Farm	57	6.29	4.16***
Energy input of tillage	1	0.05	0.03
Energy input of tillage * farm	50	1.96	1.30
Farm	57	6.29	3.60***
N-fertilizer rate	1	1.83	1.05
N-fertilizer rate * farm	44	1.61	0.92
Farm	57	6.29	4.71***
STI	1	1.27	0.95
STI * farm	54	2.10	1.58*
Farm	55	6.20	4.78***
Soil tare	1	12.10	9.33**
Soil tare * farm	55	1.96	1.51

*, **, *** significant at $p \leq 0.05$, 0.01 and 0.001

The total eco-efficiency index (EEI) of sugar beet cultivation representing 224 fields in Germany ranged from -370 (lowest eco-efficiency) to 200 (highest eco-efficiency) (Fig. 5). In most cases, single EEI values for at least three operations were below the operation-specific mean for the 25% least efficiently managed fields (n = 56). For the medium 50% (n = 112), there were amplitudes in both directions which compensated for each other. Typically, the 25% most eco-efficiently managed fields (n = 56) reached above average EEI values in three out of four operations.

For the 58 farms with three surveyed sugar beet fields the coefficient of variation for the EEI was average 16%. For the majority of farms, all three fields were in the same group (top or bottom 25%, medium 50% fields). However, it also occurred that the three fields split up in two or three groups (not shown).

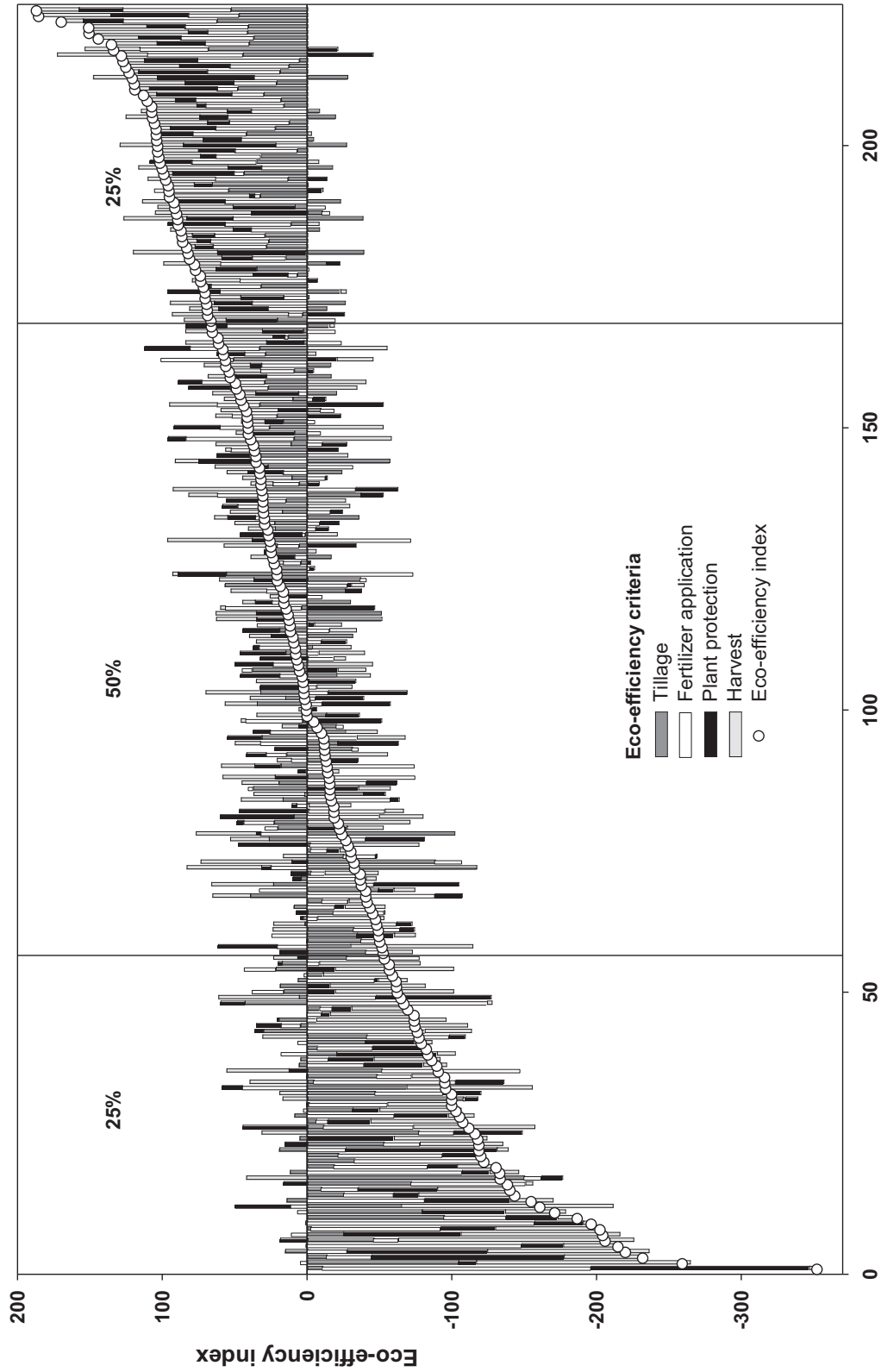


Fig. 5. Eco-efficiency index of sugar beet cultivation ($n = 224$ fields) considering tillage, fertilizer application, plant protection and harvest. Values of the four eco-efficiency criteria add up to the total eco-efficiency index; eco-efficiency indices arranged by increasing order starting at the field with the lowest eco-efficiency.

4 Discussion

A high percentage of the food consumed in Europe is produced by intensive agricultural farming systems and it is necessary to manage environmental problems of such systems by decreasing the pollution from agents such as nitrogen, pesticides and carbon dioxide (Goodlass et al., 2003). In this context, crop production's environmental impact is often interrelated to its intensity (Geldermann and Kogel, 2002). It is known that sugar beet reacts differently from other crops. A reduction of the input does not necessarily imply a diminished output, e.g. WSY of sugar beet is hardly affected by N fertilizer rate (Märländer et al., 2003). However, the whole set of inputs to realize a certain production level should be considered due to a possible interaction of various inputs (De Wit, 1992).

Agricultural land use intensity can be assessed by quantifying production inputs such as mechanization, fertilizer and pesticides which are used to increase productivity. According to Lynch (1998), efficiency is the ability of a system to convert inputs into desired outputs, or to minimize the conversion of inputs into waste. If resources are used efficiently, undesirable environmental impacts can be minimized (Herzog et al., 2006).

Eco-efficiency has been defined in different ways. Prevalently, it means ecological optimization of whole systems while not disregarding economic factors (von Weizsäcker and Seiler-Hausmann, 1999).

In this study, increased eco-efficiency means the improvement of ecological performance through optimized operations by lower input as well as the improvement of the economical performance by higher white sugar yield. The calculated eco-efficiency criteria reflect differences in production intensity in relation to WSY on a field level.

Tillage

Consumption of fossil fuels should be sustainable because of their finiteness and climate relevant pollution by their combustion (Dalgaard et al., 2001). Tillage is generally associated with a high energy input. Besides mineral N fertilizer rate, diesel fuel consumption is the most important source of energy input (Hülsbergen et al., 2001) in today's crop production. Reduced tillage intensity enables sugar yield similar to ploughing (Hoffmann et al., 1996; Koch et al., 2008). Märländer et al. (2003)

pointed out that net energy output is higher for reduced tillage than for ploughing and therefore primary energy (fuel, lubricants) is used more efficiently.

In our study, the variation of the eco-efficiency of tillage was considerably high. The results showed a very weak relation between WSY and energy input of tillage ($r = 0.15$). The 50% of the fields with medium eco-efficiency ranged from 0.18 to 0.27 GJ t^{-1} WSY. The difference of 0.09 GJ t^{-1} WSY was, for example equal to ploughing with a 99 kW tractor in combination with a reversible plough (4 blades) to a depth of 0.35 m. This example highlights the great differences in number and type of tillage operations. However, each decrease in frequency and depth of tillage reduces energy input thoroughly. Our results suggest that a significant reduction of the energy input of tillage is possible without any loss in WSY on a field level. According to Wegener (2001), a yield similar to conventional tillage methods is attainable through mulch sowing with an energy input reduced by almost 30%. Energy input of harvest operations is usually very high, but it does not differ significantly between fields and was consequently not involved.

