Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Kerrin Birte Trimpler

Nachhaltige Produktivitätssteigerung im Zuckerrübenanbau

52/2017

Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Nachhaltige Produktivitätssteigerung im Zuckerrübenanbau

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

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

Aus dem Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen,
An-Institut der Georg-August-Universität Göttingen

Nachhaltige Produktivitätssteigerung im Zuckerrübenanbau

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Fakultät für Agrarwissenschaften

der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Kerrin Birte Trimpler

geboren in Kiel

Göttingen, im März 2017

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

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet
über http://dnb.d-nb.de abrufbar.
1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2017
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2017

1. Referent: Prof. Dr. Bernward Märländer

2. Korreferent: Prof. Dr. Ludwig Theuvsen

Tag der mündlichen Prüfung: 04.Mai 2017

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2017
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, 2017
Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9674-8
eISBN 978-3-7369-8674-9

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

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis III

Tabellenverzeichnis VI

Manuskripte VIII

Prolog 1

Manuskript I .....

Stickstoff-Düngung und Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland ... 7

1. Einleitung 8
2. Material und Methoden 9
3. Ergebnisse 12
4. Diskussion 19
5. Ausblick 25

Danksagung 26

Literatur 26

Manuskript II .....

The relevance of N fertilization for the amount of total greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation 32

1. Introduction 33
2. Material and methods 34
3. Results 38
4. Discussion 44
5. Conclusions 49

Acknowledgements 49

References 50

Manuskript III .....

Efficiency in sugar beet cultivation related to field history 55

1. Introduction 56
2. Material and Methods 57

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

3. Results 60

4. Discussion 67

5. Conclusions 72

Acknowledgements 73

References 74

Epilog 80

Literatur 89

Zusammenfassung/Summary 94

Weitere Veröffentlichungen während der Promotion 98

Lebenslauf 99

Danksagung 100

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

Abbildungsverzeichnis

Manuskript I

Abb. 1: Vergleich der mineralischen Stickstoffdüngung zu Zuckerrüben nach Düngeklassen (ohne Berücksichtigung der Düngung aus dem Vorjahr und der organischen Düngung) zwischen der Expertenschätzung 2010 und den Betriebsbefragungen 2004, 2010 und 2011 13

Abb. 2: Bereinigter Zuckerertrag (BZE) und Höhe der N-Düngung für Schläge der Befragung zum Zuckerrübenanbau 2004 (n=232), 2010 (n=393) und 2011 (n=395); q = Median aus allen Quotienten; N-Düngung ab Ernte der Vorfrucht einschließlich org. Düngung und Düngung zur Zwischenfrucht 14

Abb. 3: Anteil der eingesetzten N-Düngerformen im Zuckerrübenanbau in Deutschland in den Regionen sowie bundesweit im Mittel der Jahre 2010 und 2011 17

Abb. 4: Höhe der CO_2eq-Emissionen für den Zuckerrübenanbau bei Herstellung und Ausbringung verschiedener N-Düngermengen (links) und N-Düngerformen (rechts); berücksichtigt sind die direkten N_2O-Emissionen (angelehnt an Brentrup und Pallière, 2008), alle weiteren Beiträge zu den CO_2eq-Emissionen repräsentieren ein typisches Zuckerrübenanbau-verfahren aus der Praxis 18

Manuskript II

Fig. 1: CO_2eq emissions in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010-12, n = 1181, grouped by production factors and in total (box plots), N = N fertilizer production and use, N_2O = direct and indirect field N_2O emissions, diesel = diesel consumption, further production factors = application of P and K fertilizer, pesticides, seeds, letters indicate significant differences between the median of the years for the total emissions, $p \leq 0.05$, Kruskal Wallis Analysis 39

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

Fig. 2: Correlation between total CO_2eq emissions and the quantity of different production factors a) N fertilization, b) diesel, c) pesticides and d) seeds in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010-12, n = 1181, N fertilization = mineral + organic fertilization, *** = significant at p ≤ 0.001, Spearman´s rho 40

Fig. 3: Consumption of diesel for the whole cultivation process including sowing, pesticides´ and fertilizers´ use, tillage and harvest (above, n = 1181), and for the procedure of N fertilization exclusively (below) in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010-12, both (n = 498) = mineral and organic N fertilization, mineral (n = 581) = only mineral N fertilization, organic (n = 74) = only organic N fertilization, no (n = 28) = no N fertilization, solid line = median, dotted line = mean, letters indicate significant differences between the forms of N fertilization, p ≤ 0.001, Kruskal Wallis Analysis 42

Fig. 4: a) Sugar yield (SY) per ha and b) kg CO_2eq emissions per t sugar for sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010-12 (n = 1181), solid line = median, dotted line = mean, p ≤ 0.05, Kruskal Wallis Analysis 44

Manuskript III

Fig. 1: Geographical allocation of 1785 sugar beet fields, farm survey sugar beet cultivation in Germany 2010-2014, into four regions according to postal code, no farmers asked in Bremen, Hamburg, Berlin and Saarland 59

Fig. 2: Sugar yield plotted against a) N fertilization, b) treatment index, c) field evaluation index and soil texture, d) field size and livestock farming, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010-2014 (n = 1785) 60

Fig. 3: Sugar yield for the years 2010 – 2014, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010-2014 (n = 1785), solid line median, dotted line: mean, different letters indicate significant differences between years, Kruskal-Wallis-Test, p = < 0.001 61

Fig. 4: a) Vector loadings of the grouped variables on the principal components 1 and 2, b) distribution of the mean value of the crop rotations per region on the principal components 1 and 2; PC = principal component, cer. = cereals, pot. = potatoes, explained variance bracketed, numbers 1-4 indicate numbering of the quadrants, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010-2014 (n = 1785) 65

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

Epilog

Abb. 1: Frage an die Landwirte nach a) der Wichtigkeit ihrer Aufgaben und b) der Einschätzung der Gesellschaft über die Aufgaben der Landwirtschaft, pro Frage waren jeweils 3 Antworten möglich, n = 1532, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015 82

Abb. 2: Frage an die Gesellschaft nach a) den Wünschen der Eigenschaften der deutschen Landwirtschaft (Antwort: „sehr wünschenswert“) und b) dem, was auf die Landwirtschaft zutrifft (Antwort: „trifft eher zu“), n = 1000, verändert nach i.m.a (2012) 83

Abb. 3: Behandlungsindex in Abhängigkeit von der Gesamt-Ackerfläche des Betriebes, alle Betriebe mit einer Ackerfläche von 1-500 ha, n = 1936, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015 85

Abb. 4: Zuckerertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung (mineralisch und organisch, einschließlich der Düngung zur Zwischenfrucht), n = 2314, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015 87

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

Tabellenverzeichnis

Manuskript I

Tab. 1: Standardisierte Treibhausgas-Emissionskoeffizienten für die Aufwandmengen im Zuckerrübenanbau (nach *Biograce-Rechentool, 2013*) 11

Tab. 2: Ausgewählte Bewertungskriterien zur N-Düngung im Zuckerrübenanbau in Deutschland nach Regionen und bundesweit für die Jahre 2004, 2010 und 2011, dargestellt ist jeweils der Median, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (P<0,05, nach Kruskal-Wallis) 15

Tab. 3: Mittelwerte der eingesetzten Menge der Produktionsfaktoren sowie der CO_2eq-Emissionen für den Anbau von Zuckerrüben in Deutschland 2004 und 2010/11; N-Düngung beinhaltet Düngung zur Zwischenfrucht; N_2O bezeichnet direkte N_2O-Emissionen vom Feld; alle Emissionen umgerechnet in CO_2-Äquivalente; Berechnungsgrundlage: Biograce-Rechentool (2013) 16

Manuskript II

Tab. 1: Percentage of fields fertilized with the respective N fertilizer type in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010-12, n = 1181, N content according to *Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2007/2014*, note: total of percentages does not result in 100 because of fields fertilized with more than one N fertilizer type 35

Tab. 2: GHG emission coefficients for the application rates in sugar beet cultivation (*Biograce, 2015, modified*) 36

Tab. 3: Production factors for the calculation of CO_2eq emissions in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010-12, grouped by year, median values, * = calculated according to plant uptake, letters indicate significant differences between the years, $p \leq 0.1$, Kruskal Wallis Analysis 38

Tab. 4: Forms of N fertilization and percentage of treated fields in sugar beet cultivation farm survey Germany 2010-12, n = 1181, letters indicate significant differences between the groups within the years, $p \leq 0.05$, Kruskal Wallis Analysis 41

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

Tab. 5: CO_2eq emissions per production factor in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010-12 (n = 1181), grouped by the form of N fertilization, median values, N = production and use of N fertilizer, N_2O = field emissions, diesel = diesel consumption, further prod. factors = application of K and P fertilizer, pesticides, seeds, letters indicate significant differences between the groups within the production factors, p ≤ 0.05, Kruskal Wallis Analysis 43

Manuskript III

Tab. 1: Characteristics of sugar beet cultivation (n = 1785), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014 62

Tab. 2: Eigenvalues and proportion (cumulative) of the correlation matrix for characteristics of sugar beet cultivation (n = 1785), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014, components with eigenvalues >1 are typed bold 62

Tab. 3: Component loadings of the principal components of sugar beet cultivation of all surveyed farms (n = 1785), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014, PC = principal component, loadings > 0.4 are typed bold 63

Tab. 4: Proportion of crop rotations with sugar beet in the different regions (n = 1785), mentioned crop at least grown once during the last 5 years, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014 64

Tab. 5: Sugar yield, N fertilization, treatment index, field evaluation index and field size of typical sugar beet-crop rotations (see Table 4), results shown with the mentioned crop (with) in comparison to all other fields (without), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014 (n = 1785), Mann-Whitney Rank Sum Test, p = < 0.05. Different letters and values in bold indicate significant differences between the rotations with and without the mentioned crop. 66

Epilog

Tab. 1: N-Saldo je Schlag, n = 2314, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015 88

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

Manuskripte

Die drei folgenden Manuskripte der vorliegenden Dissertation wurden bereits publiziert:

Trimpler, K., N. Stockfisch, B. Märländer, 2013: Stickstoff-Düngung und Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland. Sugar Industry 138, 727-736

Trimpler, K., N. Stockfisch, B. Märländer, 2016: The relevance of N fertilization for the amount of total greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation. Eur. J. Agron. 81, 64-71, DOI:10.1016/j.eja.2016.08.013

Trimpler, K., N. Stockfisch, B. Märländer, 2017: Efficiency in sugar beet cultivation related to field history. Eur. J. Agron. 91, 1-9, DOI:10.1016/j.eja.2017.08.007

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

Prolog

Bis zum Jahre 2050 wird mit einem Anstieg der Weltbevölkerung auf weit über 9 Milliarden Menschen gerechnet. Gleichzeitig stoßen wir schon heute an die Grenzen der Erweiterung unserer landwirtschaftlichen Nutzflächen (*Leisinger, 2008*). Daraus ergibt sich die Tatsache, dass die Ernährung von immer mehr Menschen durch die momentan vorhandene Agrarfläche gesichert werden muss. Ernährungssicherheit ist gegeben, wenn alle Menschen in physischer und ökonomischer Hinsicht Zugang zu ausreichend, unbedenklichen und nahrhaften Nahrungsmitteln haben (*Qaim & Kouser, 2013*).

Eine der Aufgaben der Landwirtschaft muss es also sein, die Produktion von Nahrungsmitteln zu steigern und dabei natürliche Ressourcen zu schonen und so effizient wie möglich zu nutzen (*Van Passel et al., 2007).* Der in den letzten Jahren entwickelte Begriff der Nachhaltigen Intensivierung oder Nachhaltigen Produktivitätssteigerung (*The Royal Society, 2009*) fokussiert diese Herausforderung und empfiehlt Lösungswege.

Die Beschäftigung mit dem Thema ist nicht neu. Bereits 1798 warnte der britische Ökonom Thomas Robert Malthus in seinem *Essay on the Principle of Population*, dass zwangsläufig der Moment käme, an dem die Nahrungsproduktion nicht mehr mit dem Bevölkerungswachstum Schritt halten könne (*Malthus, 1798*). Dass „der Nahrungsspielraum der Menschen nicht in erster Linie eine Frage des Bodens sei, sondern eine Frage der Ausnutzungsmittel des Bodens“, hielt Friedrich Aereboe 1928 fest (*Aereboe, 1928*). Die 1972 vom *Club of Rome* vorgestellte Studie *The Limits to Growth* prognostizierte das Erreichen der absoluten Wachstumsgrenzen der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre (*Meadows et al., 1972*).

Eng im Zusammenhang mit der Nachhaltigen Produktivitätssteigerung steht der Begriff Effizienz, der allgemein als Verhältnis von Input, den eingesetzten Ressourcen, zu Output, dem erreichten Ergebnis, beschrieben wird (*DIN EN ISO 9000: 2015-11, 2015*) In den letzten Jahren entstanden im Bezug auf die Effizienz und Leistung des Zuckerrübenanbaus in Deutschland mehrere wissenschaftliche Veröffentlichungen, so z.B. ein Review-Artikel zur Ertragsleistung und Nachhaltigen Entwicklung (*Märländer et al., 2003*). Mit Daten aus der Praxis, die schlagspezifisch für ein Jahr erhoben wurden, arbeiteten Wießner et al. (*2010*) zur Öko-Effizienz sowie Reineke et al. (*2013*) zur Energieeffizienz.

Neueste Studien beschäftigen sich mit der Frage, wie Nachhaltige Produktivitätssteigerung im Ackerbau mit anderen politischen Programmen wie Landnutzungsänderungen oder Biodiversität interagieren kann (*Godfray & Garnett, 2014*) und mit der Entwicklung von standörtlich angepassten Produktionssystemen (*Campbell et al., 2014*). In der vorliegenden

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

Arbeit wird das Produktionssystem Zuckerrübe am Standort Deutschland in Bezug auf Umweltwirkungen und Effizienz über einen Zeitraum von bis zu fünf Jahren näher betrachtet. Dabei wird der Terminus Nachhaltige Intensivierung auf die betriebliche Ebene heruntergebrochen und findet Anwendung auf Daten aus der Praxis. Durch die Datenzusammenstellung über mehrere Jahre ist es möglich, zukünftig Entwicklungen im Zuckerrübenanbau in Deutschland abzubilden.

Die Schwierigkeit, Effizienz in der Landwirtschaft messbar zu machen, wird vielfach diskutiert (*van der Werf & Petit, 2002, Hayati et al., 2010, Moldan et al., 2012).* In den letzten Jahren haben sich einige Ansätze und Methoden sowohl für die Bewertung von Nachhaltigkeit auf einzelbetrieblicher Ebene als auch für die gesamte Wertschöpfungskette etabliert. Dabei werden Indikatoren zur Bewertung angewendet, die für die drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziales) stehen. Als Indikatoren werden Messgrößen bezeichnet, die Informationen zu einem bestimmten Sachverhalt liefern (*Wetterich, 2004*). Sie sollen das Verständnis von komplexen Systemen ermöglichen und eine Alternative bieten, wo präzise und direkte Messungen nicht möglich (z.B. Nachhaltigkeit oder Tierwohl) oder zu aufwendig sind (*Bockstaller & Girardin, 2003*). Streng genommen wird sich in der Landwirtschaft schon immer auf bestimmte Indikatoren zur Bewertung bezogen. So prüfen Landwirte seit jeher die Fruchtbarkeit von Böden z.B. anhand der Indikatoren Bodenstruktur und Vorhandensein bestimmter Pflanzen (*Bell & Morse, 2008*) und ziehen den Ertrag als Indikator für Flächeneffizienz heran.

Die meisten der verbreiteten Systeme zur Messung von Nachhaltigkeit und Effizienz weisen jedoch eine Vielzahl von Nachteilen auf. So werden oftmals die Nachhaltigkeit betreffende Bereiche nur unzulänglich abgedeckt, oder Schlüsselprozesse und die komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehungen werden nur teilweise erfasst (*Van Cauwenbergh et al., 2007*). Diese Kritik lässt sich bei dem Versuch, diverse und umfangreiche Prozesse in einigen wenigen relativ simplen Kenngrößen zusammenzufassen, kaum vermeiden (*Bell & Morse, 2008*).

Neben diesen in den letzten Jahren entwickelten gängigen Methoden gibt es daher immer wieder diverse Ansätze eigener Konzepte zur Messung von Nachhaltigkeit und Effizienz von Landwirtschaft, bzw. Kombinationen von etablierten Systemen und eigener Vorgehensweise (*Van Passel et al., 2007*, *Talukder et al., 2015, Boyle et al., 2015, Masuda, 2016).* Eine der größten Schwierigkeiten besteht in der Auswahl, Kombination und Interpretation von Indikatoren (*Moldan et al., 2012*). Dabei wird ganz unterschiedlich vorgegangen (*van der Werf & Petit, 2002, Gómez-Limón & Sanchez-Fernandez, 2010).*

Eine Selektion von Indikatoren lässt oft wesentliche Umweltwirkungen unberücksichtigt und ist daher stets angreifbar (*Wetterich, 2004*). Auf der anderen Seite ist es auch mit einer großen

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

Anzahl von Indikatoren kaum möglich, alle für eine Ökoeffizienz relevanten Kenngrößen und ihre Abstufungen abzudecken und damit ein wirklich all umfassendes Bild eines Betriebes zu liefern. Des Weiteren stellt eine zu große Anzahl die Durchführbarkeit einer Methode in Frage (*van der Werf & Petit, 2002*). Die verschiedenen Umwelten müssen mit einbezogen werden, denn weder die Standorte noch die Jahre bieten gleiche Grundvoraussetzungen. Die Auswahl der Indikatoren muss an das jeweilige Umfeld mit seiner spezifischen Geographie, seinen ökonomischen Zielen und seinem Klima angepasst werden (*Talukder et al., 2015*). Für dieses Problem bietet beispielsweise die RISE-Methode (Response-Inducing Sustainability Evaluation, *Grenz & Thalmann, 2013*) Lösungsansätze. Sie wurde an der Berner Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften entwickelt und legt Wert auf eine weltweite Anwendbarkeit. In einem ersten Schritt wird die Nachhaltigkeit des Betriebes analysiert, um dann in einem nächsten Schritt Entwicklungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Die untersuchten Indikatoren setzen sich dabei aus mehreren Parametern zusammen, die je nach regionalen Gegebenheiten gewählt und gewichtet werden.

Diverse Ansätze wurden unternommen, die Indikatoren zu Indizes oder Gesamt-Noten zu aggregieren, wie z.B. in den Studien von Rigby et al. (*2001*), Hajkowicz (*2006*) oder Wießner et al. (*2010*). Dies ist vor allem in Bezug auf die Vergleichbarkeit von Nutzen. Eine Herausforderung besteht hierbei in der Gewichtung der einzelnen Indikatoren. Reytar et al. (*2014*) teilen drei Systeme ein. Eine Möglichkeit besteht darin, allen Indikatoren die gleiche Wichtigkeit zuzuweisen. Ein anderer Ansatz gewichtet die einzelnen Indikatoren basierend auf dem Maß der statistischen Korrelation. Wieder andere Systeme nutzen Expertenwissen für die Beurteilung der Relevanz einzelner Indikatoren. Auch beim DLG-Nachhaltigkeitsstandard (*Christen et al., 2013*) werden Indikatoren am Ende zu einer Gesamtbewertung des Betriebes verknüpft. Dabei gilt ein Betrieb als nachhaltig, wenn ein mittlerer Nachhaltigkeitsgrenzwert in allen drei Säulen der Nachhaltigkeit erreicht wird. Der DLG-Nachhaltigkeitsstandard basiert auf dem Umwelt- und Betriebsmanagementsystem REPRO, dass an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg entwickelt wurde (*Hülsbergen, 2003*).