N fertilizer application

Overuse and underuse of nitrogen fertilizers is widespread (Raman, 2006). Excessive N fertilizer rate must be avoided, because it increases the risk of nitrate leaching into groundwater, eutrophication of surface waters (drainage; animal manures' runoff) (Lægneid et al., 1999) and N_2O release (Bouwman, 1996). Over- or undervalued N fertilizer rates cause economic losses due to reduced yields and quality of the products (Olf et al., 2005). Märländer (1990) showed that high N fertilizer rate lowered WSY of sugar beet. Although it increased root yield, it simultaneously increased standard molasses loss adversely affecting WSY. On fertile loess soils, for the majority of the surveyed fields the optimum N fertilizer rate in terms of WSY is approximately 100 kg N ha^{-1} (Märländer et al., 2003). Compared to other crops such as winter wheat, sugar beet yield hardly responds to increasing N fertilizer rate (Delogu et al., 1998; Sticksel et al., 1999).

N fertilizer rates varied between 35 and 4 kg t^{-1} WSY on the surveyed fields. The results showed no relation between N fertilizer rate and WSY ($r = 0.05$), hence, high WSY could be reached with low as well as with high N fertilizer rates. Thus, a fundamental reduction of N fertilizer rate is possible on the fields that were supplied

above the optimum whereas a moderate increase is feasible on fields that were supplied below the optimum.

Plant protection

Sugar beet cultivation is inevitably linked with the occurrence of weeds, diseases and pests that require the application of pesticides. The intensity of pesticide use is indicated by the STI established by the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMVEL, 2004). STI only considers the quantitative effect of environmental risks associated with pesticide application (Sattler et al., 2007). Chemical and physical properties influencing pesticidal effects on the environment and the toxicity effect on different organisms (Hapeman et al., 2003) are not included. The need for pesticide application in conventional sugar beet cultivation is, however, undisputed as the renunciation of herbicides can lead to a total loss of revenue (Scott and Wilcockson, 1974; Brandes, 2000).

In our study, the variation of the eco-efficiency of plant protection was very high. STI values ranged from about 0.2 to 1.2 t⁻¹ WSY. The single STI values resulted from a multitude of active ingredient combinations, particularly for herbicides. However, there was no relation between STI and WSY ($r = 0.05$). The isoquants clearly demonstrated that a WSY of 7 t ha⁻¹ and STI of about 2 caused almost the same plant protection efficiency as a WSY of 14 t ha⁻¹ and STI of about 5. However, the use of pesticides is thoroughly field and weather specific as are the occurrence of leaf spot diseases and weeds. In order to optimize the plant protection regime on a field level, the reduction of the pesticides' quantity, respectively the STI should not be the only aim. Moreover, it is important to enhance the efficiency of the whole system. For example, one herbicide treatment less seems possible on fields with very high STI (≥ 7.5), if (i) the herbicides sprayed are well adapted to existing weeds (species, number), (ii) the application time with regard to weather and plant development stage is optimum, and (iii) the best available application technique is used. Further steps towards optimizing the system include the cultivation of less susceptible cultivars (Bürger et al., 2008), e.g. to leaf spot diseases, and the use of most effective seed protection in order to minimize fungicide and insecticide application during the growing season.

Harvest

Soil is a key natural resource and its quality determines crop productivity (Fageria, 2002). Sugar beet harvesting causes losses of valuable topsoil and nutrients similar to losses due to wind and water erosion (Poesen et al., 2001; Ruyschaert et al., 2005). These losses, referred to as soil tare, disturb sugar processing and cause 10 to 25% of the total costs of sugar manufacturing (Muhlack, 1989). The amount of soil tare strongly depends on soil type and soil moisture content at harvest time, which is primarily affected by preceding weather conditions (Ruyschaert et al., 2004). Soil moisture is frequently high at sugar beet harvest in autumn, and harvest date is determined by the demand of the sugar factory and has to be performed during the fixed period. The differences in soil moisture content in interaction with the soil type led to a very high variation of soil tare on the surveyed fields. Soil tare was significantly correlated with WSY ($r = 0.23$), because root yield is a main component of WSY and the higher the root yield the higher the potential area for soil tare to adhere (Koch, 1996). Although the amount of soil tare can not be lowered to zero, there are still options to reduce it. Mechanical cleaning already on the sugar beet harvester lowers soil tare significantly (Vermeulen, 2002), but a compromise has to be made between optimal beet cleaning and a gentle treatment of the beets. The more intense efforts to remove soil tare are, the higher are the root injuries and the storage losses of the beet (Kenter et al., 2006; Steensen, 2002). Additionally, self-feeding cleaner loaders can be used to clean the beets mechanically on headlands before loading them on transportation units (Rigo, 2005).

Effects of farm, energy input of tillage, N fertilizer rate, STI and soil tare on WSY

Sugar beet fields belonging to a certain farm are usually subject to similar environmental conditions such as soil type, annual temperature and precipitation, and the farmer's crop management methods. Consequently, the subsumed farm effect on WSY was highly significant, as the results of the analysis of covariance have shown. However, energy input of tillage, N fertilizer rate and STI had no significant effect on WSY. Only STI within farm had a weak effect on WSY that was not explainable from the data. The effect of soil tare on WSY was determined by the root yield as mentioned before. Results finally indicate that WSY of farms has no relation to the intensity of agronomic measures. Our results are also in accordance with Märländer (1991) showing a high effect of weather (year) and site and a low

effect of agronomic measures in field trials. Moreover, input-output combinations are site-specific as van Ittersum and Rabbinge (1997) showed for sugar beet in the Netherlands. In superior physical environments, characterized by high fertility and water-holding capacity of the soil, yield was larger whereas input level was not higher or even lower than in inferior environments. Therefore it is suggested that a substantial reduction of energy input, N fertilizer rate and STI (pesticide use) may be possible on a considerable part of the surveyed fields without taking the risk of a yield decrease.

Eco-efficiency index

Concentrating various intensity indicators to one index facilitates communication (Herzog et al., 2006). After normalizing, the single eco-efficiency criteria were aggregated to the eco-efficiency index (EEI) that field-specifically reflects the total eco-efficiency of sugar beet cultivation in 2004. EEI was established for the first time in this study. In future, EEI can be used as a reference for further studies and can disclose development trends in the efficiency of sugar beet cultivation.

On a field level, operation-specific indicators and WSY were highly variable. Thus, eco-efficiency indicators of fields showed a high variation, too. Highest increase of eco-efficiency seems possible at the 25% of the fields with the lowest eco-efficiency in 2004. However, 50% medium and 25% top may also have a potential for further increase of eco-efficiency.

An analysis of yield development of sugar beet in the recent past predicted a steady increase of sugar yield of approximately 1 t ha^{-1} in a period of 10 years (Fuchs et al., 2008). This yield increase will further enhance index values continuously on fields which have already high eco-efficiency due to optimum input levels. As usual in sugar beet production, variations in WSY between years will occur on a field level. Regarding figures 1 to 4, on the short run the most effective way to increase eco-efficiency seems to reduce input levels. As our results have shown, the reduction of the input levels on fields with a low eco-efficiency was not associated with the risk of a yield decrease.

5. Conclusions

Worldwide, Agenda 21 (UNCED, 1992) launched a process to make agricultural production systems more sustainable. Agenda 2000 (EC Commission, 1999) set inter

alia environmental targets for European agriculture. In this context, methods for the evaluation of sustainable development of crop production systems are required. To date, for sugar beet cultivation such a system is missing.

The relation between production intensity and yield performance of sugar beet cultivation was analyzed, based on data of a survey on 109 farms throughout Germany in 2004. WSY showed a high variation between the surveyed fields and was independent of energy input of tillage, N fertilizer rate and STI. Yield performance was thus decoupled from the environmental impact. This means, that production intensity can be reduced without the risk of lower yield.

Applying this knowledge on a farm level, i.e. to avoid all agronomic measures that do not contribute to yield increase would promote sustainable development in sugar beet cultivation.

A set of practicable indicators reflecting ecological and agronomical performance was introduced to describe the current eco-efficiency of sugar beet cultivation. The enhancement of eco-efficiency by reducing input levels seems quite possible. In this context, it is to wonder why suboptimal, often very high production intensity occurs on a field level. Socio-economic expertise may be required for answering this question (van Ittersum and Rabbinge, 1997). Altogether, sugar beet seems to be a crop to produce food and feed stuff, bioenergy and raw material for industrial applications independent of production intensity.

On a national level, a continuous survey of the eco-efficiency criteria would allow to evaluate the development of eco-efficiency in sugar beet cultivation. Sugar beet grower associations and sugar companies are invited to implement the eco-efficiency concept to ensure sustainable development.

Acknowledgements

Sincere thanks are given to Dr. Christine Kenter for language editing and particularly for valuable comments. For support in statistical questions we would like to thank Dr. Alice Beining and Dr. Christian Kluth. This work was funded by the German Environmental Foundation (Deutsche Bundesstiftung Umwelt).

References

- Ad-hoc-AG Boden, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung. 5th edition, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hanover.
- BMVEL (German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection), 2004. Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. BMVEL, Referat 518, Berlin.
- Bouwman, A.F., 1996. Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soil. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 46, 53-70.
- Brandes, A., 2000. Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Restverunkrautung und Standort. Ph.D. Thesis, University of Göttingen, Cuvillier, Göttingen.
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., Lammel, J., 2001. Application of Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. *Eur. J. Agron.* 14, 221-233.
- Bürger, J., de Mol, F., Gerowitt, B., 2008. The "necessary extent" of pesticide use – Thoughts about a key term in German pesticide policy. *Crop Prot.* 27, 343-351.
- BVL (Federal Office of Consumer Protection and Food Safety), 2008. Pflanzenschutzmittelverzeichnis 2008. Part 1: Ackerbau – Wiesen und Weiden – Hopfenbau – Nichtkulturland. 56th edition, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Brunswick.
- Dalgaard, T., Halberg, N., Porter, J.R., 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.* 87, 51-65.
- Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., Stanca, A.M., 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* 9, 11-20.
- De Simone, L., Popoff F., 1997. *Eco-efficiency: The business link to sustainable development.* Cambridge, MA, MIT Press.
- Deumelandt, P., Christen, O., 2008. Interaktionen wichtiger Agrarumweltindikatoren in Zuckerrübenanbausystemen. *Zuckerind.* 133, 719-728.
- De Wit, C.T., 1992. Resource Use Efficiency in Agriculture. *Agric. Syst.* 40, 125-151.
- EC Commission, 1999. Agenda 2000. A CAP for the future. Available at http://ec.europa.eu/agriculture/publi/review99/08_09_en.pdf, 27.10.2008.

EC Commission, 2003. Reforming the European Union's sugar policy. Summary of impact assessment work. Commission staff working paper. Available at http://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/sugar/fullrep_en.pdf, 22.10.2008.

EC Regulation 1782, 2003. Council Regulation (EC) No 1782/2003 on establishing common rules for direct schemes under the common agricultural policy and establishing certain support schemes for farmers. Official Journal of the European Union, L 270/1.

Fageria, N.K., 2002. Soil quality vs. environmentally based agricultural management practices. *Commun. Soil Sci. Plan.* 33, 2301-2329.

Fuchs, J., Stockfish, N., Märländer, B., 2008. Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte. *Pflanzenbauwiss.* 12, 69-77.

Geldermann, U., Kogel, K.-H., 2002. Nature's concept. The "New Agriculture" amidst ecology, economy and the demythologization of the gene. *J. Agron. Crop Sci.* 188, 368-375.

Goodlass, G., Halberg, N., Verschuur, G., 2003. Input output accounting systems in the European community – an appraisal of their usefulness in raising awareness of environmental problems. *Eur. J. Agron.* 20, 17-24.

Hapeman, C.J., McConnell, L.L., Rice, C.P., Sadeghi, A.M., Schmidt, W.F., McCarty, G.W., Starr, J.L., Rice, P.J., Angier, J.T., Harman-Fetcho, J.A., 2003. Current United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service research on understanding agrochemical fate and transport to prevent and mitigate adverse environmental impacts. *Pest Manag. Sci.* 59, 681-690.

Herzog, H., Steiner, B., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bukáček, R., De Blust, G., De Cock, R., Dirksen, J., Dormann, C.F., De Filippi, R., Frossard, E., Liira, J., Schmidt, T., Stöckli, R., Thenail, C., van Wingerden, W., Bugter, R., 2006. Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. *Europ. J. Agron.* 24, 165-181.

Hoffmann, C., Lindén, S., Koch, H.-J., 1996. Influence of soil tillage on net N-mineralization under sugar beet. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 159, 79-85.

Hülsbergen, K.-J., 2003. Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitation, Shaker, Aachen.

- Hülsbergen, K.-J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.-W., Kalk, W.-D., Diepenbrock, W., 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long term fertilizer trial. *Agric. Ecosyst. Environ.* 86, 303-321.
- Kenter, C., Hoffmann, C., Märländer, B., 2006. Sugarbeet as raw material – Advanced storage management to gain good processing quality. *Zuckerind.* 131, 706-720.
- Koch, H.-J., 1996. Möglichkeiten und Grenzen der Verringerung des Erdanhangs von Zuckerrüben durch Bodenbearbeitung, Bestandesdichte, N-Düngung und Abreinigung. In: Anonymous, Proceedings of the 59th IIRB Congress, Brussels, International Institute for Beet Research, Brussels, 483-497.
- Koch, H.-J., Dieckmann, J., Büchse, A., Märländer, B., 2008. Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *Europ. J. Agron.*, in press.
- Kolbe, H., 2006. Organische Düngemittel im ökologischen Landbau. Part 2: Gülle, Handelsprodukte sowie Schätzverfahren zur N-Freisetzung. *Kartoffelbau* 57, 544-549.
- Lægreid, M., Boeckmann, O.C., Kaarstad, O., 1999. Agriculture, fertilizer and the environment. Norsk Hydro ASA, CABI, New York.
- LWK, 2007. Nährstoffgehalte in organischen Düngern. Homepage of LWK Niedersachsen. Available at <http://www.direkt-dahin.lwk-hannover.de/download.cmf/file/340/naehrstoffgehalte-in-organischen-duengern~pdf.html>, 23.07.2007.
- Lynch, J., 1998. The Role of Nutrient-Efficient Crops in Modern Agriculture. In: Rengel, Z. (Ed.), *Nutrient Use in Crop Production*, The Haworth Press Inc., 241-264.
- Märländer, B., 1990. Influence of Nitrogen Supply on Yield and Quality of Sugar Beet. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 153, 327-332.
- Märländer, B., 1991. Zuckerrüben. Produktionssteigerung bei Zuckerrüben als Ergebnis der Optimierung von Anbauverfahren und Sortenwahl sowie durch Züchtungsfortschritt. Habilitation, Bernhardt-Pätzold, Stadthagen.
- Märländer, B., Hoffmann, C., Koch, H.-J., Ladewig, E., Merkes, R., Petersen, J., Stockfisch, N., 2003. Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *J. Agron. Crop Sci.* 189, 201-226.
- McGregor, M., van Berkel, R., Narayanaswamy, V., Altham, J., 2004. Eco-Efficiency in Farm Management – the application of Life Cycle Analysis as a basis for evaluating the environmental performance of farms. Proceedings of the OECD

Expert Meeting on farm Management Indicators and the environment 2004. Available at <http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/farmind.nsf>, 22.10.2008.

Merkes, R., Jung, G.H., Mugele, H., Ziegler, K., 1996. Stand der Produktionstechnik im Zuckerrübenbau – Ergebnisse einer Umfrage bei Zuckerfabriken. *Zuckerind.* 121, 496-503.