Die an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena initiierte Methode KSNL (Kriteriensystem Nachhaltige Landwirtschaft, *Breitschuh et al., 2008*) verzichtet bewusst auf genau diese Aggregierung. Auch eine Gewichtung der einzelnen Indikatoren wird nicht vorgenommen. Vielmehr kann die Betriebsleitung anhand einer detaillierten Ergebnisdarstellung einordnen, in welchen Bereichen Verbesserungen nötig sind.

Mit den international anerkannten Leitlinien, die in Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems (SAFA) zusammengefasst sind, existiert erstmals ein globaler Rahmen und eine einheitliche Sprache für standardisierte, transparente und vergleichbare

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

Nachhaltigkeitsbewertungen im Agrar- und Lebensmittelsektor (*Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2013*).

Ziel der vorliegenden Arbeit „Nachhaltige Produktivitätssteigerung im Zuckerrübenanbau“ war es, Kennzahlen zur Bewertung von Umweltwirkungen und Effizienz des Zuckerrübenanbaus abzubilden. Dabei sollten ausgewählte ökologische Kenngrößen, die Auswirkungen auf die Umwelt haben, immer im Verhältnis zur Höhe des Ertrags als Ausdruck für die Wirtschaftlichkeit betrachtet werden. Dieser weithin als Ökoeffizienz bekannte Ansatz (*Schmidheiny, 1992*; *Saling et al., 2002*) wurde bereits im Jahre 2010 auf den Zuckerrübenanbau in Deutschland angewandt (*Wießner et al., 2010*). Datenbasis war dabei eine einmalig durchgeführte Befragung im Jahre 2004 unter Zuckerrüben anbauenden Landwirtinnen und Landwirten (*Stockfisch et al., 2008*).
Die betrachteten Faktoren wurden nun an aktuelle Forschungsfragen angepasst und um neue Faktoren erweitert, um den momentanen Zustand in der Praxis im Zuckerrübenanbau in Deutschland abzubilden. Es wurde dabei bewusst vermieden, eine Gesamt-Ökoeffizienz aufzustellen, die Betriebe anhand einer einzigen Zahl charakterisiert und untereinander vergleichbar macht. Vielmehr werden einzelne Indikatoren, die aktuell für Diskurs sorgen, in ihrer Vielschichtigkeit betrachtet. So drängt z.B. das Problem der mit Landwirtschaft verbundenen CO_2-Emissionen in den letzten Jahren aufgrund der Ziele der Bundesregierung und der aktuellen EU-Gesetzgebung bzgl. erneuerbarer Energien stärker in den Vordergrund. Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, die deutschen Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 um 40 Prozent zu reduzieren. Daher wurde Ende 2014 ein Aktionsprogramm beschlossen, in dem auch Maßnahmen zur Landwirtschaft enthalten sind. Die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (*Biokraft-NachV, 2009*) dient der Umsetzung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (Richtlinie 2009/28/EG, *EU, 2009*). Sie regelt die Herstellung von Biokraftstoffen, also auch den Anbau der Rohstoffe wie der Zuckerrübe, und schreibt vor, dass die Treibhausgasminderungen von Biokraftstoffen gegenüber herkömmlichen bei 35 %, ab 2017 sogar bei 50 % liegen müssen.
Die Düngeverordnung in ihrer heutigen Fassung stellt den Zuckerrübenanbau in Bezug auf die Einhaltung von Ausbringungszeitpunkten und Stickstoff-Höchstmengen kaum vor Herausforderungen. Nach der für 2017 erwarteten Novellierung wird es jedoch eine Pflicht zur Düngebedarfsermittlung geben, Sperrfristen für die Ausbringung von Stickstoffdüngern verlängern sich von der Ernte der Hauptfrucht (und nicht wie bisher vom 01. November an) bis zum 31. Januar, die Obergrenze von 170 kg ha N für die Ausbringung organischer Dünger tierischer Herkunft wird sich zukünftig auf alle organischen und organisch-mineralischen Dünger beziehen und Überschreitungen sollen strenger geahndet werden. Mit Hinblick auf die

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

hohe Anzahl organisch gedüngter Zuckerrübenflächen, v.a. im Westen Deutschlands, wird die neue Düngeverordnung auch für den Zuckerrübenanbau relevant.
Die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung ist Ausdruck des Gesetzgebers, einen rechtlichen Rahmen für die Produktion von Rohstoffen und Ziele für deren Weiterentwicklung zu setzen. Dazu ist es erforderlich, die Status Quo mit belastbaren Daten zu beschreiben. Darauf aufbauend sollten dann auf wissenschaftlicher Basis entwickelte Ziele, die realistisch zu erreichen sind, formuliert werden.
Für den Zuckerrübenanbau in Deutschland wurde daher am Institut für Zuckerrübenforschung in Göttingen die Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau entwickelt (*Stockfisch et al., 2013*), die erstmals im Jahr 2011 für das Anbaujahr 2010 durchgeführt wurde. Befragt wurden jährlich wechselnde Betriebe in ganz Deutschland für die folgenden sechs Jahre bis einschließlich des Anbaujahres 2015. In die vorliegende Arbeit fließen die Daten bis einschließlich 2014 ein. Die Landwirte[1] machten Angaben zu ihrem Betrieb, zu Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau, Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte. Die Befragung wurde durch das Institut für Zuckerrübenforschung entwickelt und erfolgte auf der Ebene der Zuckerunternehmen in Zusammenarbeit mit den Zuckerrübenanbauerverbänden. Die anonymisierten Daten aus allen Betriebsbefragungen wurden im Institut für Zuckerrübenforschung in eine Datenbank übertragen und die Angaben auf Plausibilität geprüft. Allen befragten Betrieben wurde anschließend eine Zusammenstellung ausgewählter Daten in Tabellenform bereitgestellt, um einen Vergleich zwischen den Betriebsdaten und den Angaben im Durchschnitt der Fabrik/Region, des Unternehmens und des bundesweiten Mittels zu ermöglichen.

Auf die Betriebsbefragung aufbauend werden in der vorliegenden kumulativen Arbeit folgende Fragestellungen des Zuckerrübenanbaus behandelt:

- Wie wirkt sich der Ertrag auf die Effizienz aus bzw. welche Zusammenhänge bestehen hinsichtlich verschiedener Indikatoren zwischen Input und Output im Zuckerrübenanbau?

Um die N-Düngung als eine wichtige Anbaumaßnahme zur Ertragssicherung auf der einen und Verursacher von Treibhausgasemissionen auf der anderen Seite geht es im ersten Artikel „Stickstoff-Düngung und Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland“ von K. Trimpler, N. Stockfisch und B. Märländer, der in der Zeitschrift Sugar Industry 138, 727-736, 2013 veröffentlicht wurde (*Trimpler et al., 2013*).

[1] Der Anteil der an der Befragung teilnehmenden Landwirtinnen betrug unter 3 %. Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird daher im Folgenden –auch in Bezug auf andere Studien- nur die männliche Form verwendet.

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

Im zweiten Manuskript mit dem Titel „The relevance of N fertilization for the amount of total greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation“ von K. Trimpler, N. Stockfisch und B. Märländer, erschienen im European Journal of Agronomy 81, 64-71, 2016 (*Trimpler et al., 2016*), werden die CO_2eq-Berechnungen um das Jahr 2012 erweitert und die Methoden angepasst.

- Wie erklärt sich die Varianz der Effizienz, also des Verhältnisses von eingesetzten Produktionsfaktoren zu erzieltem Ertrag, im Zuckerrübenanbau?

Der dritte Artikel mit dem Titel „Efficiency in sugar beet cultivation related to field history“ (*Trimpler et al., 2017*) ist zur Veröffentlichung eingereicht und befasst sich mit Effizienz-Indikatoren im Zuckerrübenanbau unter Einbeziehung der Schlaghistorie.

Im Zusammenhang mit der Messbarkeit und Darstellung von schwer fassbaren Größen wie Nachhaltigkeit oder Effizienz steht die Kommunikation dieser oft als abstrakt empfundenen Begriffe. Gerade gegenüber der Landwirtschaft, die durch die Produktion von Lebensmitteln zum Alltag eines jeden gehört, auf der anderen Seite aber nur wenigen Menschen aus der Praxis bekannt ist, herrscht eine große Skepsis. Mit der Vermittlung wissenschaftlich erhobener Daten aus der landwirtschaftlichen Praxis in die Gesellschaft befasst sich der Epilog dieser Arbeit.

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

Manuskript I

Stickstoff-Düngung und Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland

Nitrogen fertilizer application and greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation in Germany

Kerrin Trimpler, Nicol Stockfisch, Bernward Märländer

Die N-Düngung im Zuckerrübenanbau ist eine wichtige Anbaumaßnahme zur Ertragssicherung. Jedoch kann sie sich auch negativ auf die Umwelt auswirken. Eine unsachgemäße oder übermäßige Ausbringung von N-Dünger kann die Qualität des Grundwassers und naturnahe Ökosysteme beeinträchtigen.

Anhand von Praxisdaten aus einer Betriebsbefragung werden verschiedene Kennwerte für die N-Düngung im Zuckerrübenanbau untersucht. Die Daten von 1020 Schlägen aus den Jahren 2004, 2010 und 2011 zeigten eine mittlere N-Düngung von 122 kg N ha^{-1} bis 128 kg N ha^{-1} für die einzelnen Jahre. Der Bilanzsaldo sank von 12 kg N ha^{-1} (2004) auf -24 kg N ha^{-1} (2011). Der BZE stieg von 10,6 t ha^{-1} im Jahr 2004 auf 12,9 t ha^{-1} im Jahr 2011. Auch eine gestiegene Effizienz der N-Düngung konnte verzeichnet werden.

Die Landwirtschaft gilt als einer der Hauptverursacher von direkten N_2O-Emissionen, die im Wesentlichen durch N-Dünger entstehen. Die Treibhausgasemissionen für den Zuckerrübenanbau liegen bei durchschnittlich 2 t CO_2eq ha^{-1} und entsprechen somit den von der EU angenommenen Standardwerten.

Zu den aktuellen Herausforderungen im praktischen Zuckerrübenanbau gehört, die Umweltbelastungen durch Auswaschungen und Treibhausgasemissionen so gering wie möglich zu halten ohne die Wirtschaftlichkeit zu beeinträchtigen.

Schlagwörter: N-Düngung, Effizienz, Treibhausgasemissionen, N_2O, Betriebsbefragung

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

N-fertilizer application is an important measure to improve yield stability in sugar beet cultivation. On the other hand it may affect the environment. An inappropriate or excessive application may influence the quality of groundwater and semi-natural ecosystems.
Different parameters of N-fertilizer use in sugar beet cultivation are studied based on data of a survey among farmers. Data of 1020 fields gathered in the years 2004, 2010 and 2011 showed an amount of N-fertilizer application between 122 kg N ha^{-1} and 128 kg N ha^{-1} for the different years. The N-balance decreased from 12 kg N ha^{-1} (2004) to –24 kg N ha^{-1} (2011). The corrected sugar yield increased from 10.6 t ha^{-1} in 2004 to 12.9 t ha^{-1} in 2011 and an increased efficiency of N-fertilizer could be documented. Agriculture is one of the main sources of direct N_2O-emissions, which arise mostly out of N-fertilizer. The greenhouse gas emissions from sugar beet cultivation are about 2 t CO_2eq ha^{-1} and thus equal to the standard values implemented by the EU.
To reduce environmental impact caused by leaching and greenhouse gas emissions without affecting economic aspects poses one of the actual challenges in sugar beet cultivation in commercial farms.

Keywords: N-fertilizer application, efficiency, greenhouse gas emissions, N_2O, farm survey

1. Einleitung

Durch die Zielvorgabe der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) bis 2015 sowie die geplante Überarbeitung der Düngeverordnung (DüV) in diesem Jahr wird die Relevanz von landwirtschaftlichen Anbaumaßnahmen für die Umwelt aktuell deutlich. Vor allem die Stickstoff-Düngung steht dabei im Fokus (*WRRL, 2000/60/EC; DüV, 2007*).
Schon seit langem ist bekannt, dass eine hohe Ertragssicherheit bei Zuckerrüben auch bei einer geringen N-Düngung gegeben ist (*Ladewig und Märländer, 1993*). Während eine angemessene N-Düngung den Rübenertrag erhöhen kann (*Stockfisch und Märländer, 2002*), senkt eine unverhältnismäßig hohe N-Düngung den Bereinigten Zuckerertrag. Der Standardmelasseverlust steigt mit steigender N-Düngung und der Zuckergehalt sinkt (*Hoffmann und Rother, 2000*), was sich negativ auf die Qualität der Rüben und somit auf die Effizienz der Verarbeitung auswirkt (*Märländer et al., 2003*). Der Aufwand in der Zuckerfabrik erhöht sich bei gleichzeitig sinkenden Gewinnen. Die Optimierung der N-Düngung ist also relevant in Hinsicht auf die ökonomischen und ökologischen Aspekte der Wertschöpfungskette, d.h. den Ertrag, die Verarbeitungsqualität der Rüben und die Umweltwirkungen.

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

Belastungen für die Umwelt aus der N-Düngung ergeben sich bei der Herstellung des Düngers, bei der Lagerung und während und nach der Ausbringung (*Brentrup und Pallière, 2008*) v.a. durch Auswaschungen und Emissionen. Neben der Menge können auch der Ausbringungszeitpunkt, die -technik sowie der maschinelle Aufwand, die Bodenbeschaffenheit, die Witterung und die Düngerform die Wirkung des Düngers und die Höhe der Verluste beeinflussen. Bei der N-Mineralisierung im Boden bildet sich zunächst Ammoniak (NH_3), welches durch gasförmige Freisetzungen zur Eutrophierung und Versauerung terrestrischer und aquatischer Ökosysteme führt (*Wahmhoff, 2011*). NH_3 geht in Wasser zu Ammonium (NH_4+) über. Bei leicht durchlässigen Sandböden ist dies für Einträge ins Grundwasser verantwortlich (*Scheffer und Schachtschabel, 2002*). Überwiegend erfolgt die Auswaschung jedoch als Nitrat (NO_3–). Dies entsteht bei der Nitrifikation. NH_4+ wird zu Nitrit (NO_2–) umgewandelt und durch Bakterien dann zu NO_3– umgesetzt. Belastetes Grundwasser ist der bedeutendste Eintragspfad von NO_3– in Oberflächengewässer (*UBA, 2012*). Aber auch durch Drän- und Sickerwasser können NH_4+ und NO_3– in Oberflächengewässer gelangen (*Jarvis et al., 2011*). Direkte Verluste entstehen auf dem Feld durch Freisetzungen von Lachgas (N_2O) nach der Ausbringung des Düngers (*Bouwman et al., 2002a*). Dieses klimaschädliche Gas leistet im besonderen Maße einen Beitrag zur Belastung der Atmosphäre aufgrund seiner hohen Klimawirksamkeit.

Mit Hilfe einer Betriebsbefragung unter Zuckerrübenanbauern in Deutschland wurden Praxis-Daten zur N-Düngung erhoben (*Stockfisch et al., 2013*) und analysiert. Verschiedene Kennwerte werden genutzt, um Auswirkungen der Höhe und Art der N-Düngung abzubilden und zu bewerten. Des Weiteren werden klimarelevante Emissionen des Zuckerrübenanbaus mit den Befragungsdaten anhand vorliegender Standardwerte aus der Literatur abgeschätzt. Beispielhaft wird die Komplexität dieser Berechnungen anhand der eingesetzten Düngerformen verdeutlicht.

Optionen für eine weitere Effizienzsteigerung im ökologischen und ökonomischen Bereich werden abschließend abgeleitet.

2. Material und Methoden

Die Grundlage der Daten bildet die Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau in Deutschland für die Jahre 2010 und 2011 (*Stockfisch et al., 2013*). Insgesamt wurden in beiden Jahren Daten zu 788 Schlägen (2010: 393, 2011: 395) erhoben. Die Landwirte gaben Auskunft über Anbaumaßnahmen, Ertrag und Qualität der Zuckerrüben auf dem größten Zuckerrübenschlag ihres Betriebes.

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

Eine bereits im Jahr 2004 unter Betriebsleitern durchgeführte bundesweite Befragung zum Zuckerrübenanbau wurde, sofern parallele Daten vorlagen, zum Vergleich herangezogen (*Wießner et al., 2010*). Außerdem wurde eine Expertenschätzung des Jahres 2010 (*Buhre et al., 2011*) den Betriebsangaben aus den Jahren 2010 und 2011 gegenübergestellt. Um die in Deutschland herrschenden spezifischen Unterschiede für die Zuckerrüben-Anbaugebiete zu berücksichtigen, wurde eine Einteilung in Regionen vorgenommen (*Stockfisch et al., 2013*). Diese erfolgte anhand der Bundesländergrenzen in Nord (Schleswig-Holstein, Niedersachsen), West (Nordrhein-Westfalen Westfalen), Süd (Hessen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern) und Ost (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Sachsen).

Alle Maßnahmen wurden dabei stets von der Ernte der Vorfrucht bis zur Lagerung der Rüben in der Miete am Feldrand betrachtet. Für die N-Düngung bedeutet dies, dass alle ausgebrachten Dünger ab Ernte der Vorfrucht berücksichtigt wurden, einschließlich der N-Düngung zur Zwischenfrucht und aller organischen Dünger. Für letztere wurde die für Zuckerrüben verfügbare Menge Stickstoff angerechnet (*LWK Nds., 2012*). Für die Nährstoffgehalte organischer und mineralischer Düngemittel wurden Standardwerte angesetzt (*LWK Nds., 2007; LWK Nds., 2009*). Darüber hinaus wurden in Bezug auf die N-Düngung N_2O-Emissionen vom Feld nach Ausbringung des Düngers mit 1 % des gedüngten Stickstoffs angesetzt (*IPCC, 2006*). Dieser Emissionsfaktor wird unabhängig von der Fruchtart und der Art des verwendeten N-Düngers benutzt (*Dobbie und Smith, 2003*). Indirekte Emissionen von N_2O blieben unberücksichtigt.

Für die Darstellung der Effizienz wurde die Düngung ins Verhältnis zum Bereinigten Zuckerertrag (BZE) gesetzt. Das Verhältnis der gesamten organischen und mineralischen N-Düngung (inklusive der Düngung zur Zwischenfrucht) in kg N ha^{-1} zum BZE in t ha^{-1} dient als Effizienzindikator und wird als Quotient *q* bezeichnet (*Fuchs und Stockfisch, 2009*). Die Quotienten wurden schlagspezifisch berechnet. Die schlagspezifischen *q*-Werte wurden zur Medianberechnung für Teilmengen der Daten oder für den Gesamt-Median herangezogen. Die Isoeffizienz-Linien kennzeichnen das mittlere Verhältnis zwischen N-Düngung und BZE für ein Anbaujahr entlang des gesamten Spektrums von N-Düngergaben.