Merkes, R., Coenen, H., Hesse, F., Schütz, G., 2003. Stand der Produktionstechnik zu Zuckerrüben – Ergebnisse der Umfrage 2002. *Zuckerind.* 128, 425-433.

Meul, M., Nevens, F., Reheul, D., Hofman, G., 2007a. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 135-144.

Meul, M., Nevens, F., Verbruggen, I., 2007b. Operationalising eco-efficiency in agriculture: the example of specialised dairy farms in Flanders. *Progress in Industrial Ecology – an International Journal* 4, 41-53.

Muhlack, E., 1989. Rübenerde in der Zuckerfabrik – ein Problem. *Landtechnik* 44, 348-350.

Olf, H.-W., Blankenau, K., Brentrup, F., Jasper, J., Link, A., Lammel, J., 2005. Soil- and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 414-431.

Poesen, J.W.A., Verstraeten, G., Soenens, R., Seynaeve, L., 2001. Soil losses due to harvesting of chicory roots and sugar beet: an underrated geomorphic process? *Catena* 43, 35-47.

Raman, S., 2006. *Agricultural Sustainability. Principles, Processes, and Prospects.* Food Products Press. An Imprint of the Haworth Press, New York.

Reineke, H., Stockfisch, N., 2008. Ausgewählte Umweltindikatoren für Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau. *Zuckerind.* 133, in press.

Rigo, L., 2005. The problem of beet soil from beet harvesting to the sugar factory. *Zuckerind.* 130, 318-325.

Roßberg, D., Gutsche, V., Enzian, S., Wick, M., 2002. Neptun 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. *Berichte aus der BBA*, issue 98, Saphir Verlag, Ribbesbüttel.

Ruyschaert, G., Poesen, J., Verstraeten, G., Govers, G., 2004. Soil loss due to crop harvesting: significance and determining factors. *Prog. Phys. Geogr.* 28, 467-501.

- Ruyschaert, G., Poesen, J., Verstraeten, G., Govers, G., 2005. Interannual variation of soil losses due to sugar beet harvesting in West Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 107, 317-329.
- Saling, P., Kicherer, A., Dittrich-Krämer, B., Wittlinger, R., Zombik, W., Schmidt, I., Schrott, W., Schmidt, S., 2002. Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. *Int. J. LCA* 7, 203-218.
- Sattler, C., Kächele, H., Verch, G., 2007. Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 299-304.
- Scott R.K., Wilcockson, S.J., 1974. The effect of sowing date on the critical period for weed control in sugar beet. In: Anonymous, Proc. 12th Brit. Weed Control Conf., 461-468.
- SRU (Germany Advisory Council on the Environment), 2004. Umweltgutachten 2004. Nomos, Baden-Baden.
- Steensen, J.K., 2002. Balance between reduction of soil tare and root injuries. In: Anonymous, Proceedings of the 65th IIRB Congress, Brussels, International Institute for Beet Research, Brussels, 149-157.
- Sticksel, E., Maidl, F.-X., Retzer, F., Fischbeck, G., 1999. Nitrogen Uptake and Utilization in Winter Wheat under Different Fertilization Regimes, with Particular Reference to Main Stems and Tillers. *J. Agron. Crop Sci.* 183, 47-52.
- Trenkel, H.E., 1999. Kostenanalyse und Erfolgsfaktoren im Betriebszweig Zuckerrübenanbau. Ph.D. Thesis, University of Bonn, Agrimedia, Bergen.
- UNCED (United Nations Conference on Environment and Development), 1992. Agenda 21 – an action plan for the next century. Endorsed at the United Nations Conference on Environment and Development, New York.
- van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Res.* 52, 197-208.
- Verfaillie, H.A., Bidwell, R., 2000. Measuring eco-efficiency. A guide to reporting company performance. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Available at http://www.wbcd.org/web/publications/measuring_eco_efficiency.pdf, 28.10.2008.
- Vermeulen, G.D., 2002. Reduction of soil tare by improved uprooting of sugar beet – a soil dynamic approach. In: Anonymous, Proceedings of the 65th IIRB Congress, Brussels, International Institute for Beet Research, Brussels, 117-128.

von Weizsäcker, E.U., Seiler-Hausmann, J. (Eds.), 1999. Ökoeffizienz. Management der Zukunft. Birkhäuser Verlag, Berlin.

Wegener, U., 2001. Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen – Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Ph.D. Thesis, University of Göttingen. Cuvillier, Göttingen.

Wilkins, R.J., 2007. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. In: Pollock, C., Pretty, J., Crute, I. Leaver, C., Dalton, H. (Eds.), Sustainable Agriculture I. Phil. Trans. R. Soc. B 363, 517-525.

5. Epilog

In vielen Unternehmen hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass Nachhaltigkeitsaspekte für den ökonomischen Erfolg bedeutsam sind und ihre Berücksichtigung die Reputation erhöhen kann (VIEHÖVER et al. 2006). Auch die Unternehmen der deutschen Zuckerwirtschaft erfassen nicht allein Erfolgs- und Leistungskennzahlen. Zusätzlich werden Kenngrößen des non-financial Reporting in Umwelt- und Nachhaltigkeitsberichten veröffentlicht (NORDZUCKER 2005 und 2008, SÜDZUCKER 2005).

Die Produktion des Rohstoffs Zuckerrübe ist in den Nachhaltigkeitsberichten der Unternehmen bislang nicht berücksichtigt. Eine repräsentative nationale Erhebung des Anbaus von Zuckerrüben und den damit verbundenen Umweltwirkungen fehlte. Diese Lücke wurde durch die Befragung von über 100 Zuckerrüben anbauenden Landwirten für das Anbaujahr 2004 innerhalb des Verbundprojekts Umweltwirkungen, koordiniert am Institut für Zuckerrübenforschung (Göttingen), geschlossen (STOCKFISCH et al. 2008). Dabei trägt die umfassende Bearbeitung der Umweltwirkungen des Zuckerrübenanbaus in vier Teilprojekten auch dem wachsenden Interesse der Gesellschaft an einer nachhaltigen Entwicklung der Landnutzung Rechnung (WEBSTER 1997). Ziel des Verbundprojekts war die Erarbeitung von Kennzahlen zum Zuckerrübenanbau in den Teilbereichen Stoff- und Energieflüsse, Kosten, Umweltwirkungen und Öko-Effizienz.

Im Zuge einer nachhaltigen Entwicklung hat die Landwirtschaft die Aufgabe, Kulturpflanzenerträge zu steigern und die aus dem Anbau resultierenden Umweltbelastungen zu senken (SCHULZE 1995). Das Öko-Effizienzkonzept, dessen Umsetzung für den Zuckerrübenanbau im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, zielt darauf ab, die Produktivität und die Umweltleistung im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung zu verbessern. Der in dieser Arbeit vorgestellte Öko-Effizienz-Index für den Zuckerrübenanbau bildet aggregiert die Umweltwirkungen im Verhältnis zur Leistung, d. h. zum BZE ab. Dabei fließen Öko-Effizienzkriterien für Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte in gleicher Gewichtung in den Öko-Effizienz-Index ein.

Nach der erstmaligen Erfassung der Öko-Effizienzkriterien und des Öko-Effizienz-Indexes, stellt sich die Frage, wie sich die Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau weiter entwickeln könnte. Die Prognose zur Entwicklung des Weißzuckerertrags ergab für

Deutschland einen Ertragszuwachs von etwa 1 t ha^{-1} in zehn Jahren (FUCHS et al. 2008a). Dabei sind zwischen den Jahren Schwankungen auf Schlag-, Naturraum-, Regional- und Bundesebene im Ertrag zu erwarten, da der Faktor Umwelt (Standort x Jahr) bei Zuckerrüben einen sehr hohen Einfluss hat (MÄRLÄNDER 1991). Verhalten, aber doch kontinuierlich steigende Erträge werden die Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau erhöhen.