Mit den schlagbezogenen Aufzeichnungen wurde der Bilanzsaldo als Schlagbilanz berechnet. Dadurch ist eine differenzierte Bewertung der einzelnen Schläge möglich (*Bach und Wrede, 2005*). Die Nährstoffabfuhr durch die geernteten Zuckerrüben (1,8 kg N t^{-1} Rüben-Frischmasse) wurde dabei von der N-Zufuhr durch die Düngung subtrahiert (*DüV, 2007*). Die Grundnährstoffe Phosphor und Kalium werden in Bezug auf ihr Saldo hier nicht betrachtet, da die Düngung oft nicht spezifisch zu Zuckerrüben erfolgt, sondern innerhalb der Fruchtfolge zu bewerten ist. Eine Bilanzierung ist nur über einen längeren Zeitraum sinnvoll (*Scheffer und Schachtschabel, 2002*).

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

Phosphor und Kalium fließen aber in die Ermittlung der Treibhausgasemissionen des Anbaus ein. Die Angaben für diese Dünger sowie für CaO wurden nach Entzug berechnet (P_2O_5: 0,95 kg t^{-1} Rübenfrischmasse, K_2O: 2,5 kg t^{-1} Rübenfrischmasse, CaO: 4 kg t^{-1} Rübenfrischmasse) (*Hydro Agri, 1993*).

Die Berechnung der klimarelevanten Emissionen erfolgte gemäß den Standardwerten des Rechentools *Biograce* (*2013*). Dieses erlaubt Kalkulationen von Treibhausgasemissionen für Biokraftstoffe und wurde im Mai 2013 von der EU als freiwilliges Zertifizierungssystem anerkannt (*EU, 2013/256/EU*). Um eine Vergleichbarkeit untereinander zu gewährleisten, werden die Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und N_2O in CO_2-Äquivalente (CO_2eq) umgerechnet (EU, 2009, Annex V.C 5.). CO_2 dient als Ausgangswert für die Höhe des Beitrags der Treibhausgase zur Klimaerwärmung. Die Grundlage bildet die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre über einen bestimmten Zeitraum (*IPCC, 2007*). So ist CH_4 über 100 Jahre gesehen 23-mal klimawirksamer als CO_2. Für N_2O ergibt sich eine Treibhauswirksamkeit (Global Warming Potential, GWP) von 296 (*EU, 2009*).

Die standardisierten Treibhausgas-Emissionskoeffizienten (nach *Edwards et al., 2011*) berücksichtigen die Emissionen bei der Herstellung, beim Transport und bei der Lagerung für alle Aufwendungen im Zuckerrübenanbau, d.h. Dünger, Pflanzenschutz, Saatgut und Diesel (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Standardisierte Treibhausgas-Emissionskoeffizienten für die Aufwandmengen im Zuckerrübenanbau (nach *Biograce-Rechentool, 2013*)

	Emissionskoeffizient
N (min.+org.)	5880,6 g CO_2eq kg^{-1}
P_2O_5	1010,7 g CO_2eq kg^{-1}
K_2O	576,1 g CO_2eq kg^{-1}
CaO	129,5 g CO_2eq kg^{-1}
Pflanzenschutz	10971,3 g CO_2eq kg^{-1}
Saatgut	3540,3 g CO_2eq kg^{-1}
Diesel	87,64 g CO_2eq MJ^{-1}

Bei der N-Düngung werden zusätzlich die nach der Ausbringung auf dem Feld entstehenden direkten N_2O-Emissionen berücksichtigt, die nach *UNFCCC* (*2007*) abgeschätzt werden können:

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

$N_2O\ direct_{N,t} = (F_{SN,t} + F_{ON,t}) * EF_1 * MM_{N2O} * GWP_{N2O}$ (1)

$N_2O\ direct_{N,t}$	Direkte N_2O-Emissionen in t CO_2eq (t N)$^{-1}$
$F_{SN,t}$	gedüngter mineralischer N in t
$F_{ON,t}$	gedüngter organischer N in t
EF1	Emissionsfaktor N_2O in % des gedüngten N
MM_{N2O}	Molekülmasse in t N_2O (t N)$^{-1}$
GWP_{N2O}	Treibhauspotenzial von N_2O in kg CO_2eq (kg N_2O)$^{-1}$

also

CO_2eq aus N_2Odirekt = x kg $N_{gedüngt}$ * 0,01 * 44/28 * 296 (2)

Die Werte werden in kg CO_2eq ha^{-1} angegeben. Der Dieselverbrauch des Maschineneinsatzes in L wird dafür mit Hilfe des Heizwertes für Diesel von 35,87 MJ i^{-1} umgerechnet (*BDB^e, 2013*). Beim Pflanzenschutz beziehen sich die Emissionen auf die Menge Aktivsubstanz im Pflanzenschutzmittel.

Der BZE berechnet sich unter Berücksichtigung von Rübenertrag (t ha^{-1}), Zuckergehalt (%), Standardmelasseverlust (% auf Rüben-Frischmassen) und Standardfabrikverlust (0,6 %) (*Märländer et al., 2003*).

Die statistischen Auswertungen und die graphischen Darstellungen wurden mit dem Softwarepaket SAS (Version 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), sowie der Software Sigma Plot (Version 11.0, Systat Software, Inc. SigmaPlot for Windows) durchgeführt. Da die Daten teilweise nicht normalverteilt waren, wurden parameterfreie Tests nach Kruskal- Wallis herangezogen und die Daten in Ränge überführt. Für die Darstellung von Durchschnittswerten wurde aufgrund der fehlenden Normalverteilung der Daten bei der Betrachtung der Bewertungskriterien für die N-Düngung der Median gewählt.

3. Ergebnisse

3.1 Höhe der N-Düngung

Auf den Schlägen der befragten Betriebe (Betriebsbefragung) bzw. auf der Rübenanbaufläche (Expertenschätzung) wurde am häufigsten zwischen 81 und 120 kg N ha^{-1} zu Zuckerrüben gedüngt (Abb. 1). Vergleicht man die Ergebnisse der Betriebsbefragung zur Produktionstechnik für alle Jahre über alle Düngerstufen, zeigt sich kein ausgeprägter Jahreseinfluss. Im Anbaujahr 2004 düngten 24,1 % der befragten Betriebe zwischen 41 und 80 kg N ha^{-1}, während es im Jahr 2010 24,7 % und in 2011 26,6 % waren. Der Anteil der Schläge, die mit 81 bis 120 kg N ha^{-1} gedüngt wurden, nahm über die Jahre von 41,6 % (2004)

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

auf 36,5 % (2011) ab. Die Düngergaben von 121 bis 160 kg N ha^{-1} sanken leicht, wo hingegen die Anteile in den beiden niedrigsten Klassen etwas stiegen. 2004 trat mit 9,3 % der größte Anteil an Schlägen mit einer Düngung von über 160 kg N ha^{-1} auf.

Nach Expertenschätzung wurde auf dem wesentlichen Teil der Rübenanbaufläche (65 %) eine mittlere N-Düngung von 41–120 kg N ha^{-1} ausgebracht (Abb. 1). Dies konnte durch die Betriebsbefragung bestätigt werden (64 %). Des Weiteren gleicht sich das Ergebnis, dass nur sehr wenige Schläge mit mehr als 160 kg N ha^{-1} und mit weniger als 40 kg N ha^{-1} mineralisch gedüngt wurden.

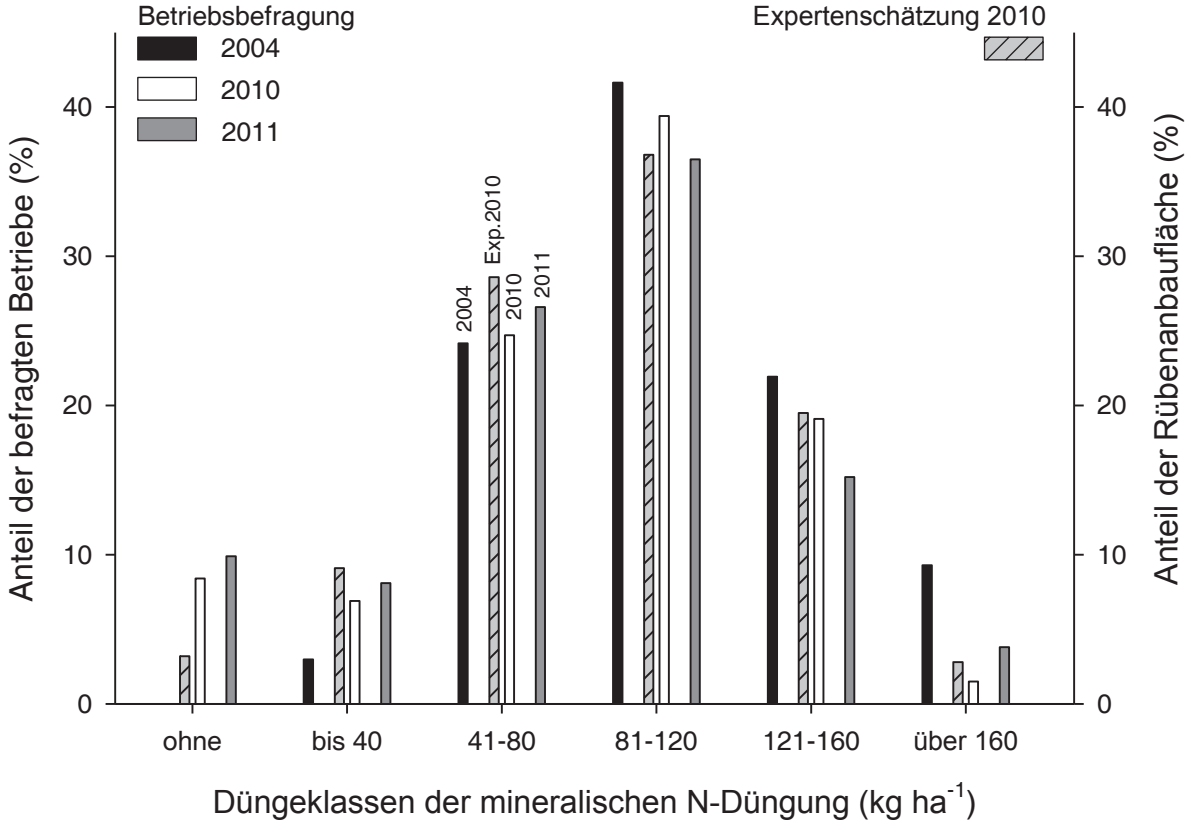

Abb. 1: Vergleich der mineralischen Stickstoffdüngung zu Zuckerrüben nach Düngeklassen (ohne Berücksichtigung der Düngung aus dem Vorjahr und der organischen Düngung) zwischen der Expertenschätzung 2010 und den Betriebsbefragungen 2004, 2010 und 2011

3.2 BZE und N-Düngung

Sowohl der BZE als auch die N-Menge zeigen für alle Jahre der Betriebsbefragung eine ähnlich große Variabilität. Der Variationskoeffizient des BZE lag bei 37,5 % bis 46 %, die Streuung der N-Düngung zwischen 17 % und 19 % (nicht dargestellt). Der BZE erreichte Werte zwischen 5 t ha^{-1} und 15 t ha^{-1} im Jahr 2004 bzw. 16 t ha^{-1} im Jahr 2010, 2011 wurden bis zu

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

19 t ha^{-1} BZE erzielt (Abb. 2). In allen Jahren reichte die Variationsbreite der N-Düngung bis über 200 kg ha^{-1}, wobei auf dem wesentlichen Anteil der Schläge zwischen 50 und 150 kg N ha^{-1} ausgebracht wurden.

In den Jahren 2010 und 2011 gab es Schläge, auf denen kein N gedüngt wurde (Abb. 2). Die im Jahr 2004 befragten Landwirte düngten alle mindestens 40 kg N ha^{-1}. Ein Zusammenhang zwischen dem BZE und der Höhe der N-Düngung zeigte sich weder im Anbaujahr 2004, noch 2010 oder 2011.

Die Isoeffizienzlinien wiesen für alle Jahre eine unterschiedliche Steigung auf (Abb. 2). Schläge mit einem vergleichsweise niedrigen BZE hatten bei gleichzeitig geringer N-Düngung die gleiche Effizienz wie Schläge mit hohem BZE bei gleichzeitig hohen Stickstoffgaben. Im Mittel sank q von 12,6 kg N t^{-1} BZE im Jahr 2004 bis auf 9,1 kg N t^{-1} BZE für das Jahr 2011, d.h. die N-Düngereffizienz stieg im Durchschnitt der befragten Betriebe um 28 %.

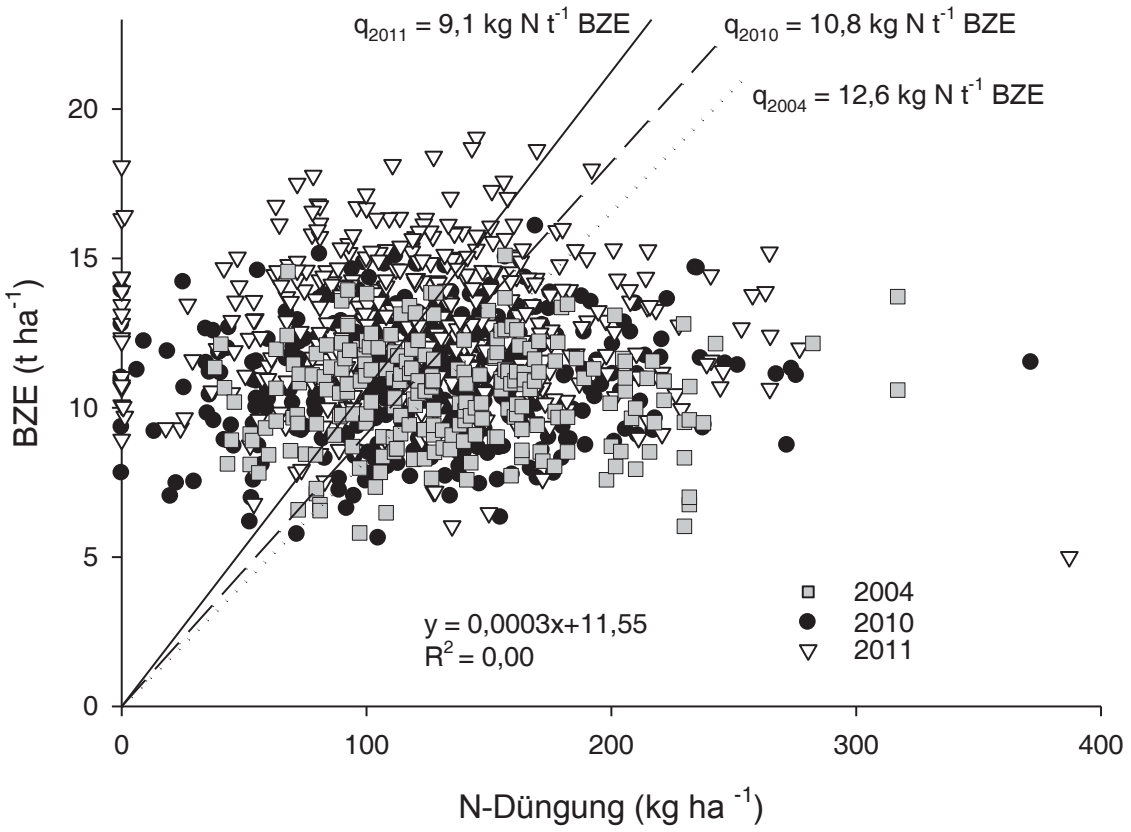

Abb. 2: Bereinigter Zuckerertrag (BZE) und Höhe der N-Düngung für Schläge der Befragung zum Zuckerrübenanbau 2004 (n=232), 2010 (n=393) und 2011 (n=395); q = Median aus allen Quotienten; N-Düngung ab Ernte der Vorfrucht einschließlich org. Düngung und Düngung zur Zwischenfrucht

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

3.3 Bewertung der N-Düngung

Die mittlere N-Düngung blieb bundesweit in den Jahren 2004, 2010 und 2011 etwa gleich hoch, entwickelte sich in den Regionen jedoch unterschiedlich über die Jahre (Tab. 2). Im bundesweiten Durchschnitt wurden 131 kg N ha^{-1} auf Schlägen ausgebracht, auf denen eine Zwischenfrucht angebaut wurde (nicht dargestellt). Schläge ohne Zwischenfruchtanbau wurden im Durchschnitt mit 114 kg N ha^{-1} gedüngt (nicht dargestellt). Im Vergleich zu den anderen Regionen wurde in der Region Ost in allen Jahren am wenigsten Stickstoff gedüngt. Der BZE stieg im bundesweiten Durchschnitt von 10,6 t ha^{-1} im Jahr 2004 auf 12,9 t ha^{-1} im Jahr 2011, wobei ein Anstieg in jeder Region zu verzeichnen war.

Tab. 2: Ausgewählte Bewertungskriterien zur N-Düngung im Zuckerrübenanbau in Deutschland nach Regionen und bundesweit für die Jahre 2004, 2010 und 2011, dargestellt ist jeweils der Median, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (P<0,05, nach Kruskal-Wallis)

Region	Jahr	Anzahl Schläge (n)	N-Düngung (kg ha^{-1})	BZE (t ha^{-1})	Quotient q $\frac{N\ (kg\ ha^{-1})}{BZE\ (t\ ha^{-1})}$	Bilanzsaldo (kg N ha^{-1})
Nord	2004	92	155	10,1	14,7	34
	2010	91	137	10,3	13,0	11
	2011	95	135	12,7	10,7	-1
West	2004	34	162	10,9	15,0	33
	2010	39	146	11,6	13,4	14
	2011	42	147	13,9	10,8	-8
Süd	2004	61	104	11,7	10,0	-18
	2010	173	120	12,0	9,8	-17
	2011	174	114	13,9	8,3	-33
Ost	2004	45	90	9,5	8,9	-17
	2010	90	103	9,5	10,7	-12
	2011	84	90	11,1	8,1	-36
bundes-weit	2004	232	128[a]	10,6[a]	12,6[a]	12[a]
	2010	393	122[b]	11,1[b]	10,8[b]	-5[b]
	2011	395	122[b]	12,9[c]	9,1[c]	-24[c]

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

Der Quotient q sank bundesweit und in allen Regionen von 2004 zu 2011 (Tab. 2). In der Region Ost variierte der Quotient *q* über die Jahre, unterschied sich jedoch nicht signifikant voneinander (nicht dargestellt).

Der Bilanzsaldo sank im bundesweiten Durchschnitt von 12 kg N ha^{-1} in 2004 auf -24 kg N ha^{-1} in 2011 und unterschied sich in allen Jahren signifikant voneinander (Tab. 2). Für die Regionen Süd und Ost wurden in allen Jahren negative N-Bilanzsalden berechnet. In den Regionen Nord und West sank der Saldo über die Jahre und lag im Anbaujahr 2011 jeweils bei nahezu 0 kg N ha–1. In allen Jahren unterschieden sich die Mediane für das Bilanzsaldo der Regionen Nord und West signifikant von den Regionen Süd und Ost (nicht dargestellt).

3.4 Treibhausgasemissionen

Die CO_2eq-Emissionen im Zuckerrübenanbau lagen 2004 und 2010/11 bei jeweils 2 t CO_2eq ha^{-1} (Tab. 3). Da sich die Emissionen insgesamt in den Jahren 2010 und 2011 nicht signifikant voneinander unterschieden (nicht dargestellt), werden sie für die landwirtschaftlichen Aufwendungen im Mittel über beide Jahre dargestellt.

Tab. 3: Mittelwerte der eingesetzten Menge der Produktionsfaktoren sowie der CO_2eq-Emissionen für den Anbau von Zuckerrüben in Deutschland 2004 und 2010/11; N-Düngung beinhaltet Düngung zur Zwischenfrucht; N_2O bezeichnet direkte N_2O-Emissionen vom Feld; alle Emissionen umgerechnet in CO_2-Äquivalente; Berechnungsgrundlage: Biograce-Rechentool (2013)

	2004	2010/11	2004	2010/11
	kg ha^{-1}		kg CO_2 ha^{-1}	
N (min.+org.)	131	123	770,4	723,3
N_2O			609,3	572,1
P_2O_5	52	71	62,7	71,8
K_2O	162	187	93,3	107,7
CaO	260	299	33,7	38,7
Pflanzenschutz	4,5	4,4	49,4	48,3
Saatgut	3,3	3,3	11,7	11,7
Diesel	126	134	397,5	422,8
Summe			2027,9	1996,4

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

Der Einfluss der verschiedenen Einzelmaßnahmen auf die Höhe der Gesamt-Treibhausgasemissionen verdeutlicht den großen Beitrag der N-Düngung von über 35 % in den Jahren 2004 und 2010/11. Zusammen mit den direkten N_2O-Emissionen im Feld ergab die N-Düngung 1,4 t CO_2eq ha^{-1} im Jahr 2004 und 1,3 t CO_2eq ha^{-1} 2010/11. Andere Dünger (P_2O_5, K_2O, CaO) hatten einen wesentlich geringeren Anteil. Die mit Saatgut und Pflanzenschutz verbundenen Emissionen waren sehr niedrig. Der Verbrauch an Diesel durch den Einsatz von Maschinen zur Bodenbearbeitung, Pflege und Ernte führte 2010/11 zu 422,8 kg CO_2eq ha^{-1}. In den Jahren 2010 und 2011 variierten die einzelnen Produktionsfaktoren bzgl. ihres Einflusses gegenüber 2004. Während sich die N-Düngung 2010/11 verringerte, stieg der Einsatz der anderen Dünger, ebenso der Dieselverbrauch. Die Höhe des Einsatzes von Pflanzenschutz und Saatgut blieb gleich.

3.5 Düngerformen

In allen Regionen und im bundesweiten Durchschnitt wurden zumindest 25 % der N-Menge in organischer Form ausgebracht (Abb. 3).

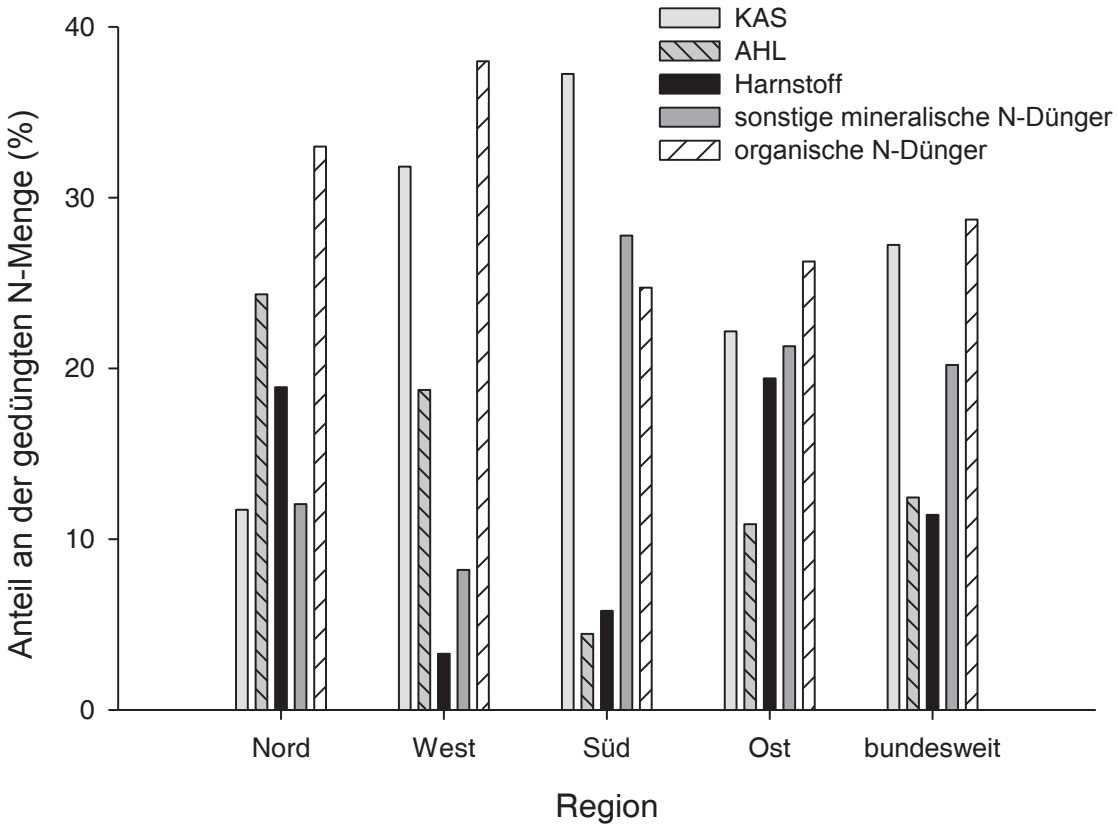

Abb. 3: Anteil der eingesetzten N-Düngerformen im Zuckerrübenanbau in Deutschland in den Regionen sowie bundesweit im Mittel der Jahre 2010 und 2011

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

Die bevorzugte Form der mineralischen N-Düngung variierte je nach Region deutlich. Weit über die Hälfte der gesamten N-Düngung erfolgte jedoch bundesweit und in allen Regionen durch Kalkammonsalpeter (KAS), Ammoniumnitrat- Harnstoff-Lösung (AHL) und Harnstoff. Über alle Schläge der Befragung wurde am meisten N aus KAS gedüngt. Im Norden wurde am häufigsten AHL als mineralischer N-Dünger verwendet (24,3 %) und eine hohe Menge N durch organische Düngung zugeführt. In der Region West wurde am meisten N in organischer Form eingesetzt und KAS war hier der am häufigsten verwendete mineralische N-Dünger. KAS wurde ebenso in der Region Süd bevorzugt verwendet. Hier spielte N aus sonstigen mineralischen Düngern im Vergleich aller Regionen die größte Rolle. Dabei handelte es sich vor allem um Mehrnährstoffdünger wie verschiedene NPK-Dünger, Ammonuimsulfatsalpeter (ASS) und Diammonphosphat (DAP). Der meiste Stickstoff der Region Ost stammte aus organischem N-Dünger sowie KAS.

3.6 Düngung und Treibhausgasemissionen

Abbildung 4 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Düngermengen sowie Düngerformen auf die Höhe der CO_2eq-Emissionen im Zuckerrübenanbau.

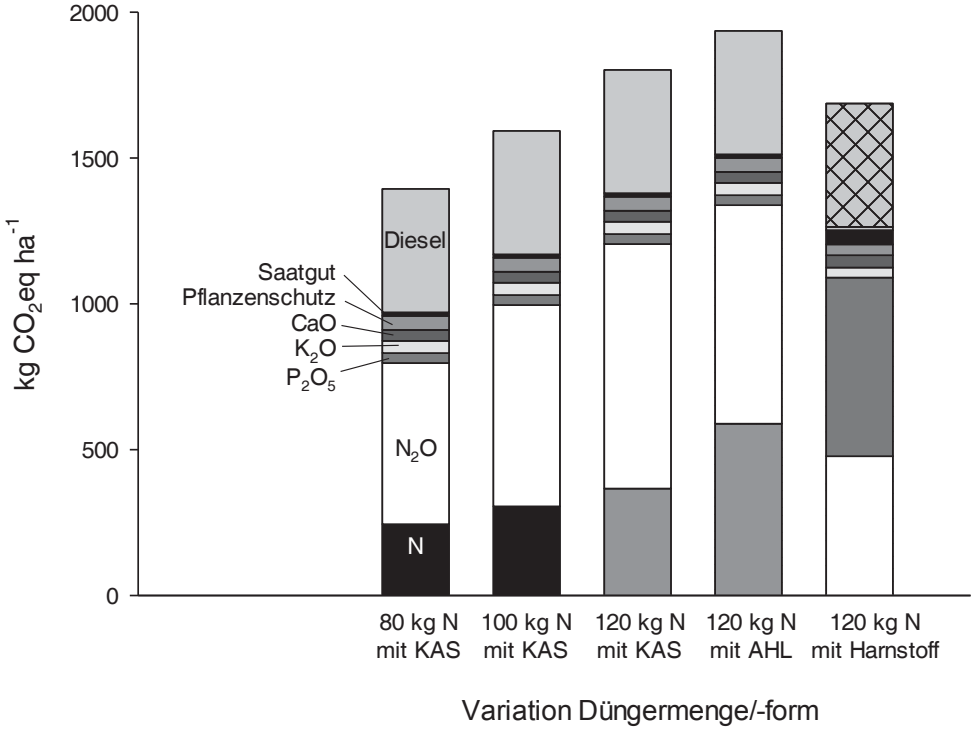

Abb. 4: Höhe der CO_2eq-Emissionen für den Zuckerrübenanbau bei Herstellung und Ausbringung verschiedener N-Düngermengen (links) und N-Düngerformen (rechts); berücksichtigt sind die direkten N_2O-Emissionen (angelehnt an *Brentrup und Pallière, 2008*), alle weiteren Beiträge zu den CO_2eq-Emissionen repräsentieren ein typisches Zuckerrübenanbauverfahren aus der Praxis

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

Die Höhe an Emissionen stieg pro 20 kg mehr gedüngtem N um je 12 %. Den wesentlichen Teil machten in allen Varianten die Emissionen aus N und N_2O aus.
Bei der Düngung mit 80 kg N ha^{-1} waren sie für 57 % der Gesamt-Emissionen verantwortlich, bei der Düngung mit 120 kg N ha^{-1} für 67 %. Den größten Anteil hatten die durch die N-Düngung verusachten Emissionen bei der Düngung von 120 kg N ha^{-1} mit AHL (69 %). Insgesamt entstanden für die N-Düngung von 120 kg ha^{-1} mit KAS 1,8 t CO_2eq ha^{-1}, mit AHL 1,9 CO_2eq ha^{-1} und mit Harnstoff 1,7 t CO_2eq ha^{-1}.

4. Diskussion

Ziel war es, die vielfältigen Umweltwirkungen und die Rolle der N-Düngung für einen effizienten Zuckerrübenanbau und dessen nachhaltige Entwicklung anhand von Daten aus der Praxis aufzuzeigen. 2004 wurden 109 Betriebe mit bis zu 3 Schlägen befragt (insgesamt 285 Schläge) (*Stockfisch et al., 2008*). Aus dem Jahre 2010 gibt es Daten zu 393 Schlägen (ein Schlag pro Betrieb), im Jahre 2011 wurden Daten zu 395 Schlägen erhoben (*Stockfisch et al., 2013*). Der Schwerpunkt lag auf der Abschätzung der Höhe der freigesetzten klimarelevanten Treibhausgase des Zuckerrübenanbaus. Hierbei wurden verschiedene Möglichkeiten und Systemgrenzen des Kulturpflanzenanbaus aus der Literatur verglichen, um eine sinnvolle Darstellung für die Befragungsdaten zu ermitteln. Nicht außer Acht gelassen werden sollte dabei der Interessenkonflikt für die Landwirte, den Anforderungen der Gesellschaft nach Nachhaltigkeit gerecht zu werden ohne die eigene Wirtschaftlichkeit zu beeinträchtigen.
Bei der Betrachtung der N-Düngung im Ackerbau spielen in ökologischer Hinsicht v.a. die Auswaschungen und der Beitrag zum Klimawandel durch CO_2eq-Emissionen eine Rolle (vgl. *Burger und Venterea, 2011; Brentrup et al., 2001*). Einträge in die Umwelt lassen sich selbst in Systemen mit geringem Produktionsmitteleinsatz, wie z.B. ökologisch bewirtschafteten Betrieben, nicht vermeiden (*Kelm et al., 2007*). Es stellt sich daher die Frage, inwiefern eine gezieltere Steuerung der N-Verfügbarkeit durch den Landwirt, z.B. durch die Höhe oder die Form der N-Gabe, möglich ist.
Auch CO_2eq-Emissionen entstehen bei jeder ackerbaulichen Bewirtschaftungsform, selbst in natürlichen Ökosystemen lassen sie sich nicht vermeiden (*Jarvis et al., 2011*). Ziel im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung muss es daher sein, die Verluste so gering wie möglich zu halten und die beanspruchten Ressourcen so effizient wie möglich zu nutzen.
Die Daten aus der Betriebsbefragung umfassen Ergebnisse aus zwei Anbaujahren mit jeweils verschiedenen Betrieben. Das Ausmaß des Jahreseinflusses und des Einflusses der unterschiedlichen Betriebe ist daher nicht abschätzbar. Dies muss bei den Betrachtungen

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

bedacht werden. Beispielsweise lag der Rübenertrag im Wirtschaftsjahr 2011/12 mit 70 t ha^{-1} erheblich über dem von 2010/11 mit 65 t ha^{-1} und über dem 5-Jahres-Mittel (64,3 t ha^{-1}) (*WVZ, 2013*). Die hohen Erträge lassen sich u.a. auf außergewöhnlich gute Bedingungen wie eine frühe Aussaat, zügige Jugendentwicklung und eine lange Vegetationsperiode mit hoher Einstrahlung zurückführen (*Kenter et al., 2006*).

Ganz allgemein kann festgehalten werden, dass in den letzten 20 Jahren eine Zunahme von Schlägen zu verzeichnen ist, die mit weniger als 80 kg N ha^{-1} gedüngt werden (vgl. Abb. 1). Die Einschätzung der Experten bzgl. des Düngeniveaus in der Praxis wird durch die Betriebsbefragung bestätigt. Da bei der Expertenschätzung Düngergaben aus dem Vorjahr, z.B. zur Zwischenfrucht, und organische Düngergaben nicht berücksichtigt wurden, sind sie daher in dieser vergleichenden Darstellung auch bei Daten der Betriebsbefragung nicht enthalten.

Der größere Anteil Schläge mit N-Gaben über 120 kg N ha^{-1} in Abbildung 2 im Gegensatz zu Abbildung 1 erklärt sich durch die Berücksichtigung der gesamten Düngung.

Des Weiteren wird bei einer Betrachtung der Höhe des BZE im Hinblick auf die Höhe der N-Düngung deutlich, dass kein Zusammenhang zwischen BZE und N-Düngung bestand (vgl. Abb. 2). In den Jahren 2010 und 2011 gab es Schläge, die gar nicht mit Stickstoff gedüngt wurden, jedoch teilweise Erträge von fast 15 t ha^{-1} BZE oder mehr erreichten. Hohe Zuckererträge können also unabhängig von der Höhe der N-Düngung realisiert werden (*Hoffmann und Stockfisch, 2010*). Keiner der Schläge mit einer Düngung von über 200 kg N ha^{-1} zählte zu denen mit den höchsten BZE. In Feldversuchen konnte nachgewiesen werden, dass sich die N-Düngung nur bis zu einer bestimmten Höhe positiv auswirkt, bei weiterer Steigerung jedoch den umgekehrten Effekt erzielt und den Zuckergehalt sowie den BZE senkt (*Starke und Hoffmann, 2011*). Die große Variationsbreite der Düngungshöhe lässt vermuten, dass in diesem Bereich weitere Möglichkeiten zur Optimierung bestehen.

Bei welcher Menge N im Durchschnitt des jeweiligen Jahres effizient gedüngt wurde, lässt sich anhand der Isoeffizienz- Linien ablesen (vgl. Abb. 2). Die Steigung der Geraden nahm über die Jahre zu und verdeutlicht die im Mittel steigende Effizienz. Im Vergleich aller vier Regionen wurde in den Regionen Süd und Ost eher wenig gedüngt. Schläge oberhalb der Isoeffizienz-Linie waren überdurchschnittlich effizient, was für 2004 und 2010 für alle Schläge mit einer N-Düngung unter 70 kg N ha^{-1} und für 2011 für alle unter 80 kg N ha^{-1} gilt.

Bei den Betrachtungen zur Aufwandmenge des N-Düngers und des erzielten BZE ist festzuhalten, dass Betriebe mit höheren Kosten für den Düngereinsatz nicht zwangsläufig einen Nutzen, also einen Mehrertrag, daraus erzielen. Es ist bekannt, dass Schläge mit geringer N-Düngung und damit geringeren Kosten und einem akzeptablen BZE neben den ökologischen auch ökonomische Vorteile realisieren können (*Gallasch et al., 2012*).