Eine Prognose zur Entwicklung der Intensität des Anbaus ist schwierig. Infolge der Reform der EU-Zuckermarktordnung mit Kürzungen der Rübenmengen und -preise (ANONYMUS 2006) und schwankenden, häufig aber höheren Preisen für andere Marktfrüchte und Betriebsmittel ist zu erwarten, dass die Intensität im Zuckerrübenanbau tendenziell zurückgehen wird. Aber erst durch eine Wiederholung der Befragung ließe sich diese Annahme über die Entwicklung der Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau überprüfen. Eine Reduzierung der durch die Öko-Effizienzkriterien repräsentierten Intensität und den damit verbundenen Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau muss keine Verminderung der Leistung bedeuten (FUCHS et al. 2008b) und somit sind die Ausgangsbedingungen für eine Erhöhung der Öko-Effizienz gut. Um die Entwicklung der Öko-Effizienz über die Zeit zu bestimmen, wäre es wichtig, die den hier vorgestellten Ergebnissen zugrunde liegende Befragung unter Zuckerrübenanbauern regelmäßig zu wiederholen. Die Ausgestaltung einer weiteren Befragung, insbesondere hinsichtlich der repräsentativen Auswahl der Betriebe, wird bei STOCKFISCH et al. (2008) thematisiert.

Grundsätzlich lässt sich mit dem Öko-Effizienzkonzept die Intensität des Anbaus im Verhältnis zur Ertragsleistung abschätzen. Nach REINEKE und STOCKFISCH (2008) hatte die Intensität der Anbaumaßnahmen auf den in die Befragung einbezogenen Schlägen im Mittel keine Folgen für die Umwelt. Jedoch wurde im Einzelfall deutlich, dass das Anbaumanagement zu optimieren ist. Beispielsweise war auf einem erheblichen Teil der untersuchten Schläge die N-Düngung zu hoch und kann reduziert werden (FUCHS und STOCKFISCH 2008). Bei Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Ernte ist eine Reduzierung der Intensität und damit häufig eine Steigerung der Öko-Effizienz möglich. Es konnte gezeigt werden, dass die Ertragsleistung von Zuckerrüben unabhängig von der Intensität des Anbaus ist (FUCHS et al. 2008b). Die Anwendung der erarbeiteten Erkenntnisse, d. h. Vermeidung von Intensität im Anbau, die nicht in Ertragsleistung umgesetzt werden kann, fördert eine nachhaltige Entwicklung.

Generell werfen die Ergebnisse der Arbeit die Frage auf, warum im Zuckerrübenanbau häufig eine übermäßig hohe Intensität vorliegt. VAN ITTERSUM und RABBINGE (1997) gehen von sozioökonomischen Ursachen für die Anwendung suboptimaler Produktionstechnik aus. Als Ursachen werden unter anderem mangelndes Wissen, die Vermeidung von Risiken, ungenügende finanzielle Mittel und in der Vergangenheit gemachte Erfahrungen angeführt. Entscheidungen im Ackerbau werden von Landwirten häufig mit Erfahrungswerten begründet. Diese Erfahrungswerte gehen vermutlich auf zurückliegende Empfehlungen, eigene praktische Erfahrungen und traditionelle Vorgehensweisen zurück und können mit Fehleinschätzungen verbunden sein (LÜTKE ENTRUP 1995).

Um eine Reduzierung der Intensität zu erreichen, gilt es Fehleinschätzungen der Landwirte zu korrigieren. Dies ist die zentrale Aufgabe der Beratung. Im deutschen Zuckerrübenanbau erfolgt die Beratung durch staatliche Institutionen (Landwirtschaftskammern und -ämter, Landesanstalten etc.) und durch die Zuckerwirtschaft (Rübenanbauerverbände und Zuckerunternehmen) (MÄRLÄNDER und MERKES 2001). Private Beratungsorganisationen haben eine geringe Bedeutung. Allgemein ist es Aufgabe der Beratung, Rübenanbauern bei der Anpassung der Produktionssysteme an sich wandelnde gesellschaftliche Ansprüche und agrarpolitische Rahmenbedingungen Hilfestellung zu leisten. Für die „Beratung zu einer nachhaltigen Entwicklung“ kann die verstärkte Einbindung von Landwirten in die Beratungsstrukturen förderlich sein. Im Bereich der Forschung muss angesetzt werden, um Konzepte für eine zwischen allen Institutionen integrative Beratung aufzustellen. Diese Konzepte könnten bspw. direkte Kommunikationsstrukturen anstelle eines Top-Down-Beratungsansatzes, Demonstrationsflächen auf landwirtschaftlichen Betrieben und die Beteiligung der Landwirte beinhalten, um den Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis zu unterstützen und die Akzeptanz innovativer Produktionsmethoden zu erhöhen (CHRISTEN 1996).

Aus der Berechnung der Öko-Effizienz des Zuckerrübenanbaus lassen sich Schwerpunkte für die künftige Beratung des Rübenanbauers vor Ort ableiten. Bei den 25 % der untersuchten Schläge mit einer niedrigen Öko-Effizienz liegt für mindestens drei, häufig für alle vier betrachteten Prozesse eine überdurchschnittlich hohe Intensität des Anbaus vor. Die Beratung sollte ihr besonderes Augenmerk auf Landwirte richten, die auf ihren Schlägen niedrige Werte in der Öko-Effizienz erzielt haben. Hier können die größten Verbesserungen erzielt werden. Diese Landwirte

könnten bspw. erreicht werden, wenn allen Rübenanbauern eine elektronische Eingabemaske zur Berechnung der Öko-Effizienz am eigenen Computer bereitgestellt wird, alle ihre betrieblichen Werte eigenständig berechnen und an eine zuständige Stelle weiterleiten. Ab einer als zu niedrig eingestuften Öko-Effizienz würde dann ein Beratungsgespräch erfolgen.

Das Öko-Effizienzkonzept bildet die Umweltwirkungen des Zuckerrübenanbaus mit Kennzahlen zum Aufwand (Input) im Verhältnis zum Ertrag (Output) ab und lässt sich somit den Input Output Accounting Systems (IOA) zuordnen. Hintergrund für die Entwicklung solcher Systeme ist es häufig negative Umweltwirkungen zu reduzieren. In einer Studie auf europäischer Ebene wurden 65 % dieser Systeme ein positiver Umwelteinfluss durch die Reduzierung von Überschüssen bescheinigt. Die Landwirte haben IOAs allgemein gut aufgenommen und sie wurden als geeignete Methode zur Sensibilisierung für Umweltprobleme betrachtet (GOODLASS et al. 2003). Gemessen an der kontinuierlichen Anwendung und Teilnahme der Landwirte waren Systeme, die von einem Berater regelmäßig betreut wurden, am erfolgreichsten. Bei der Anwendung des Öko-Effizienzkonzepts im Zuckerrübenanbau erscheint deshalb die Betreuung der Landwirte durch Berater sinnvoll.

Allgemein wird die Pflanzenproduktion von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst und ist dadurch einem steten Wandel unterworfen. Züchterischer Fortschritt (quantitativ und qualitativ), Agrarmärkte (Mengen und Preise) und Agrarpolitik (politische Ziele), Klimaänderung (Temperatur und Niederschlag) nehmen Einfluss auf den Anbau von Zuckerrüben. Wichtig ist es, den in dieser Arbeit vorgestellten Öko-Effizienz-Index als variables System zu begreifen bzw. anzuwenden und für Neuerungen offenzuhalten. Es ist durchaus erwünscht, bisher identifizierte Indikatoren durch valide, neue dem Stand der Wissenschaft entsprechende zu ersetzen oder weitere als relevant angesehene Indikatoren aufzunehmen. Als Beispiel kann der Prozess Ernte angeführt werden. Neben dem Erdanhang werden durch die Überfahrt mit schweren Erntemaschinen, insbesondere 6-reihigen Köpfrödebunkern mit einer Radlast von bis zu 12 t, Umweltwirkungen auf die Ressource Boden hervorgerufen (KOCH et al. 2008). Bislang konnte im Expertengespräch zum Bodenschutz, das regelmäßig am IfZ stattfindet, kein bundesweiter Sachstand zum Bodenschutz zusammengefasst und eine Kennzahl für die Belastung des Bodens veröffentlicht werden. Ist ein Sachstand erreicht, erscheint eine Anpassung des Öko-Effizienzkriteriums zur Ernte sinnvoll.