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

Setzt man N-Düngung und BZE ins Verhältnis, so kann festgestellt werden, dass im bundesweiten Durchschnitt der Quotient q über die Jahre sank (vgl. Tab. 2). In der Region Ost war er 2011 ähnlich niedrig wie in der Region Süd. Beim Vergleich dieser beiden Regionen zeigt sich also ein ähnliches Verhältnis von N (kg ha^{-1}) zu BZE (t ha^{-1}) bei unterschiedlichen Ausgangsdaten für diese Kennwerte. Mögliche Gründe für die niedrige N-Düngung in der Region Ost könnten – neben einem guten Management – u.a. der fehlende Anbau von Zwischenfrüchten sein, der sich durch die vorherrschende Trockenheit (*Schröder und Lehnert, 2008*) und das geringe Auftreten von Rübennematoden (*LALLF, 2006*) erklären könnte.
Der N-Bilanzsaldo sank im Laufe der Jahre im bundesweiten Durchschnitt sowie in den Regionen Nord und West. In den Regionen Süd und Ost variierte er und lag im Jahr 2011 jeweils bei –33 kg N ha^{-1}. Die Änderungen in der Höhe des Bilanzsaldos können dabei unterschiedliche Gründe haben. Da Trockenmasseertrag von Rüben und Zuckerertrag positiv miteinander korrelieren (*Hoffmann et al., 2012*), können z.B. eine gleichbleibende N-Düngung und ein steigender BZE oder eine sinkende N-Düngung und ein gleichbleibender BZE zu einem niedrigeren Bilanzsaldo führen. Die Abnahme des Bilanzsaldos über die Jahre bei der Betrachtung der bundesweiten Zahlen findet ihre Erklärung in einem Rückgang der N-Düngung und gleichzeitigem Anstieg des BZE (vgl. Tab. 2). Der Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft gilt im Nachhaltigkeitsbericht der Bundesregierung als einer von 14 Indikatoren für Lebensqualität (*Statistisches Bundesamt, 2012*). Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der N-Gesamtbilanz und der nachhaltigen Landnutzung allgemein. Nach *DüV* (*2007*) sind die Landwirte verpflichtet, jährlich mittels einer Flächen- oder Schlagbilanz einen Nährstoffvergleich zu erstellen. Dieser dient der Bewertung der Nachhaltigkeit eines landwirtschaftlichen Betriebs und sollte Ausgangsbasis für die Beratung sein (Bach und Frede, 2005). Eine ausgeglichene Nährstoffbilanz, also Zufuhr = Abfuhr, dokumentiert dabei ein Wirtschaften im Sinne der guten fachlichen Praxis (*DüV, 2007*). Viel diskutiert wird in diesem Zusammenhang eine Obergrenze für die N-Düngung, wie sie z.B. in Dänemark existiert (*van Grinsven et al., 2012*). Aufgrund der besonderen naturräumlichen und agrarstrukturell heterogenen Bedingungen in Deutschland ist eine Düngungsobergrenze für N aber umstritten (*Osterburg und Techen, 2012*). Da die Zuckerrübe in einer betriebsspezifischen Fruchtfolge steht, sollten N-Zu- und Abfuhren immer im Zusammenhang mit Vor- und Zwischenfrüchten und über den gesamten Zeitraum einer Fruchtfolge betrachtet werden (*Baumgärtel, 2003; Jarvis et al., 2011*). Die Minimierung von Nährstoffverlusten und der Ausgleich der Nährstoffsalden (*König et al., 2005*) sollte dabei im

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

Vordergrund stehen. Für die befragten Betriebe kann insgesamt festgehalten werden, dass die durchschnittlichen Bilanzsalden bei etwa 0 kg N ha^{-1} lagen und somit als angemessen zu bewerten sind.

Der Einsatz von N-Düngemitteln und vor allem die damit verbundenen direkten N_2O-Emissionen tragen zum wesentlichen Teil zu den Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft und den weltweiten anthropogenen N_2O-Emissionen insgesamt bei (*IPCC, 2007*). Diese Aussage kann bei der Betrachtung der CO_2eq-Emissionen im Zuckerrübenanbau bestätigt werden (Tab. 3). Indirekte N_2O-Emissionen entstehen durch Entgasungen als NH_3 oder durch Denitrifikation nach Auswaschung und Verlagerung von Stickstoff ins Grundwasser oder in Oberflächengewässer (*Bouwman et al., 2002a*). Sie flossen nicht in die vorliegenden Betrachtungen ein. Der Einsatz anderer Betriebsmittel wie der Dünger P_2O_5, K_2O und CaO, Pflanzenschutz und Saatgut war mit einer verhältnismäßig geringeren Freisetzung von Emissionen verbunden. Bei der N-Düngung fiel die Höhe von im Mittel 131 kg ha^{-1} im Jahr 2004 auf 123 kg ha^{-1} 2010/11. Der Verbrauch der Dünger P_2O_5, K_2O und CaO stieg leicht. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Aufwandmengen über den Entzug abgeschätzt wurden. Das Ertragsniveau hat also einen Einfluss, es lag 2010/11 höher als 2004. Die Aufwandmengen für Pflanzenschutz und Saatgut blieben über die Jahre gleich. Der Dieselverbrauch stieg dagegen in den letzten Jahren leicht von 126 ha^{-1} auf 134 l ha^{-1}. Verursacht werden kann der Anstieg durch die Wahl der eingesetzten Maschine und durch die Schlaggröße (*Döhler, 2008*).

Im Rechentool *Biograce* (*2013*) werden Standard-Aufwendungen für Anbauverfahren angeführt. Für die N-Düngung in Zuckerrüben werden 119 kg ha^{-1} angenommen, was nach den Ergebnissen der Betriebsbefragung eine gute Annäherung an die Praxis darstellt. Die anderen Werte variieren in ihrer Übereinstimmung, der Dieselverbrauch liegt mit 177 l ha^{-1} über dem Wert aus der Befragung. Für die Gesamt-CO_2eq- Emissionen des Zuckerrübenanbaus ergibt sich eine Höhe von 2 t CO_2eq ha^{-1} bei der Berechnung mit Hilfe der Standardwerte aus *Biograce*. Dieser Wert findet sich in den Ergebnissen aus der Befragung wieder.

Eindeutig ist, dass die entscheidenden Größen in Hinsicht auf die CO_2eq-Emissionen im Zuckerrübenanbau die N-Düngung und die damit verbundenen N_2O-Emissionen und im Weiteren der Dieselverbrauch sind. Bei einer Betrachtung des Energieaufwands im Zuckerrübenanbau ist der anteilige Beitrag der Betriebsmittel gleichmäßiger verteilt (vgl. *Reineke et al., 2013*). Es kann also nicht zwangsläufig von den CO_2eq-Emissionen auf die Energieaufwendungen geschlossen werden, allerdings stellen auch beim Energieaufwand Diesel und N-Düngung den überwiegenden Anteil.

Beispielhaft für die Vielschichtigkeit der im Zusammenhang mit CO_2eq-Emissionen

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

diskutierten Aspekte wurden die eingesetzten mineralischen N-Düngerformen differenzierter betrachtet. Die Düngerform wirkt sich aus auf die Entstehung von Emissionen (*Harrison und Webb, 2001*).

Zunächst wurden die unter den befragten Landwirten verwendeten N-Dünger quantitativ analysiert (Abb. 3). Neben der organischen Düngung wurden KAS, AHL und Harnstoff bevorzugt. Diese drei N-Düngerformen werden in diversen Studien häufig in Hinblick auf verschiedene Aspekte verglichen (*Brentrup und Pallière, 2008; Bouwman et al., 2002a* und *2002b*). Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Gebrauch der einen oder anderen Düngerform nach den individuellen Gegebenheiten und Bedürfnissen ausgewählt werden muss. So lassen sich auch die regionalen Unterschiede in der Präferenz der drei Düngerformen in Deutschland zurückführen auf Kosten bei Beschaffung und Ausbringung, die im Betrieb vorhandene Technik, die ggf. auch für Flüssigdünger eingesetzt werden kann, die Bodenbeschaffenheit und die Witterung, sowie den Zeitpunkt der Ausbringung (*Albert et al., 2006*). Darüber hinaus können Beregnung oder der Bedarf an anderen Nährstoffen im Düngemittel bei der Wahl des Düngers eine Rolle spielen (*Draycott und Christenson, 2003*). Diese Aufzählung verdeutlicht die heterogenen Voraussetzungen für den Zuckerrübenanbau in Deutschland und die Notwendigkeit für Erhebungen von Praxisdaten.

Die CO_2eq-Emissionen unterscheiden sich für die verschiedenen Düngerformen (vgl. Abb. 4). Nach *Bouwman et. al.* (*2002b*) hat N_2O aus Harnstoff von den drei in Deutschland bevorzugt eingesetzten Düngemitteln den höchsten durchschnittlichen Emissionsfaktor von 1,1 %. Die Emissionen aus AHL (1 %) decken sich mit dem Faktor des IPCC, während KAS nur einen Emissionsfaktor von 0,7 % aufweist. Durch die hohe Treibhauswirksamkeit von N2O können schon kleinste Mengen dieses Gases, die nach der Ausbringung des N-Düngers auf dem Feld entstehen, einen wesentlichen Beitrag zur insgesamt freigesetzten Menge an Treibhausgasen leisten (vgl. *Larson, 2006*).

Die Höhe der Emissionen der Düngerformen unterscheidet sich außerdem bei der Herstellung und bei der Ausbringung (*Brentrup und Pallière, 2008*). So produzieren KAS mit 1,7 kg CO_2eq (kg Produkt)$^{-1}$ und AHL mit 1,5 kg CO_2eq (kg Produkt)$^{-1}$ bei der Herstellung über doppelt so hohe CO_2eq-Emissionen wie Harnstoff (0,7 kg CO_2eq (kg Produkt)$^{-1}$). Betrachtet man die CO_2eq-Emissionen für Herstellung und Ausbringung pro Nährstoff, so liegt Harnstoff bei 10,9 kg CO_2eq (kg Nährstoff)$^{-1}$, AHL bei 12,6 kg CO_2eq (kg Nährstoff)$^{-1}$ und KAS bei 11,1 kg CO_2eq (kg Nährstoff)$^{-1}$. Dabei wird auch unterschieden nach der Modernität der Anlagen und der Technik, mit der die einzelnen Düngerformen produziert werden (auch: *Kongshaug und Jenssen, 2003*). Gegebenenfalls können durch den Einsatz der besten verfügbaren Technik je nach Düngerform noch zwischen 0,4 und 3,5 kg CO_2eq (kg Nährstoff)$^{-1}$ eingespart werden. Die Gesamt-Emissionen sowie die Emissionen aus dem

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

N-Düngereinsatz liegen bei der Verwendung von Harnstoff unter denen von KAS, obwohl die CO_2eq-Emissionen aus N höher liegen (vgl. Abb. 4). Dies lässt sich durch die hohen N_2O-Emissionen von KAS bei der Herstellung erklären (*Brentrup und Pallière, 2008*) – im Gegensatz zu Harnstoff, bei dessen Herstellungsprozess keinerlei N_2O-Emissionen entstehen.

Die organische Düngung ist in diesem Fall von den näheren Betrachtungen ausgenommen. Deren Bewertung ist schwierig, da es nicht möglich ist, ihre Nährstoffgehalte und Zusammensetzung präzise vorauszusagen.

Neben der Düngerform können weitere Faktoren die Höhe der CO_2eq-Emissionen im Ackerbau beeinflussen. Der in letzter Zeit v.a. in Zusammenhang mit biogenen Treibstoffen diskutierte Aspekt der Landnutzungsänderungen (LUC bzw. ILUC) (*Plevin et al., 2010*) hat im Zuckerrübenanbau keine Bedeutung, da der Umbruch von Flächen mit hohem Kohlenstoffgehalt unter anderem durch die Anforderungen in der *Biokraftstoff-NachV* (*2009, Teil 2, § 5*) ausgeschlossen ist und auch früher für den Anbau von Zuckerrüben keine Bedeutung hatte. Unberücksichtigt bleibt in den vorliegenden Untersuchungen auch die im Zusammenhang mit Kulturpflanzen häufig erwähnte C-Assimilation. Es handelt sich nur um eine kurzzeitige Fixierung des Kohlenstoffs (*Fuchs et al., 1995*), da er der Atmosphäre beim Gebrauch des Endprodukts, z.B. Bioethanol oder Zucker in der Ernährung, als CO_2 wieder zugeführt wird. Ebenfalls von den Betrachtungen ausgenommen sind die Bodeneigenschaften wie z.B. Kohlenstoff-Gehalt und pH-Wert (vgl. *Stehfest und Bouwman, 2006*).

Da die Bedingungen des jeweiligen Standorts (Klima, Boden), die für die Höhe von CO_2eq-Emissionen Bedeutung haben, von den Anbauern nicht beeinflusst werden können, ist das Management des Betriebsleiters für die Eindämmung von Emissionen relevant. Hierzu gehört die Gabe des passenden Düngemittels. Bei nachfolgender Kälte und Trockenheit ist z.B. AHL nicht zu empfehlen. Die flüssige Formulierung und der dadurch engere Bodenkontakt kann zu einer stärkeren Festlegung des Stickstoffs führen (*LWK NRW, 2012*). Direkte N_2O-Verluste können verringert und die Ausnutzung des Düngers verbessert werden, wenn auf die Eigenschaften der Dünger, neben der Witterungsempfindlichkeit z.B. auch die Wirkungsgeschwindigkeit, geachtet wird. Auch bei den organischen Düngern gibt es Unterschiede in der Höhe der Emissionen. Nach *Paulsen et al.* (*2013*) treten z.B. bei Festmist erhebliche N_2O-Emissionen während der Lagerung auf. Häufige Entnahme des Düngers und abgedeckte Lager sind eine Möglichkeit, um Emissionen zu reduzieren. Der richtige Zeitpunkt (Bedarf der Pflanze für N-Aufnahme mit Zeitpunkt der N-Ausbringung in Einklang bringen) und gegebenenfalls geteilte N-Gaben spielen ebenfalls eine Rolle (*Mosier, 1994*). Ein Kriterium für die Wahl eines bestimmten Düngers kann im ökonomischen Zusammenhang auch die im Betrieb vorhandene Technik sein. So bietet sich z.B. Flüssigdünger bei einer verfügbaren Pflanzenschutzspritze an (*LWK NRW, 2012*).

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

Es wird ersichtlich, dass die Prozesse und Parameter für eine CO_2eq-Bilanzierung in ihrer Komplexität im Betriebsalltag keine Beachtung finden können, teilweise auch nicht genau bekannt und für die Anwendung in der Praxis zu abstrakt sind. Je nach Rechenmodell und Systemgrenzen können die Ergebnisse variieren (vgl. *Klenk et al., 2012; Weinberg und Kaltschmitt, 2013*). Die entstehenden Emissionen müssen immer im Gesamtzusammenhang betrachtet und ins Verhältnis zum Ertrag gesetzt werden. Der Betrieb muss ökonomischen und ökologischen Nutzen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung gegeneinander abwägen.
Betriebsspezifische Analysen und ein daraus resultierendes optimiertes Management sind also unabdingbar. Dazu gehören von Seiten der Beratung und der Landwirte die ständige Aneignung und Umsetzung aktuellen Wissens und neuester Ergebnisse aus der Forschung (*Jarvis et al., 2011*). Die fortlaufende Dokumentation belastbarer Daten von Schlägen aus der Praxis kann hierzu einen Beitrag leisten. Außerdem zeigt sie die Entwicklungen im Zuckerrübenanbau auf, anhand derer sich mögliche weitere Effizienzsteigerungen erkennen lassen.

5. Ausblick

Die vielschichtige Bedeutung der N-Düngung für Umweltwirkungen des Zuckerrübenanbaus konnte in der vorliegenden Untersuchung verdeutlicht werden. Die Abschätzung der allgemeinen CO2eq-Emissionen für den Zuckerrübenanbau zeigt eine Übereinstimmung mit den Standardwerten aus der Literatur. Es konnte jedoch darüber hinaus am Beispiel der N-Düngung verdeutlicht werden, dass die Komplexität und die anhaltende Diskussion auf politischer Ebene bzgl. der Methodik zur Berechnung der Emissionen sowie der Definition der Systemgrenzen eine genaue Aussage und Vergleichbarkeit beinahe unmöglich machen. Eine Einigung und Festlegung würde ein Gegenüberstellen verschiedener Managementstrategien des Anbaus erlauben und es den Landwirten möglich machen, ihre Wirtschaftsweise besser einordnen zu können. Die Variationsbreite der Parameter N-Düngung und BZE lässt darauf schließen, dass bei einigen Betrieben Ressourcen nicht optimal ausgenutzt werden und Möglichkeiten zur Optimierung bestehen. Die vielfältigen Wirkungen der organischen Düngung und des Zwischenfruchtanbaus sind oftmals schwer zu erfassen. Hier können umfassendere Analysen zu einer genaueren Einschätzung ihres Einflusses beitragen. Eine Kostenanalyse kann konkretere Aussagen über die ökonomische Effizienz liefern. Weitere Untersuchungen können außerdem zeigen, inwieweit eine Effizienzsteigerung unter Berücksichtigung der Fortentwicklung von Technik und Züchtung im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung möglich ist und zur gesellschaftlichen Akzeptanz des wettbewerbsfähigen Ackerbaus beitragen kann.

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

Danksagung

Die Verfasser bedanken sich herzlich bei allen beteiligten Betrieben für die Geduld beim Ausfüllen der Fragebögen und für das entgegengebrachte Vertrauen. Den Beteiligten in den Regionen sei gedankt für die Durchführung der Befragung. Allen Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses gebührt ein Dank für die Unterstützung und die lebhaften und hilfreichen Diskussionen während der Sitzungen. Für die Finanzierung sei den Unternehmen BASF SE, Bayer CropScience Deutschland GmbH, Feinchemie Schwebda GmbH, KWS SAAT AG, Strube GmbH & Co. KG und Syngenta Seeds GmbH gedankt. Dem KTBL danken die Verfasser für die Zusammenarbeit bei der Berechnung des Dieselverbrauchs beim Maschineneinsatz.

Literatur

Albert, E.; Kowalewsky, H.-H.; Lorenz, F.; Ortseifen, U.; Schintling-Horny, L. von (2006): DLG-Merkblatt 350: N-Düngung effizient gestalten. DLG e.V., Frankfurt a.M.

Bach, M.; Frede, H.-G. (2005): Methodische Aspekte und Aussagemöglichkeiten von Stickstoff-Bilanzen. Institut für Landwirtschaft und Umwelt, Bonn

Baumgärtel, G. (2003): Nachhaltigkeit bei der Düngung; in: KTBL (Hrsg.): Bewertung von Umweltschutzleistungen in der Pflanzenproduktion. Darmstadt, 31–43

BDBe (2013): http://www.bdbe.de/branche/formeln/ (Stand: 14.06.2013)

Biograce (2013): Harmonised calculations of Bioenergy Greenhouse Gas Emissions in Europe, Version 4c, http://www.biograce.net/ (Stand: 08.05.2013)

Biokraft-NachV (2009): Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung), BGBl. I S. 3182

Bouwman, A.F.; Boumans, L.J.M.; Batjes, N.H. (2002a): Emissions of N2O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. Global Biogeochem Cy 16, 1058–1070

Bouwman, A.F.; Boumans, L.J.M.; Batjes, N.H. (2002b): Modeling global annual N_2O and NO emissions from fertilized fields. Global Biogeochem Cy 16, 1080–1088

Brentrup, F.; Küsters, J.; Kuhlmann, H.; Lammel, J. (2001): Application of the 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

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

Brentrup, F.; Pallière, C. (2008): GHG emissions and energy efficiency in european nitrogen fertiliser production and use; in: The International Fertiliser Society: Proceedings 639, 1–26

Buhre, C.; Bürcky, K.; Schmitz, F.; Schulte, M.; Ladewig, E. (2011): Umfrage zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau – Sachstand und Trends (1994–2010). Sugar Industry/Zuckerind. 136, 670–677

Burger, M.; Venterea, R.T. (2011): Effects of Nitrogen Fertilizer Types on Nitrous Oxide Emissions; in: Understanding Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Management. ACS Symposium Series, Washington D.C., 179–202

Dobbie, K.E.; Smith, K.A. (2003): Impact of different forms of N fertilizer on N_2O emissions from intensive grassland. Nutr Cycl Agroecosys 67, 37–46

Döhler, H. (2008): Energiebilanzen und Energieeffizienz von organischer und mineralischer Düngung im Ackerbau; in: KTBL (Hrsg.): Energieeffiziente Landwirtschaft. Darmstadt, 72–86

Draycott, A.P.; Christenson, D.R. (2003): Nutrients for Sugar Beet Production: Soil-Plant Relationships. CABI Publishing, Wallingford

DÜV (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV), BGBl. I S. 221

Edwards, R.; Larivé, J.-F.; Beziat, J.-C. (2011): Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WTT Appendix 1, Description of individual processes and detailed input data; http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu.about-jec/files/documents/wtw3_wtw_report_eurformat.pdf (Stand: 07.05.2013)

European Union (EU) (2013): Commission implementing decision of 30 May 2013 on recognition of the Biograce GHG calculation tool for demonstrating compliance with the sustainability criteria under Directives 98/70/EC and 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council (2013/256/EU)

European Union (EU) (2009), Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (RED)

Fuchs, C.; Jene, B.; Murschel, B.; Zeddies, J. (1995): Bilanzierung klimarelevanter Spurengase CO_2 und N_2O sowie Möglichkeiten der Emissionsminderung im Ackerbau. Agrarwirtschaft 44, 175–190

Fuchs, J.; Stockfisch, N. (2009): Effizienzentwicklung im Zuckerrübenanbau am Beispiel der N-Düngung. Sugar Industry/Zuckerind. 134, 33–41

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

Gallasch, M.; Stockfisch, N.; Märländer, B. (2012): Analyse der Kosten der Ökoeffizienz von Zuckerrüben anbauenden Betrieben in Deutschland. Sugar Industry/Zuckerind. 137, 389–397

Grinsven, H.J.M. van; Berge, H.F.M. ten; Dalgaard, T.; Fraters, B.; Durand, P.; Hart, A.; Hofman, G.; Jacobsen, B.H.; Lalor, S.T.J.; Lesschen, J.P.; Osterburg, B.; Richards, K.G.; Techen, A.-K.; Vertès, F.; Webb, J.; Willems, W.J. (2012): Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive; a benchmark study. Biogeosciences 9, 5143–5160

Harrison, R.; Webb, J. (2001): A Review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. Adv Agron 73, 65–108

Hoffmann, C.; Rother, B. (2000): Einfluss des N-Angebots auf die technische Qualität und die Verarbeitbarkeit von Zuckerrüben. VDLUFA Schriftenreihe 53, Kongressband, 55-62

Hoffmann, C.; Stockfisch, N. (2010): Effiziente Nutzung von Ressourcen im Zuckerrübenanbau. Sugar Industry/Zuckerind. 135, 37–43

Hoffmann, C.; Starke, P.; Märländer, B. (2012): Trockenmasse- und damit Zuckerertrag als Kriterium für den Biogasertrag von Zuckerrüben. Sugar Industry/Zuckerind 137, 530–538

Hydro Agri (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Twelfth ed. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup

IPCC (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use; http://www.ipcc-nggip.iges. or.jp/public/2006gl/vol4.html (Stand: 18.02.2013)

IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Working Group III: Mitigation of Climate Change; http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter8.pdf (Stand: 30.01.2013)

Jarvis, S.; Hutchings, N.; Brentrup, F.; Olesen, J.E.; Hoek, K.W. van de (2011): Nitrogen flows in farming systems across Europe; in: Sutton, M.A; Howard,

C.M.; Erisman, J.W.; Billen, G.; Bleeker, A.; Grennfelt, P.; Grinsven, H. van; Grizzetti, B. (Hrsg.): The European nitrogen assessment – Sources, effects and policy perspectives. Cambridge University Press, Cambridge, Chapter 10

Kenter, C.; Hoffmann, C.M.; Märländer, B. (2006): Effects of weather variables on sugar beet yield development. Eur J Agron 24, 62–69

Kelm, M.; Loges, R.; Taube, F. (2007): N-Auswaschung unter ökologisch und konventionell bewirtschafteten Praxisflächen in Norddeutschland – Ergebnisse aus dem Projekt COMPASS; in: Universität Hohenheim (Hrsg.): Zwischen Tradition und Globalisierung. Stuttgart

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

Klenk, I; Landquist, B; Ruiz de Imaña, O. (2012): The Product Carbon Footprint of EU beet sugar. Sugar Industry/Zuckerind. 137, 169–177

Kongshaug, G.; Jenssen, T.K. (2003): Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production; in: The International Fertiliser Society: IFA Technical Conference, Marrakesh, Morocco, 1998,

König, H.P.; Koch, H.-J.; Märländer, B. (2005): Wirkung von langjährig differenzierter Bodenbearbeitung und N-Düngung auf N-Aufnahme und N-Bilanz einer Zuckerrüben-Wintergetreide-Fruchtfolge. Pflanzenbauwissenschaften 9, 19–28

Ladewig, E.; Märländer, B. (1993): Wirtschaftlich optimale Höhe der Stickstoff-Düngung zur Zuckerrübe – eine kritische Betrachtung methodischer Ansätze am Beispiel von 39 niedersächsischen Feldversuchen. Zuckerind. 118, 692–695

LALLF (2006): Ergebnisse und Empfehlungen zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau 2006. Landwirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern

Larson, E.D. (2006): A review of life cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector. Energy for Sustainable Development 10, 109–126

LWK Niedersachsen (2007): http://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/340, naehrstoffgehalte:in_mineralischen-duenger~pdf.html (Stand: 27.03.2013)

LWK Niedersachsen (2009): http://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/340,57f78a0!-237d-eebf-5ebb983dbc93742d~pdf.html (Stand: 27.03.2013)

LWK Niedersachsen (2012): http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/ pflanze/nav/ 340/article/8505.html (Stand: 27.03.2013)

LWK Nordrhein-Westphalen (2012): http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ ackerbau/pdf/n-duengemittel-pdf.pdf (Stand: 01.03.2013)

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

Mosier, A.R. (1994): Nitrous oxide emissions from agricultural soils. Nutr Cycl Agroecosys 37, 191–200

Osterburg, B.; Techen, A. (2012): Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung, Abschlussbericht. Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung

Paulsen, H.M.; Blank, B.; Schaub, D.; Aulrich, K.; Rahmann, G. (2013): Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen. Landbauforschung – vTI 63, 29–36

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

Plevin, R.J.; O'Hare, M.; Jones, A.D.; Torn, M.S.; Gibbs, H.K. (2010): Greenhouse Gas Emissions from Biofuels' Indirect Land Use Change are uncertain but may be much greater than previously estimated. Environ Sci Technol 44, 8015–8021

Reineke, H.; Stockfisch, N.; Märländer, B. (2013): Analysing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany. Eur J Agron 45, 27–38

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (2002, 15. Aufl.): Lehrbuch der Bodenkunde. Spectrum Akademischer Verlag Heidelberg

Schröder, R.; Lehnert, J. (2008): Zwischenfrüchte (ver)brauchen auch Wasser! dzz 4, 17

Starke, P.; Hoffmann, C. (2011): Zuckerrüben als Substrat für die Biogaserzeugung. Sugar Industry/Zuckerind. 136, 242–250

Statistisches Bundesamt (2012): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012

Stehfest, E.; Bouwman, L. (2006): N_2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutr Cycl Agroecosys 74, 207–228

Stockfisch, N.; Märländer, B. (2002): Perspektiven für eine nachhaltige Zuckerrübenproduktion. Zuckerindustrie 127, 667–672

Stockfisch, N.; Deumelandt, P.; Fuchs, J; Reineke, H.; Starcke, J.U.; Märländer, B. (2008): Verbundprojekt Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau: Aufgaben und Ziele. Sugar Industry/Zuckerind. 133, 573–579

Stockfisch, N.; Gallasch, M.; Reineke, H.; Trimpler, K.; Mielke, C.; Reiners, M.; Risser, P.; Schmitz, K. (2013): Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau: Datenbasis und Basisdaten. Sugar Industry/Zuckerind. 138, Sonderheft 11. Göttinger Zuckerrübentagung, 11–18

UBA (2012): http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/grundwasser/nigehalt.html (Stand: 04.06.2013)

UNFCCC (2007): Report of the thirty-third meeting of the CDM Executive Board. 25–27 July 2007, Bonn

Wahmhoff, W. (2011): Stickstoffdüngung aus Umweltsicht; in: Stickstoff in Pflanze, Boden und Umwelt. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 23, 7–12

Weinberg, J.; Kaltschmitt, M. (2013): Greenhous gas emissions from first generation ethanol derived from wheat and sugar beet in Germany – Analysis and comparison of advanced by-product utilization pathways. Applied Energy 102, 131–139

Wießner, J.; Stockfisch, N.; Märländer, B. (2010): Approach for determining the eco-efficiency of sugar beet cultivation in Germany. Journal für Kulturpflanzen 62, 409–418

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

WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl. L 327

WVZ (2013): http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-undfakten/zuckermarkt-deutschland/ruebenanbau-zuckererzeugung.html (Stand: 24.04.2013)

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

Manuskript II

The relevance of N fertilization for the amount of total greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation

Kerrin Trimpler, Nicol Stockfisch, Bernward Märländer

The agricultural sector is highly affected by climate change and it is a source of greenhouse gases. Therefore it is in charge to reduce emissions. For a development of reduction strategies, origins of emissions have to be known. On the example of sugar beet, this study identifies the main sources and gives an overview of the variety of production systems. With data from farm surveys, calculations of greenhouse gas (GHG) emissions in sugar beet cultivation in Germany are presented. Emissions due to the production and use of fertilizers and pesticides, emissions due to tillage as well as field emissions were taken into account. All emissions related to the growing of catch crops during fall before the cultivation of sugar beet were also included. The emissions are related to the yield to express intensity.

The median of total GHG emissions of sugar beet cultivation in Germany for the years 2010–2012 amounted to 2626 equivalents of CO_2 (CO_2eq) kg ha^{-1} $year^{-1}$ when applying mineral plus organic fertilizer and to 1782 kg ha^{-1} when only organic fertilizer was applied. The CO_2eq emissions resulting from N fertilization exclusively were 2.5 times higher than those caused by diesel and further production factors. The absence of emissions for the production of organic fertilizers led to 12% less total CO_2eq emissions compared to the use of mineral fertilizer only. But by applying organic fertilizer only, there were more emissions via the use of diesel due to larger volumes transported (126 l diesel ha^{-1} vs. 116 l ha^{-1} by applying mineral fertilizer exclusively).

As there exists no official agreement about calculating CO_2eq emissions in crop production yet, the authors conclude that there is still need for further research and development with the aim to improve crop cultivation and crop rotations concerning GHG emissions and the therewith related intensity.

Keywords: direct and indirect N_2O emissions, organic fertilizers, diesel consumption, practice data, agricultural management

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

1. Introduction

In the course of the international negotiations on the second commitment period of the Kyoto Protocol, the currently 27 European member states agree to reduce their greenhouse gases (GHG) by 20 percent by 2020 (*Umweltbundesamt, 2014)*. The annual GHG emissions in the European Union (EU) amount to 3600 Mt of equivalents of CO_2 (CO_2eq) for the year 2012, whereby the agricultural sector is the second largest contributor for the Europe wide emissions. It is surpassed by the energy and transport sector. The main sources of GHG emissions from agriculture are methane (CH_4) from livestock farming and, in addition to this, nitrous oxide (N_2O) from crop production as a result of N fertilization (*Trimpler et al., 2013*).

Sugar beet is a crop which is cultivated in most of the member states in all geographical regions of the EU, which is the world´s biggest producer of sugar from sugar beet (*European Commission, 2015*). Its cultivation is concentrated north of the Alps and more than 50% of the EU sugar is produced in France, Germany and Poland, i.e. Central Europe (*Comité Européen des Fabricants de Sucre, 2014*). As Germany is characterized by most of the respective sugar beet growing environments, the following study is based on the example of sugar beet cultivation in Germany. It looks on the variation of agricultural production systems using data from real farms to figure out the main sources of GHG emissions and to identify reduction potentials.

A special feature of N fertilization in sugar beet cultivation are the relatively moderate amounts given compared with other crops like wheat or rapeseed (*Kaiser et al., 1998*), and the large variance of amount and form of N fertilization (*Reineke&Stockfisch, 2008*). Moreover, a large percentage of emissions in sugar beet cultivation originates from crop residues (*Velthof et al., 2002*). All this characteristics made us take a closer look at the relevance of N fertilization.

On the one hand, in crop cultivation there are the inputs like fertilizer which may affect the environment by using up fossil resources (*Reineke et al., 2013*) and producing emissions. On the other hand, the focus has to include the output as well, for crop production the yield. In the sense of a sustainable intensification, the production of more food has to occur in a sustainable way with a minimal use of natural resources (*The Royal Society, 2009*) as well as a more efficient use of the production factors (*Märländer et al., 2003*). As CO_2eq emissions are not locally limited, they have to be analyzed also in relation to the output to illustrate environmental impact of crop production. In sugar beet cultivation the most common output value is the sugar yield. The production factors instead are presented on a field basis.

As so far data from real farms are not available of this kind, the first objective of this work was to calculate CO_2eq emissions for the process of sugar beet cultivation, to identify the main sources and to establish an overview of the variety of fields, years and production factors.

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

Possible potential for reduction of CO_2eq emissions was assumed in the use of organic fertilizer. Former preliminary estimations for sugar beet were done with a reduced data set for the years 2010 and 2011 (*Trimpler et al., 2013*). Since then, the calculation methods have been adopted concerning the CO_2eq emissions resulting from organic fertilizer and from crop residues according to the IPCC method (*IPCC, 2006*). In addition, indirect N_2O emissions were included in the estimations of total CO_2eq emissions for sugar beet cultivation.
The second part of this study focuses on the grower´s management practices and how they may be adopted to probably reduce CO_2eq emissions in sugar beet cultivation.
Finally, the influence of sugar yield on the amount of GHG emissions per ton of sugar was evaluated.

2. Material and methods

2.1 Data base

Data of sugar beet cultivation throughout the regions of Germany including all sugar refineries were collected for 2010–2012 (*Stockfisch et al., 2013*). A number of 1181 farmers (390 in the year 2010, 395 in 2011 and 396 in 2012) was asked via a questionnaire about the crop management on their largest sugar beet field, whereby the interviewees changed annually. The quantity of farms was defined by the regional distribution of the sugar beet growing area. They were randomly picked to represent a range of size of farms and fields, crop rotations and specialties on the farm. Among others, the survey included information about tillage, use of fertilizers and pesticides, catch crops, harvest, yield and the quality of the sugar beet. The quality of data is guaranteed via plausibility checks done by agricultural advisers and scientists of the Institute of Sugar Beet Research, Göttingen.

2.2 System boundaries and assumptions for the calculation of production factors

In our study, sugar beet cultivation regards the process after the harvest of the preceding crop to the storage of the beet in the clamp. Thus, all potential work procedures concerning catch crops were added to the calculation of the cultivation of sugar beet.
Regarding the consumption of diesel, sowing, tillage, application of fertilizer, use of pesticides and harvest were considered and quantified according to the database of the German Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL). Thereby, for the distance between farmyard and field, standard values by KTBL were used according to the field´s size. Soil´s resistance to tillage was calculated via type of soil, the slope was not considered.

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

Concerning N fertilization, mineral and organic fertilizer was accounted for. The N contents of mineral and organic fertilizers were calculated according to the default values of the Chamber of Agriculture Lower Saxony (*Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2007; Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2014*). (Tab. 1).

Tab. 1: Percentage of fields fertilized with the respective N fertilizer type in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010–12, n = 1181, N content according to *Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2007/2014*, note: total of percentages does not result in 100 because of fields fertilized with more than one N fertilizer type

N fertilizer type		percentage of fertilized fields (%)		N content (total nutrient; kg m^{-3} or kg t^{-1})
mineral	Calcium ammonium nitrate	91.4	42.6	270
	Urea ammonium nitrate		20.8	280/300
	Urea		17.5	460
	others		74.9	50 - 500
organic	pig slurry	48.4	13.5	6.0
	dairy slurry		9.2	5.2
	biogas digestate		9.0	5.1
	dairy manure		5.2	6.0
	chicken dry feces		5.0	25.0
	others		15.3	2.9 - 24.0

The amount of P and K was calculated subject to the nutrient uptake by root yield (P: 0.436 kg t FM root yield^{-1}; K: 2.075 kg t FM root yield^{-1} (*Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, 2011*)), as the fertilizer dose for the entire crop rotation is usually given to sugar beet. All fertilization is considered if applied to sugar beet or to the preceding catch crop. There are no calculations for lime (CaO) included, as liming occurs according to soil conditions and not according to crop specific nutrient uptake.

For the assessment of pesticides all active ingredients applied were added and delivered in kg ha^{-1}, additives and seed treatments were not taken into account as they did not differ between fields.

For sugar beet seeds 3 kg per unit (=100 000 seeds) were assumed (*Wegener, 2001*).

The GHG emissions are stated as CO_2eq, whereby the global warming potential (GWP) for a 100-year time horizon of CH_4 accounts for 23 CO_2eq and of N_2O for 296 CO_2eq (*EU, 2009a*).

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

All production factors and emissions are reported per hectare if not noted otherwise.
Sugar yield is expressed in t ha^{-1}. It refers to the sugar content in % of the fresh matter of the optimally topped and clean beets delivered at factory (*Hoffmann, 2006*).

2.3 Tool for calculating emissions

The amount of emissions out of sugar beet cultivation was quantified by default values from the calculation tool Biograce (*2015*). The tool shows transparent calculations of greenhouse gas emissions for the production of biofuels which are based on the Renewable Energy Directive 2009/28/EC (*EU, 2009a*) and on the Fuel Quality Directive 2009/30/EC (*EU, 2009b*). As Biograce allows to examine the production of the biofuel crops separately, the tool is hereafter used for calculations concerning sugar beet cultivation only. Biograce includes emission coefficients for the production and use of N fertilizer, the consumption of diesel, for the application of P- and K-fertilizer, for the use of pesticides and for seeds (Tab. 2).

Tab. 2: GHG emission coefficients for the application rates in sugar beet cultivation (*Biograce, 2015, modified*)

prod. factor	emission coefficient
N fertilizer	5880.6 g CO_2eq kg^{-1}
P fertilizer	441.4 g CO_2eq kg^{-1}
K fertilizer	480.1 g CO_2eq kg^{-1}
pesticides	10971.3 g CO_2eq kg^{-1}
seeds	3540.3 g CO_2eq kg^{-1}
diesel	87.64 g CO_2eq MJ^{-1}

All agricultural inputs are referred as production factors. In addition, according to the IPCC (*2006*), for direct field N_2O emissions 1% of the applied N from mineral and organic fertilizier as well as 1% of the N from crop residues is charged (Eq. 1). The emissions from leaching and volatilization are summed up to indirect field N_2O emissions (Eq. 2, Eq. 3).

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

Direct field N_2O emissions (kg N_2O ha^{-1}):
0.01 * (kg fertilizer-N ha^{-1} + kg crop residues-N ha^{-1}) * 44/28 (Eq. 1)

Indirect field N_2O emissions (kg N_2O ha^{-1}):
leaching: 0.0075 * [0.3 * (fertilizer-N + crop residues-N)] * 44/28 (Eq. 2)
volatilization: 0.01 * (0.1 * mineral fertilizer-N kg ha^{-1} + 0.2 * organic fertilizer-N kg ha^{-1}) * 44/28 (Eq. 3)

Concerning organic fertilizers, there are no emissions charged for their production, but their field N_2O emissions are taken into account. As the beet leaves usually remain in the field, N_2O emissions from crop residues are calculated for all fields, even though there was no fertilizer applied. The amounts of crop residues were estimated from root yield, according to IPCC (*2006*) (Eq. 4).