Da der Anbau von Zuckerrüben am Anfang der Zuckerproduktion oder auch der Herstellung von Bioethanol als Kraftstoff steht, bildet er den Ausgangspunkt einer nachhaltigen Entwicklung der gesamten Wertschöpfungskette. In der Vergangenheit konnte gezeigt werden, dass gewünschte Produkteigenschaften des Rohstoffs Zuckerrübe durch eine entsprechende Vertragsgestaltung festgeschrieben werden konnten und der Rohstoff in der gewünschten Qualität vom Landwirt geliefert wurde (FLAIG et al. 2002). In Zukunft könnten Zielwerte zur Erhöhung der Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau geprüft werden. Voraussetzung für die Implementierung und Weiterentwicklung des Öko-Effizienzkonzepts ist die Abstimmung der Partner in der Wertschöpfungskette. Durch ihre Zusammenarbeit erscheint es möglich die Öko-Effizienz zu erhöhen, so dass eine nachhaltige Entwicklung im Zuckerrübenanbau gewährleistet werden kann.

6. Zusammenfassung

Der Anbau von Zuckerrüben gilt als intensiv und wird mit negativen Wirkungen auf die Umwelt assoziiert. Das Öko-Effizienzkonzept kann im Zuckerrübenanbau Wege zu einer nachhaltigen Entwicklung aufzeigen, da es auf eine Steigerung der Erzeugung nützlicher Güter bei abnehmendem Verbrauch von Ressourcen abzielt und somit ökonomischen und ökologischen Fortschritt zusammenführt. Um das Öko-Effizienzkonzept für den Zuckerrübenanbau umzusetzen, wurde ein System von Indikatoren entwickelt, das Umweltwirkungen und Ertragsleistung integriert. Als Kennzahl für die Ertragsleistung diente dabei der Bereinigte Zuckerertrag (BZE), der im Gegensatz zum Deckungsbeitrag keinen Preisänderungen unterworfen ist.

Die Ertragsleistung bestimmt die Öko-Effizienz des Zuckerrübenanbaus wesentlich. Deshalb wurden zunächst auf Grundlage langjähriger Sortenprüfungen und Anbauerhebungen mögliche Einflussfaktoren auf den Ertrag untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass neben der Umwelt (Standort x Jahr), deren umfassende Bedeutung beim Anbau von Zuckerrüben bekannt war, das Anbaumanagement des Landwirts großen Einfluss auf die Ertragsleistung hat. Insgesamt sind durch züchterisch-technischen Fortschritt kontinuierliche Ertragssteigerungen im Zuckerrübenanbau zu erwarten. Die Prognose, abgeleitet aus der Ertragsentwicklung in der Vergangenheit, ergab einen Zuwachs von etwa 1 t ha^{-1} im Zuckerertrag im Zeitraum von zehn Jahren.

Um Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau messbar zu machen, wurden Öko-Effizienzkriterien für die Prozesse Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte abgeleitet. Ein Öko-Effizienzkriterium ist der Quotient aus prozessbezogenem Indikator für die Umweltwirkung und erzeugtem Bereinigtem Zuckerertrag. Die Indikatoren Energieinput der Bodenbearbeitung, N-Düngung, Behandlungsindex und Erdanhang spiegelten die Intensität des Anbaus wider und bildeten die Umweltwirkungen der genannten Prozesse ab. Die Berechnung der Öko-Effizienzkriterien erfolgte auf Basis einer Befragung in 2004 von 109 Zuckerrüben anbauenden Landwirten in allen Anbaugebieten in Deutschland.

Detailliert wurde die Öko-Effizienz der Düngung untersucht, da langjähriges Datenmaterial zur Verfügung stand, um Entwicklungen darzustellen. Daneben hat die

Befragung zum Anbau 2004 gezeigt, dass auf einem erheblichen Teil der untersuchten Schläge die N-Düngung zu hoch war. Die Streuung auf den Schlägen war mit $40 - 320 \text{ kg N ha}^{-1}$ bzw. $3,5 - 38 \text{ kg N t}^{-1}$ BZE sehr groß. Die N-Düngung kann häufig deutlich reduziert werden, ohne dass ein verminderter Ertrag zu erwarten ist.

Die Indikatoren Energieinput der Bodenbearbeitung, N-Düngung, Behandlungsindex und Erdanhang bildeten in Relation zum BZE die Öko-Effizienzkriterien. Sie wurden zum Öko-Effizienz-Index aggregiert. Dieser Index zeigt die Öko-Effizienz im deutschen Zuckerrübenanbau für das Jahr 2004 an. Auf Schlagebene variierten die genannten Indikatoren wie auch der BZE sehr stark. Die Öko-Effizienz zeigte dementsprechend ebenfalls eine hohe Variation. Zwischen Erdanhang und BZE bestand eine schwach positive Korrelation. Energieinput der Bodenbearbeitung, N-Düngung und Behandlungsindex korrelierten nicht mit dem BZE. So konnte gezeigt werden, dass der BZE von Zuckerrüben weitgehend unabhängig von der Intensität des Anbaus ist. Kurzfristig lässt sich die Öko-Effizienz am besten durch eine Reduzierung der Intensität erhöhen, ohne dass mit einem Ertragsrückgang zu rechnen ist. Langfristig werden kontinuierlich steigende Erträge die Öko-Effizienz im Zuckerrübenanbau erhöhen. Die Anwendung der erarbeiteten Ergebnisse, d. h. Vermeidung von Intensität, die nicht in Ertragsleistung umgesetzt werden kann, fördert eine nachhaltige Entwicklung im Zuckerrübenanbau.

Summary

Sugar beet cultivation is regarded as highly intensive and often associated with negative impacts on the environment. The eco-efficiency concept requests businesses to achieve more value from lower inputs of raw materials and energy, and with reduced emissions. Therefore, the eco-efficiency concept links economical and ecological progress. A system of indicators was developed to implement eco-efficiency in sugar beet cultivation. This system integrates environmental impact and yield performance of sugar beet cultivation. White sugar yield (WSY), which is not submitted to variations of market prices, served as an indicator for yield performance.

Yield performance influences the eco-efficiency of sugar beet cultivation considerably. Thus, potential effects on yield were examined, on the basis of long-term official variety trials and farm cropping data. The results showed in addition to the well-

known high effect of the environment (site x year), that the crop management of the individual sugar beet grower influences the yield performance remarkably. Altogether, progress in breeding will increase the yield of sugar beet continuously. A forecast based on the past yield development showed an increase of approximately 1 t ha^{-1} sugar yield for the period of 10 years.

Operation-specific indicators for the processes tillage, fertilizer application, plant protection and harvest were derived and related to white sugar yield to measure eco-efficiency of sugar beet cultivation. The denominator of these so called eco-efficiency criteria contained the operation-specific input indicators representing production intensity and environmental impact, whereas the numerator contained WSY representing yield performance. Calculation of the eco-efficiency criteria based on a survey representing sugar beet cultivation in 2004 of 109 farms throughout Germany.

The eco-efficiency of fertilizer application was analyzed in detail, since long-term data were available to describe developments. Besides, the results of the survey showed N fertilizer rates above the optimum on a considerable part of the surveyed fields. The variation on the fields was very high, ranging from $40 - 320 \text{ kg N ha}^{-1}$ or $3.5 - 38 \text{ kg N t}^{-1} \text{ WSY}$. In many cases, N fertilizer rate can be reduced without taking the risk of a yield decrease.