Above ground residue (dry matter):
slope * crop yield (dry matter) / 1000 + intercept (Eq. 4)
whereby: slope for sugar beet = 0.10, and intercept for sugar beet = 1.06

N_2O emissions from crop residues occur at a time when the subsequent crop is already sown in the field. In order to get a complete picture of the crop, the system boundaries are therefore extended for the calculation of associated emissions.
For the consumption of diesel (in l ha^{-1}) an energy content of 35.87 MJ l^{-1} was determined (*BDB^e, 2014*).
Emissions out of land use change (LUC) are not taken into account as all fields were in use for crop production before January 2008 (*EU, 2009a*).

2.4 Statistical Analysis

Statistical analysis was done by SAS (*SAS, Version 9.3*) and SigmaPlot (*SigmaPlot for Windows, Version 11.0*). Even after transformation, the collected data were not normally distributed. Thus, the non-parametric procedure Proc NPAR1WAY, based on an ANOVA on ranks, was consulted. Significant influences of the year, the production factors and the form of fertilization were tested via Kruskal Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks (*Kruskal&Wallis, 1952)*. An analysis on ranks via Spearman´s rank correlation was used to present the strength and direction of the correlation and the p-values indicating significance between the individual production factors and the CO_2eq emissions (*Bortz et al., 2008*). For

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

the box plots only the 5th and 95th percentiles are plotted as symbols. All average values shown are median values except where otherwise specified.

3. Results

3.1 Range of production intensity in sugar beet cultivation

The survey provided information concerning the production intensity in sugar beet cultivation. Catch crops were cultivated on 43% of the fields. The use of plough decreased from 52% in 2010 to 41% in 2012, while mulch sowing systems became more important from 47% in 2010 to 59% in 2012 (left fields: not specified/other). Across years, there was an average of four treatments of herbicides, and fungicides were applied on 70% of the fields. Six-row sugar beet harvester were used on over 90% of the fields.

There was a slight but not significant increase of the amount of N fertilization across years. The median value of N fertilization among all fields and years increased from 2010 to 2012 by 17.0 kg ha^{-1} up to 155.0 kg N ha^{-1}, comprised roughly to 40% from organic sources. All other production factors for sugar beet cultivation remained constant or increased significantly from 2010 to 2011 (Tab. 3).

Tab. 3: Production factors for the calculation of CO_2eq emissions in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010–12, grouped by year, median values, * = calculated according to plant uptake, letters indicate significant differences between the years, $p \leq 0.1$, Kruskal Wallis Analysis

year	fields n	N (min.+org.) (kg ha^{-1})	P* (kg ha^{-1})	K* (kg ha^{-1})	pesticides (kg ha^{-1})	seeds (kg ha^{-1})	diesel (l ha^{-1})
2010	390	138.0^{a}	31.0^{a}	147.6^{a}	4.6^{a}	3.2^{a}	114.2^{a}
2011	395	137.4^{a}	34.4^{b}	163.5^{b}	4.7^{a}	3.2^{a}	124.3^{b}
2012	396	155.0^{a}	33.0^{c}	157.0^{c}	4.7^{a}	3.2^{a}	124.7^{b}

For P and K fertilizer there was a decrease from 2011 to 2012 by about 4%. For pesticides and seeds, there was nearly no variation between the years and the median values for all years combined were 4.7 kg ha^{-1} and 3.2 kg ha^{-1}, respectively. The consumption of diesel did not change from 2011 to 2012 and the median value for 2010–2012 was at 121.1 l ha^{-1}.

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

3.2 CO_2eq emissions by production factors

The total CO_2eq emissions for sugar beet cultivation in Germany ranged from about 1000 kg ha^{-1} to more than 3500 kg ha^{-1} (Fig. 1). The median values of the CO_2eq emissions increased significantly from 2189 kg ha^{-1} in 2010 and 2257 kg ha^{-1} in 2011 to 2362 kg ha^{-1} in 2012, from which about 2/3 were from N fertilization and field N_2O emissions, while less than 1/3 were caused by diesel and further production factors.

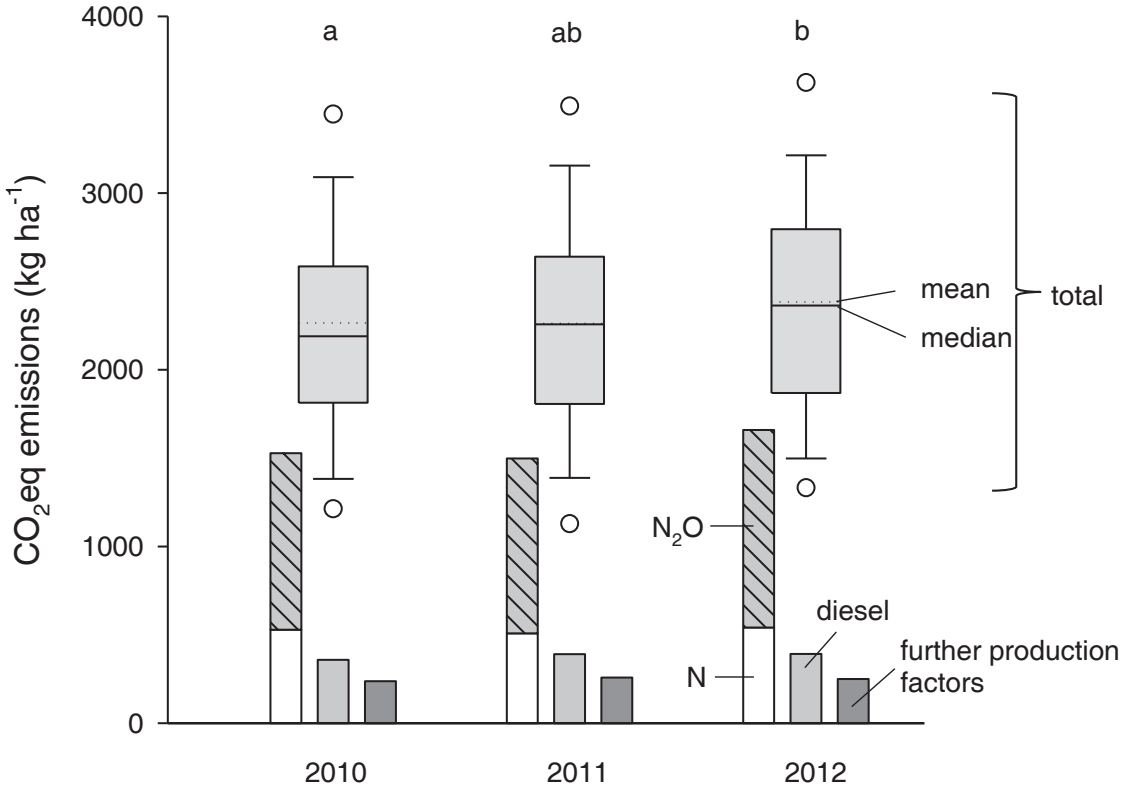

Fig. 1: CO_2eq emissions in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010–12, n = 1181, grouped by production factors and in total (box plots), N = N fertilizer production and use, N_2O = direct and indirect field N_2O emissions, diesel = diesel consumption, further production factors = application of P and K fertilizer, pesticides, seeds, letters indicate significant differences between the median of the years for the total emissions, $p \leq 0.05$, Kruskal Wallis Analysis

The correlation of N fertilization with CO_2eq emissions was at $r^2 = 0.86$ (Fig. 2a), all other production factors had, even if significant, no verifiable correlation with the CO_2eq emissions (Fig. 2b-d).

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

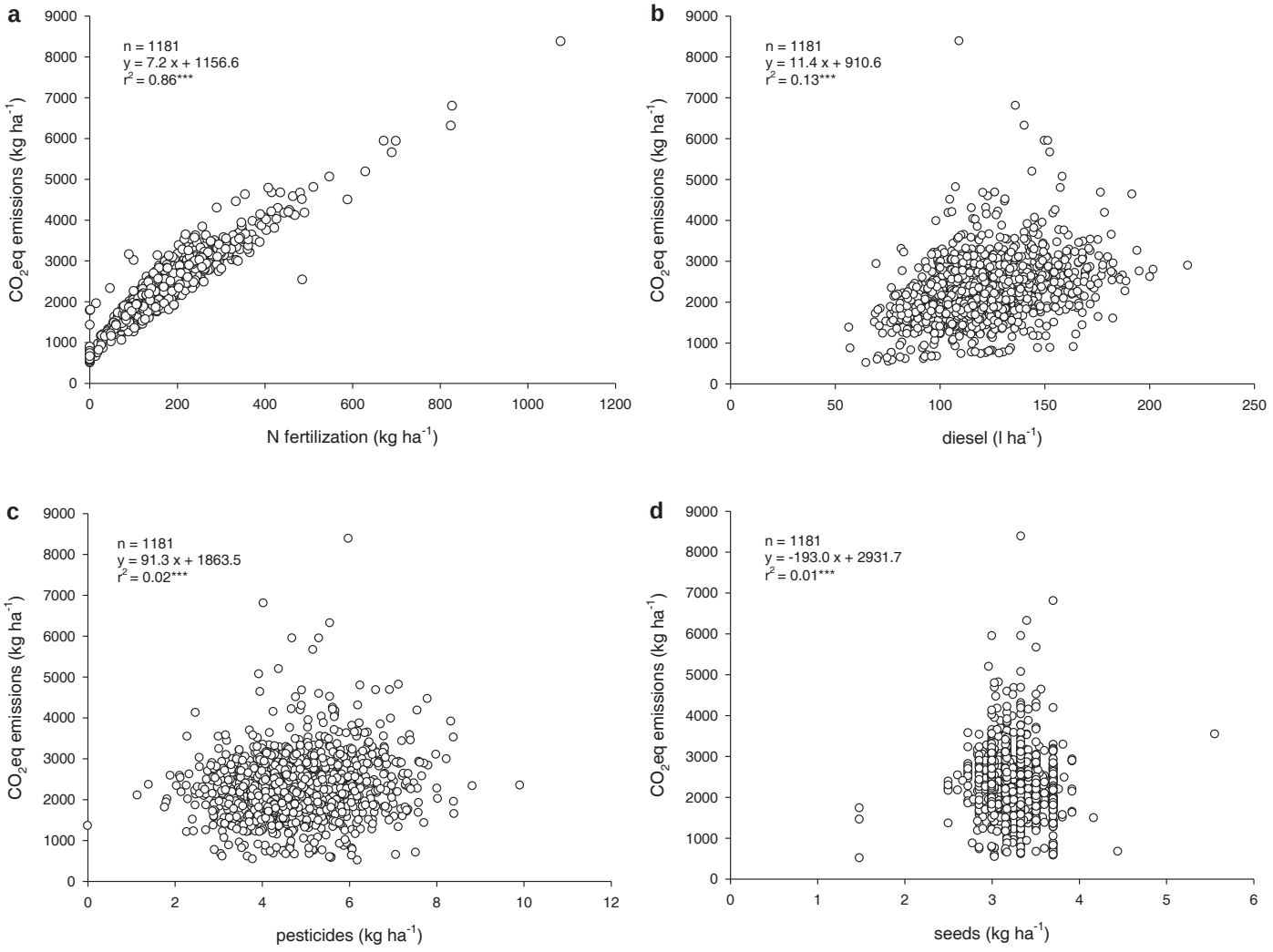

Fig. 2: Correlation between total CO_2eq emissions and the quantity of different production factors a) N fertilization, b) diesel, c) pesticides and d) seeds in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010–12, n = 1181, N fertilization = mineral + organic fertilization, *** = significant at $p \leq 0.001$, Spearman´s rho

3.3 Impacts of the form of N fertilization

Fields treated with a combination of mineral and organic fertilizer received about 200 kg N ha^{-1} (Tab. 4). On about half of the fields only mineral fertilizer was applied in all years with a median value of little more than 100 kg N ha^{-1}. If only organic fertilizer was used, more N was applied and ranged from 132 kg N ha^{-1} in 2012 to 153 kg N ha^{-1} in 2010. There were few fields without any N fertilization. In 2010 and 2011, the amounts of N applied differed significantly between all forms of N fertilization. In 2012, the amount of N on fields treated with either mineral or organic fertilizer was significantly lower than on those treated with both forms.

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

Tab. 4: Forms of N fertilization and percentage of treated fields in sugar beet cultivation farm survey Germany 2010–12, n = 1181, letters indicate significant differences between the groups within the years, $p \leq 0.05$, Kruskal Wallis Analysis

year	fields n		form of N fertilization			
			both mineral+organic	mineral	organic	no fertilization
2010	390	kg N ha^{-1}	206^{a}	108^{b}	153^{c}	
		fields treated (%)	41.1	50.5	6.9	1.5
2011	395	kg N ha-1	201^{a}	104^{b}	150^{c}	
		fields treated (%)	40.3	50.3	5.3	4.1
2012	396	kg N ha-1	218^{a}	108^{b}	132^{b}	
		fields treated (%)	45.2	46.7	6.6	1.5

The form of fertilization seemed to influence the amount of diesel significantly, being lower in fields with no fertilization or mineral fertilizer only (Fig. 3). The median value of diesel consumption was at 129.2 l ha^{-1} for fields treated with both forms of fertilizer, at 115.7 l ha^{-1} for fields treated with mineral fertilizer only, at 126.2 l ha^{-1} for fields receiving organic fertilizer exclusively and at 102.2 l ha^{-1} without fertilization (Fig. 3, above). Regarding the diesel consumption related to N fertilization (Fig. 3, below), the variance was lowest for fields fertilized with mineral N only. Concerning the whole cultivation process, the variance between the different forms of fertilization did not differ.

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

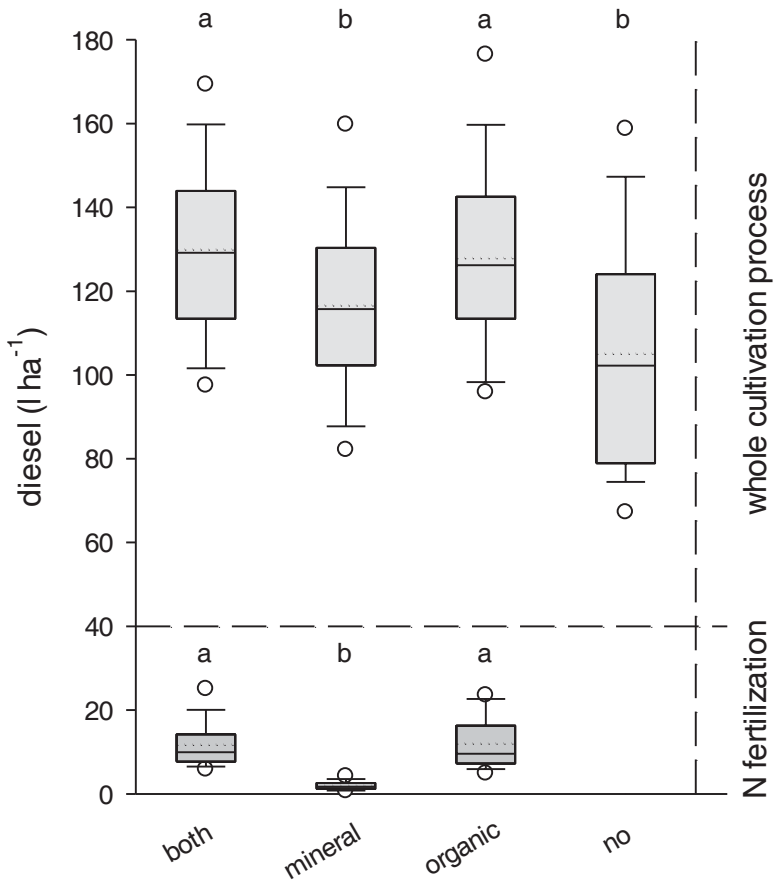

Fig. 3: Consumption of diesel for the whole cultivation process including sowing, pesticides´ and fertilizers´ use, tillage and harvest (above, n = 1181), and for the procedure of N fertilization exclusively (below) in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010–12, both (n = 498) = mineral and organic N fertilization, mineral (n = 581) = only mineral N fertilization, organic (n = 74) = only organic N fertilization, no (n = 28) = no N fertilization, solid line = median, dotted line = mean, letters indicate significant differences between the forms of N fertilization, $p \leq 0.001$, Kruskal Wallis Analysis

3.4 CO_2eq emissions according to source and fertilization form

The total CO_2eq emissions for fields fertilized with both forms of N fertilization were 2626 kg ha^{-1} and significantly higher than the 2034 kg ha^{-1} for those fields treated with mineral fertilizer only and, respectively, the 1782 kg ha^{-1} for fields treated with organic fertilizer only (Tab. 5). Without N fertilization, the emissions were significantly reduced to 731 kg ha^{-1}.

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

Tab. 5: CO_2eq emissions per production factor in sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010–12 (n = 1181), grouped by the form of N fertilization, median values, N = production and use of N fertilizer, N_2O = field emissions, diesel = diesel consumption, further prod. factors = application of K and P fertilizer, pesticides, seeds, letters indicate significant differences between the groups within the production factors, $p \leq 0.05$, Kruskal Wallis Analysis

form of N fertilization	fields n	CO_2eq emissions (kg ha^{-1})						
		total	N	N_2O direct	N_2O indirect	N_2O total	diesel	further production factors
mineral + organic	498	2626^a	476^a	1059^a	391^a	1448^a	406^a	252^a
mineral only	581	2034^b	632^b	608^b	187^b	795^b	363^b	244^a
organic only	74	1782^b	0	796^c	306^c	1100^c	397^a	244^a
no	28	731^c	0	108^d	24^d	132^d	321^b	237^a

There was a significant difference in direct N_2O emissions as well as indirect N_2O emissions between all forms of fertilization. The direct and indirect N_2O emissions ranged from 132 kg CO_2eq ha^{-1} (no fertilization) to 1448 kg CO_2eq ha^{-1} (mineral plus organic fertilizer), whereby the direct N_2O emissions were roughly 3 times higher than the indirect ones. The CO_2eq emissions caused by the consumption of diesel differed significantly between fields treated with both forms of fertilization or with organic fertilizer only and those fields treated with mineral or no fertilizer. If no N fertilizer was applied, the biggest part of the CO_2eq emissions resulted from diesel consumption. Concerning further production factors, there were no significant differences between the different forms of fertilization.

The sugar yield differed significantly from year to year and was highest in 2011 (Fig. 4a) with a median value of 14.4 t sugar ha^{-1}. As a consequence, the resulting CO_2eq emissions per t of sugar yield were lowest in 2011 (Fig. 4b). The variances between the fields was similar in all three years.