Energy input of tillage, N fertilizer rate, STI and soil tare in relation to WSY represented the eco-efficiency criteria. They were aggregated to the eco-efficiency index. This index represents the eco-efficiency of sugar beet cultivation in Germany in 2004. On a field level, the given indicators as well as WSY varied considerably. As a consequence, eco-efficiency showed a high variation, too. A weak positive correlation was given between soil tare and WSY. However, energy input of tillage, N fertilizer rate and standardized treatment index did not correlate with WSY. It was thus proved that WSY was widely independent of production intensity. In the short run, the most effective way to increase eco-efficiency is to reduce production intensity, which is not necessarily associated with a yield decrease. In the long run, continuously increasing yield will concomitantly enhance eco-efficiency. Applying the results on a farm level, i.e. to avoid all agronomic measures that do not contribute to yield increase will promote sustainable development in sugar beet cultivation.

7. Literaturverzeichnis

- ANONYMUS (2006): EU sugar regime reform. *International Sugar Journal* 1285, 6-11.
- BAROCKA, K.H., H. GEIDEL, W. MÜLLER (1972): Der Einfluß der Bestandesdichte und N-Düngung auf die Leistung von Zuckerrüben. I. Rübenertrag, Zuckergehalt, Zuckerertrag. *Z. Zuckerind.* 22, 81-88.
- BOGUSLAWSKI, E. VON, R. SCHILDBACH (1969): Der Einfluß von Standort, Jahr, Düngung und Beregnung auf die Qualität der Zuckerrübe unter Berücksichtigung des Ertrages. *Zucker* 22, 123-132.
- BOUWMAN, A.F. (1996): Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soil. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 46, 53-70.
- BUCHHOLZ, K., B. MÄRLÄNDER, H. PUKE, H. GLATTKOWSKI, K. THIELECKE (1995): Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerind.* 120, 113-121.
- BUNDESREGIERUNG (2008): Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Für ein nachhaltiges Deutschland. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.), Bonifatius Druck, Paderborn.
- CHRISTEN, O. (1996): Nachhaltige Landwirtschaft – Ideengeschichte, Inhalte und Konsequenzen für Forschung, Lehre und Beratung. *Berichte über Landwirtschaft* 74, 66-86.
- DE SIMONE, L., F. POPOFF (1997): *Eco-efficiency: The business link to sustainable development*. Cambridge, MA, MIT Press.
- DEUMELANDT, P., O. CHRISTEN (2008): Interaktionen wichtiger Agrarumweltindikatoren in Zuckerrübenanbausystemen. *Zuckerind.* 133, 719-728.
- DIEPENBROCK, W., G. FISCHBECK, K.-U. HEYLAND, N. KNAUER (1999): *Spezieller Pflanzenbau*. Verlag Eugen Ulmer, 3. Auflage, Stuttgart.
- DIN EN ISO 9000 (2005): *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe*. Beuth-Verlag, Berlin.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003): *Der Weg zu einer Reform der Zuckerpolitik der Europäischen Union. Zusammenfassung der Folgenabschätzung*. http://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/sugar/fullrep_de.pdf (Zugriff: 22.10.2008).
- EWERT, F., M.D.A. ROUNSEVELL, I. REGINSTER, M.J. METZGER, R. LEEMANS (2005): Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 107, 101-116.

- FLAIG, H., H. LEHN, U. PFENNING, Z. AKKAN, D. ELSNER, N. WACZLAWSKI (2002): Umsetzungsdefizite bei der Reduzierung der Nitratbelastung des Grundwassers. Materialienband der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart. <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2004/1814/> (Zugriff: 18.05.2008).
- FUCHS, J., N. STOCKFISCH (2008): Effizienzentwicklung im Zuckerrübenanbau am Beispiel der N-Düngung. Zuckerind. 133, Sonderheft Zuckerrübenanbau 2008, 29-37.
- FUCHS, J., N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER (2008a): Entwicklung und Variation der Leistung von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Anbaumanagement und Sorte. Pflanzenbauwiss. 12, 69-77.
- FUCHS, J., N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER (2008b): Eco-efficiency of sugar beet cultivation. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).
- GELDERMANN, U., K.-H. KOGEL (2002): Nature's concept. The "New Agriculture" amidst ecology, economy and the demythologization of the gene. J. Agron. Crop Sci. 188, 368-375.
- GOODLASS, G., N. HALBERG, G. VERSCHUUR (2003): Input output accounting systems in the European community – an appraisal of their usefulness in raising awareness of environmental problems. Eur. J. Agron. 20, 17-24.
- HERZOG, H., B. STEINER, D. BAILEY, J. BAUDRY, R. BILLETER, R. BUKÁČEK, G. DE BLUST, R. DE COCK, J. DIRKSEN, C.F. DORMANN, R. DE FILIPPI, E. FROSSARD, J. LIIRA, T. SCHMIDT, R. STÖCKLI, C. THENAIL, W. VAN WINGERDEN, R. BUGTER (2006): Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. Europ. J. Agron. 24, 165-181.
- HÜLSBERGEN, K.-J., B. FEIL, S. BIERMANN, G.-W. RATHKE, W.-D. KALK, W. DIEPENBROCK (2001): A method of energy balancing in crop production and its application in a long term fertilizer trial. Agric. Ecosyst. Environ. 86, 303-321.
- HUR, T., I. Kim, R. Yamamoto (2004): Measurement of green productivity and its improvement. J. Clean. Prod. 12, 673-683.
- IFZ (2008): Jahresbericht des Instituts für Zuckerrübenforschung 2007/08. <http://www.ifz-goettingen.de/site/de/247/jahresberichte.html> (Zugriff: 10.10.2008).
- KENTER, C., C. HOFFMANN, B. MÄRLÄNDER (2006): Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). Europ. J. Agron. 24, 62-69.

- KOCH, H.J., H. HEUER, O. TOMANOVÁ, B. MÄRLÄNDER (2008): Cumulative effect of annually repeated passes of heavy agricultural machinery on soil structural properties and sugar beet yield under two tillage systems. *Soil Till. Res.* 101, 69-77.
- KRAUS, W. (2005): Bericht über die Rübenkampagne 2004 – VdZ, Zweigverein Süd. *Zuckerind.* 130, 289-298.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2006): *Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07.* 19. Auflage, Landwirtschaftsverlag, Münster.
- LÆGREID, M., O.C. Boeckmann, O. KAARSTAD (1999): *Agriculture, fertilizer and the environment.* Norsk Hydro ASA, CABI, New York.
- LEWANDOWSKI, I., A. KICHERER, P. VONIER (1995): CO₂-balance for the cultivation and combustion of *Miscanthus*. *Biomass Bioenerg.* 8, 81-90.
- LÜTKE ENTRUP, N., H.-U. HENSCHKE, N. BRODOWSKI, D. KERSTIN (1995): *Umweltrelevante Verhaltensmuster der Landwirte – Umsetzungsstrategien und Transferdefizite für den integrierten Pflanzenbau in NRW.* Forschungsberichte des Fachbereichs Landbau Soest 1, Universität-Gesamthochschule Paderborn.
- LUPTÁCIK, M., C. WEISS (2005): *Produktivität und Ökoeffizienz. Vorstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Wien.* [http://www.bmwa.gv.at/NR/rdonlyres/7A127FB2-4C1F-49E2-9207-14420BB6A7AB/0/VorstudieProduktivittundko](http://www.bmwa.gv.at/NR/rdonlyres/7A127FB2-4C1F-49E2-9207-14420BB6A7AB/0/VorstudieProduktivittundko%20effizienz.pdf) effizienz.pdf (Zugriff: 06.11.2008).
- MÄRLÄNDER, B. (1991): *Zuckerrüben – Optimierung von Anbauverfahren, Züchtungsfortschritt, Sortenwahl.* Habilitationsschrift, Bernhardt-Pätzold, Stadthagen.
- MÄRLÄNDER, B., R. MERKES (2001): *Wissenstransfer Beratungsstruktur und Zuckerrübe in Deutschland.* *Zuckerind.* 126, 277-279.
- MÄRLÄNDER, B., C. HOFFMANN, H.-J. KOCH, E. LADEWIG, R. MERKES, J. PETERSEN, N. STOCKFISCH (2003): *Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development.* *J. Agron. Crop Sci.* 189, 201-226.
- MERKES, R., G.H. JUNG, H. MUGELE, K. ZIEGLER (1996): *Stand der Produktionstechnik im Zuckerrübenbau – Ergebnisse einer Umfrage bei Zuckerfabriken.* *Zuckerind.* 121, 496-503.
- MUHLACK, E. (1989): *Rübenerde in der Zuckerfabrik – ein Problem.* *Landtechnik* 44, 348-350.

- NORDZUCKER (2005): Nachhaltigkeitsbericht 2004/2005. http://www.nordzucker.de/fileadmin/NordzuckerCorp/download_pdf/Nachhaltigkeitsbericht/Nachhaltigkeitsbericht2004_05.pdf (Zugriff: 28.10.2008).
- NORDZUCKER (2008): Nachhaltigkeitsbericht 2008. http://www.nordzucker.de/fileadmin/NordzuckerCorp/download_pdf/Nachhaltigkeitsbericht/Nachhaltigkeitsbericht_2008.pdf (Zugriff: 28.10.2008).
- PFLSCHG (Pflanzenschutzgesetz) (1998): Pflanzenschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1998(BGBl. I S. 971, 1527, 3512), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. März 2008 (BGBl. I S. 284).
- PRINGAS, C., B. MÄRLÄNDER (2004): Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualität, Rentabilität und Cercospora-Befall von Zuckerrüben – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwiss. 8, 82-90.
- REINEFELD, E., A. EMMERICH, G. BAUMGARTEN, C. WINNER, U. BEIß (1974): Zur Voraussage des Melassezuckers aus Rübenanalysen. Zucker 27, 2-15
- REINEKE, H., N. STOCKFISCH (2008): Ausgewählte Umweltindikatoren für Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau. Zuckerind. 133, Sonderheft Zuckerrübenanbau 2008, 19-28.
- SALING, P., A. KICHERER, B. DITTRICH-KRÄMER, R. WITTLINGER, W. ZOMBIK, I. SCHMIDT, W. SCHROTT, S. SCHMIDT (2002): Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. Int. J. LCA 7, 203-218.
- SCHULZE, E. (1995): Bei der Gestaltung einer nachhaltigen Landwirtschaft die Einheit von Ökonomie und Ökologie gewährleisten. Agrarwirtschaft 44, 361-363.
- SRU (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (2004): Umweltgutachten 2004. Nomos, Baden-Baden.
- STARCKE, J.U., E. BAHRS (2008): Leistungen und Kosten bei Zuckerrüben und Ackerbau vor und nach den jüngsten Agrarreformen. Zuckerind. 133, Sonderheft Zuckerrübenanbau 2008, 38-45.
- STOCKFISCH, N., P. DEUMELANDT, J. FUCHS, H. REINEKE, J.U. STARCKE, B. MÄRLÄNDER (2008): Verbundprojekt Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau: Aufgaben und Ziele. Zuckerind. 133, 573-579.
- SÜDZUCKER (2005): Nachhaltigkeitsbericht. http://www.suedzucker.de/_downloads/nachhaltigkeitsbericht/nachhaltigkeit_d.pdf (Zugriff: 20.11.2008).

VAN ITTERSUM, M.K., R. RABBINGE (1997): Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Res.* 52, 197-208.

VERFAILLIE, H.A., R. BIDWELL (2000): Measuring eco-efficiency. A guide to reporting company performance. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). http://www.wbcsd.org/web/publications/measuring_eco_efficiency.pdf (Zugriff: 28.10.2008).

VIEHÖVER, M., J. HILF, F. KNECHT, S. REICH (2006): Nachhaltigkeit und Unternehmensführung. Ergebnisse einer Unternehmensbefragung im deutschsprachigen Raum. Frankfurt, Basel, Köln. <http://www.urscorp.eu/local/about/resources/> (Zugriff: 28.10.2008).

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (1996): Eco-efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance. <http://www.wbcsd.org/DocRoot/DIFMcUZj32ZOMj5xNMXq/eeleadership.pdf> (Zugriff: 28.10.2008).

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2000): Eco-efficiency: creating more value with less impact. http://www.wbcsd.org/DocRoot/BugWjalu0wHL0IMoiYDr/eco_efficiency_creating_more_value.pdf (Zugriff: 28.10.2008).

WEBSTER, J.P.G. (1997): Assessing the economic consequences of sustainability in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 64, 95-102.

WEGENER, U. (2001): Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen – Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier, Göttingen.

WINDT, A. (2005): Ertragspotenziale im Anbaugebiet der Nordzucker AG. Nordzucker Akzente, Ausgabe Dezember 2005.

WOLF, I. (1995): Sorte und Sortenwahl bei Zuckerrüben und deren Wechselwirkung zu Umwelt und Qualitätsbezahlung. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier, Göttingen.

WVZ (2007): Jahresbericht der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker und des Vereins der Zuckerindustrie 2006/2007. Bonn.

Lebenslauf

Julia Fuchs

* 17. Januar 1980 in Bad Mergentheim

Schulbildung

1986-1990	Grundschule Lipprichhausen
1990-1999	Christian-von-Bomhard-Schule, Uffenheim Gymnasium

Hochschulbildung

1999-2004	Studium der Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim Studienrichtung Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus Abschlüsse: Bachelor of Science; Master of Agribusiness
2005-2008	Promotionsstudium Agrarwissenschaften an der Georg- August-Universität Göttingen Promotionsstipendium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Anfertigung einer Dissertation am Institut für Zuckerrüben- forschung, An-Institut der Georg-August-Universität

Berufliche Tätigkeit

seit Februar 2009	Assistentin des Vorstandes bei der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt am Main
-------------------	---

Danksagung

Herrn Prof. Dr. B. Märländer danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referats. Die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit war geprägt von hilfreichen Diskussionen, stets konstruktiven Anregungen und einer angenehmen Atmosphäre, was motivierend wirkte und so großen Anteil am Gelingen der Arbeit hatte.

Frau Prof. Dr. E. Pawelzik danke ich für die freundliche Bereitschaft zur Übernahme des Korreferats. Frau Dr. N. Stockfisch, Koordinatorin des Verbundprojekts Umweltwirkungen, sei für ihren Beitrag herzlich gedankt, genauso meinen Mitdoktoranden aus dem Verbundprojekt Umweltwirkungen Heinrich Reineke, Peter Deumelandt und Jörn Uwe Starcke für den inhaltlichen Austausch, aber auch für manch nette Begebenheit, die wir gemeinsam erleben durften.

Mein besonderer Dank gilt den über 100 Landwirten, die an der Befragung des Verbundprojekts Umweltwirkungen mit Geduld, aber auch Engagement teilgenommen haben, genauso den Vertretern von Zuckerunternehmen und Zuckerrübenanbauerverbänden, die die Kontakte zu den Landwirten erst ermöglicht haben. Sie haben gemeinsam zu einer umfangreichen Datenbasis beigetragen, die grundlegend für die Anfertigung dieser Arbeit war.

Herzlich danke ich auch Dr. Christian Kluth und Dr. Alice Beining für ihre Hilfe bei der Lösung statistischer Fragen. Für das Korrekturlesen der einzelnen Artikel und der Arbeit als Ganzes bedanke ich mich bei Kerstin Busse. Für ihre stete Hilfsbereitschaft und Unterstützung gilt Dr. Christine Kenter großer Dank. Christina Bruns, Ulrike Krause, Dr. Ines Rothe und Swantje Wurm danke ich für ihre Freundschaft in und nach unserer gemeinsamen Zeit am IfZ. Allen Kolleginnen und Kollegen am IfZ danke ich für die angenehme Zusammenarbeit, besonders allen aus dem 1. Stock.

Für die Finanzierung meines Projekts innerhalb des Stipendienprogramms richtet sich mein Dank an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Darüber hinaus hat die DBU wertvolle Blicke über den eigenen wissenschaftlichen Tellerrand ermöglicht, z. B. durch Stipendiatenseminare und Tagungen. Den Verlagen, in denen die einzelnen Artikel der Arbeit erschienen sind, danke ich für die Abdruckgenehmigung. Frank und meiner Familie danke ich an dieser Stelle ganz besonders. Durch ihren Rückhalt während der Anfertigung der Arbeit haben sie mir sehr geholfen.