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

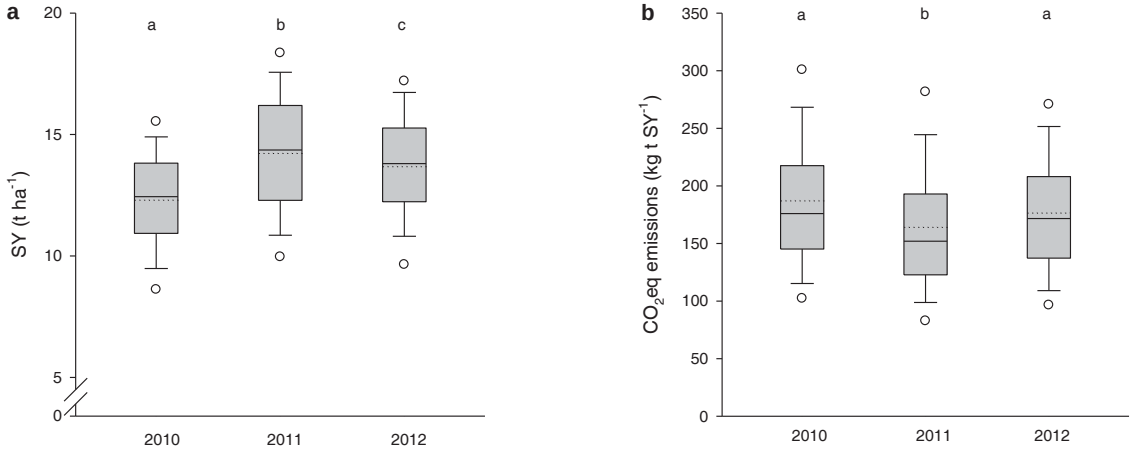

Fig. 4: a) Sugar yield (SY) per ha and b) kg CO_2eq emissions per t sugar for sugar beet cultivation, farm survey Germany 2010–12 (n = 1181), solid line = median, dotted line = mean, $p \leq 0.05$, Kruskal Wallis Analysis

4. Discussion

Calculations of CO_2eq emissions for sugar beet cultivation in Europe from practical farm data are missing completely so far. Furthermore, reliable, robust and representative data for other crops for a large area such as Germany, are very scarce. Regarding management practices, there are no conclusions available neither for the policy and society nor for sugar beet growers about the priority areas for reducing emissions. Although the savings of greenhouse gas emissions from the production and use of biofuels is prescribed by European law (*EU, 2009a*) there exist no reliable default values for the amount of CO_2eq emissions from sugar beet cultivation. Results from 1181 farms surveyed in the years 2010–2012 in Germany clearly showed that N fertilization and especially the N_2O field emissions related to it were the main sources of CO_2eq emissions in sugar beet cultivation. Diesel was responsible for 17% of the CO_2eq emissions. Further production factors can almost be ignored concerning the emissions, as the variation over the years was rather low. Their contribution to the total emissions was lower than 11% on average and their correlation with CO_2eq emissions was weak.

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

4.1 Management practices

The aim in crop cultivation cannot be to avoid emissions in total (*Felten et al., 2013*), but to limit them -without impairing loss of yield- to the necessary amount. This concerns mainly the farmers` handling of N fertilization.

Fertilization has to occur according to crop demand, e.g. by soil analysis (*Brentrup&Pallière, 2008*). Available N in the soil and the N available in organic fertilizers have to be taken into account. Firstly, the use of organic fertilizer only offers the most obvious way to reduce emissions in connection with N fertilization (cf. Tab.5).

The consumption of diesel for N application accounts for a relative low percentage compared to ploughing and harvest (*Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 2016*). One result of the present study was the higher consumption of diesel when applying organic fertilizer (cf. Fig.3). This is due to the higher total volume of organic fertilizers compared to mineral ones and the differences in application techniques (*Döhler, 2008*). The exceeding differences in diesel consumption for all management activities between no fertilization and the fertilization treatments might be due to a higher percentage of catch crops or additional tillage operations to incorporate organic fertilizers. Still, the mean emissions from diesel and N_2O for fields fertilized with organic fertilizer exclusively did not exceed the mean emissions out of the production of mineral fertilizers. As could be further shown, harvest offers nearly no opportunities for a reduction of diesel use, as all variances in diesel use are due to the form of fertilization (cf. Fig.3). However, emissions from the high use of diesel for ploughing can relatively easy be eliminated by reduced tillage (*Paustian et al., 2000, Küstermann et al., 2013*).

The specific proposals considered in literature may possibly not have any effect on the calculated results as the following example regarding the application technique shows. The technique of organic N application is supposed to be a further method for reducing GHG emissions in sugar beet cultivation. E.g. incorporating the fertilizer instantly into the soil reduces NH_3 emissions to the atmosphere (*Mosier et al., 1998, Sommer et al., 2004, Smith et al., 2008*). The higher the N fertilizer´s content of quickly available N, the more important is its low-loss application (*Lesschen et al., 2011*). Wet conditions (*Venterea et al., 2012*), high temperatures (*Mikkelsen, 2009*) and wind while applying N fertilizer may also lead to higher NH_3 losses (*Sommer et al., 2004*) and may thereby cause enormous differences between production sites across Europe. *Rees et al.* (*2013*) could establish that the choice of management practice has an equal or greater influence than the year or site-specific conditions on N_2O emissions in agricultural cultivation. *Mosier et al.* (*1998*) reported a reduction potential of about 20% of N_2O emissions from cropland soils by adopting methods which improve the N-use efficiency.

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

To sum up, there is a gap between theory and practice. In case a farmer invests extra effort e.g. by using low-loss fertilizer application techniques, this could reduce N_2O emissions in the field. But at the same time, the calculated N_2O emissions according to IPCC would not be influenced. Biograce does not provide any input options for specific techniques until now, and thus it may not be the right tool to identify any approaches for optimizing management practices and to give any recommendations to the farmers concerning the form of N fertilization and how to reduce CO_2eq and N_2O emissions. Hence our intension was not to estimate the true amount of CO_2eq emissions for each of the surveyed fields. Instead the focus was on fundamental relationships influencing a Sustainable Intensification in sugar beet cultivation in Germany. This objective relies on an Europe-wide certified method like Biograce.

Another explanation for high N_2O emissions in sugar beet cultivation, which may not be influenced by the farmer, are emissions out of crop residues (*Velthof et al., 2002, Baggs et al., 2003, Novoa&Tejeda, 2006*). Thus, they lead to emissions even for fields without fertilization as reflected in the results of the present study. They account for a major part of the direct emissions (according to the calculations of Biograce, we found about 23.2 kg N ha^{-1} in crop residues). Moreover, they are involved in the indirect N_2O emissions via leaching. Regarding all N_2O emissions plus the emissions out of N fertilizer production and use, they accounted for 69% of the total CO_2eq emissions in sugar beet cultivation (cf. Fig. 1). This, however, is relatively low, compared to rapeseed, where over 80% were calculated (*Pahlmann et al., 2011*). In winter wheat cultivation *Küsters & Brentrup* (*2009*) showed a percentage of about 90% for emissions in conjunction with N fertilization.

The present study has confirmed that differences in the average CO_2eq emissions per t sugar yield (sugar mass per ha in the field) between the years were mainly based on differences in yield and not based on differences in management practices. This is particularly due to the fact that the yield in sugar beet cultivation shows no correlation to production intensity, e.g. N fertilizer use (*Trimpler et al., 2013*). The Recovered Sugar Yield (RSY), which means the sugar mass per ha recovered by factory, was at 11.6 t ha^{-1} in 2012/2013 (9.9 t ha^{-1} in 2010/2011 and 11.9 t ha^{-1} in 2011/2012, respectively) as an average across all farms in Germany according the *Wirtschaftliche Vereinigung Zucker* (*2013*). *Reineke* (*2014*) predicted a RSY of 14.3 t ha^{-1} balanced and averaged across 5 years nationwide for the year 2020 if the current increase of 0.25 t ha^{-1} a^{-1} during the last 10 years would continue. As a consequence of this development, the emissions per t sugar yield will certainly and substantially decrease in future.

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

4.2 Calculations of emissions from N fertilization

As mentioned above, some points have to be looked at critically by using the Biograce tool. Firstly, there are inconsistencies about the origin of emissions. Emissions from N are split in either mineral or organic sources (*Brentrup&Pallière, 2008*). Organic fertilizer accounts for less greenhouse gas emissions than mineral, because there are no emissions charged for their production (*IPCC, 2006*). This estimation of emissions in relation with the excrements of livestock is discussed controversially (*van Grinsven et al., 2012*). If the production of organic fertilizers is not taken into account for CO_2eq emissions in crop production (the way it is implemented in the Biograce tool), it should be charged when calculating CO_2eq emissions out of livestock farming. Additionally, no emissions should be charged for their application and the N_2O field emissions in crop production afterwards (*IPCC, 2006*).

Secondly, the used emission factor has to be looked at closely. In connection with N fertilization the main origin of GHG emissions in crop cultivation are N_2O emissions (*Smith et al., 2007, Rees et al., 2013*). By using the emission factor according to Biograce we came to the same conclusion for sugar beet cultivation in Germany. Bearing in mind, that emission factors are usually expressed as an average of all available emissions data. This leads to a lack of knowledge regarding the true value (*Research Triangle Institute International, 2007*). A so called uncertainty ratio may be calculated for every emission factor according to specific statistical procedures. Also in the case of direct field N_2O emissions, which are produced by nitrification and denitrification (*Burger&Venterea, 2011*), the emission factor of 1% (*IPCC, 2006*) is discussed frequently (*Kaiser et al., 1998, Wood&Cowie, 2004, Smeets et al., 2009*). There are field experiments demonstrating significantly higher N_2O emissions than 1% of the applied N (*Rees et al., 2013*). Among crops, significant differences in N_2O emissions were measured from 0.7% to 4.1% (*Kaiser et al., 1998*). The large variation was related to soil and climate conditions, to land use, and crop management practices and the crop specific amount and quality of crop residues. Moreover, *Kaiser & Ruser* (*2000*) showed that soils treated with organic fertilizer tend to emit more N_2O than soils treated with mineral fertilizer only. The IPCC report 2006 however does not differentiate between mineral and organic fertilizer for direct N_2O emissions, and even crop residues are valued with the same factor of 1%. In contrast, for volatilization, which is part of the indirect emissions, emissions out of organic fertilizers are valued twice the emissions out of mineral fertilizers. The different approaches may be due to the fact that the European Commission has not yet agreed on methods for calculating direct and indirect field N_2O emissions (*Köppen et al., 2014*).

A further criticism is the limited set of different mineral sources provided by Biograce (*2015*). There are diverse studies showing differences regarding the emissions between types of mineral fertilizer (*Brentrup et al., 2001, Pathak&Nedwell, 2001, Brentrup&Pallière, 2008,*

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

Burger&Venterea, 2011). The use of different emission factors is therefore often recommended (*Lesschen et al., 2011*) and causes an ongoing discussion (*Wood&Cowie, 2004, Brentrup&Pallière, 2008, Signor et al., 2013, Hasler et al., 2015*). The diversity of applied mineral fertilizers in crop cultivation is quite broad and far from being covered by Biograce. But as there are no certified methods with more detailed and complete information on different fertilizers available so far, calculations can only be based on this simplified scheme.

A fourth point concerns the crop-based calculations of emissions. Due to the used calculation methods in our work, the conspicuously high amounts of N fertilized and the resulting high CO_2eq emissions for some fields up to over 5 t ha^{-1} (cf. Fig. 2a) are a result of the application of organic fertilizer. In most cases it is due to the use of compost. This was the occasion to look more closely at the assumptions of the calculation methods. From a crop production point of view, organic fertilizers are applied according to their nutrient content and the availability of nutrients for sugar beet. For example, only 10% of the N in compost becomes available during the first year after application (*Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2013*). The long-term fertilization effect of organic fertilizers depends on their mineralization which is related to the site. The use of compost over a longer period could lead to a higher content of humus and a higher stock of organic N in the soil (*Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2010*). The little by little N availability from the compost could be used by following crops but, according to Biograce, all of its emissions are charged to the crop to which it was applied. The amount of leached N depends on the left N by the preceding crop as well as the N uptake by the subsequent crop. Thus, it is not possible to allocate the emissions to a single crop in the rotation (*Sieling et al., 1997*). As a fertilization strategy is normally related to the effect on the whole crop rotation, any crop-based calculations for CO_2eq must lead to distorted results for a particular crop. Concerning sugar beet, it is common knowledge that its leaves remaining in the field reduce the requirement for N fertilizer in the following crop (*Koga et al., 2004*). In this regard, especially the evaluation of organic fertilizer has to be rethought.

To give a last example: it seems necessary to improve and complete the calculation of N_2O emissions from crop residues. Biograce uses default factors according to *IPCC* (*2006*) for the estimation of N added to the soil via crop residues of tubers modelled on the basis of potatoes. There are no information yet about how values for sugar beet would differ from the used ones for potatoes.

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

5. Conclusions

The present study calculated CO_2eq emissions from real farm data of sugar beet cultivation in Germany as a typical example for Sustainable Intensification in an European crop cultivation system.

We could clearly show that the sugar yield in sugar beet cultivation has no relation to production intensity and allows no conclusions on the amount of CO_2eq emissions. The emissions of N fertilization including N_2O field emissions were the predominant part of CO_2eq emissions, and the origin of N fertilization (either mineral or organic) has a high influence on the GHG emissions in total. Especially in regions with livestock husbandry, the use of organic fertilizer is an interesting possibility to avoid emissions from fertilizer production. As the interactions between production factors can be rather diverse and are probably different for the different fields, further analyses are required. Additional studies could concern e.g. interactions between N fertilizer form, soil tillage and diesel consumption.

These calculations are rough estimations of the real emissions taking part in the field. To guarantee a more detailed description of field-specific emissions, there is still need for field research on differentiated emission factors, particularly towards N_2O emissions of crop residues.

Acknowledgements

Thanks are given to all persons involved in the processing of the survey. The authors wish to acknowledge funding from the companies BASF SE, Bayer CropScience Deutschland GmbH, Feinchemie Schwebda GmbH, KWS Saat AG, Strube GmbH & Co.KG, and Syngenta Seeds GmbH. For collaboration by calculating the consumption of diesel, the authors would like to thank the KTBL, Darmstadt. Finally, sincere thanks are given to Dr. Cord Buhre, Dr. Anna Jacobs and Katharina Schnepel for valuable comments.

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

References

Baggs, E. M., M.Stevenson, M. Pihlatie, A. Regar, H. Cook, G. Cadisch, 2003: Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. Plant Soil 254, 361-370.

BDBe, 2014: Formeln/Umrechnungen. https://www.bdbe.de/daten/Umrechnung_und_Formeln (accessed on july 29th 2014)

Biograce, 2015: Harmonised calculations of Bioenergy Greenhouse Gas Emissions in Europe, Version 4d. http://www.biograce.net/ (accessed on april 29th 2015)

Bortz, J., G. A. Lienert, K. Boehnke, 2008: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, Springer: Berlin, Germany.

Brentrup, F., J. Küsters, H. Kuhlmann, J. Lammel, 2001: Application of the 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.

Brentrup, F., C. Pallière, 2008: GHG emissions and energy efficiency in european nitrogen fertiliser production and use. In The International Fertiliser Society, Conference in Cambridge, UK, 11th December, 639, 1-26.

Burger, M., R. T. Venterea, 2011: Effects of nitrogen fertilizer types on nitrous oxide emissions. In ACS Symposium Series, Understanding Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Management, 179-202.

Comité Européen des Fabricants de Sucre (CEFS), 2014: CEFS sugar statistics 2014. http://www.comitesucre.org/site/wp-content/uploads/2015/03/CEFS-SUGAR-STATISTICS-2014.pdf (accessed on december 11th 2014)

Döhler, H., 2008: Energiebilanzen und Energieeffizienz von organischer und mineralischer Düngung im Ackerbau. In KTBL-Schrift 463, 72-86.

EU, 2009a: Directive 2009/28/EC of the European Parliament and the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

EU, 2009b: Directive 2009/30/EC of the European Parliament and the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC.

European Commission, 2015: Agriculture and Rural Development. http://ec.europa.eu/agriculture/sugar/index_en.htm (accessed on august 23rd 2015)

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

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 2010: Richtlinie für die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft, Wien, Austria.

Felten, D., N. Fröba, J. Fries, C. Emmerling, 2013: Energy balances and greenhouse gas-mitigation potentials of bioenergyy cropping systems (Miscanthus, rapeseed, and maize) based on farming conditions in Germany. Renew Energ 55, 160-174.

Hasler, K., S. Bröring, S. W. F. Omta, H.-W. Olfs, 2015: Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. Eur J Agron. 69, 41-51.

Hoffmann, C., 2006: Zuckerrüben als Rohstoff - Die technische Qualität als Voraussetzung für eine effiziente Verarbeitung, Weender Druckerei, Göttingen, Germany.

IPCC, 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html (accessed on august 5th 2014)

Kaiser, E.-A., K. Kohrs, M. Kücke, E. Schnug, O. Heinemeyer, J. C. Munch, 1998: Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilisation, crops and temporal variation. Soil Biol Biochem. 30, 1553-1563.

Kaiser, E.-A., R. Ruser, 2000: Nitrous oxide emissions from arable soils in Germany - An evaluation of six long-term field experiments. J Plant Nutr Soil Sc. 163, 249-260.

Koga, N., H. Tsuruta, T. Sawamoto, S. Nishimura, K. Yagi, 2004: N2O emission and CH4 uptake in arable fields managed under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. Global Biogeochem Cy. 18, GB4025.

Köppen, S., A. Hennecke, H. Fehrenbach, 2014: ENZO2 - Greenhouse gas calculator for biofuels and bioliquids - Manual, ifeu, Heidelberg, Germany.

Kruskal, W. H., W. A. Wallis, 1952: Use of ranks in one-criterion variance analysis. J Am Stat Assoc 47, 583-621.

Küstermann, B., J. C. Munch, K.-J. Hülsbergen, 2013: Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. Eur J Agron. 49, 61-73.

Küsters, J., F. Brentrup, 2009: Energie-und CO2-Bilanzen von verschiedenen Bioenergiepflanzen und Bioenergieformen. Presented at 31. Kartoffel-Tagung, Detmold, Germany.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, 2011: Grunddüngung im Ackerbau. Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr.4.

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2007: Nährstoffgehalte in mineralischen Düngern. http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/340/article/8505.html (accessed on april 25th 2014)

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

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2013: Wirkung des Stickstoffs in organischen Nährstoffträgern (% von Gesamt-N) unter optimalen Bedingungen. https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/341/article/15868.html (accessed on september 10th 2014)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2014: Hinweise zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern, organischen und organisch-mineralischen Düngern. https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/wirtschaftsduenger-pdf.pdf (accessed on june 2nd 2014)

Lesschen, J. P., G. L. Velthof, W. de Vries, J. Kros, 2011: Differentation of nitrous oxide emission factors for agricultual soils. Environ Pollut. 159, 3215-3222.

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.

Mikkelsen, R., 2009: Ammonia Emissions from agricultural operations: fertilizer. Better Crops 93, 9-11.

Mosier, A. R., J. M. Duxbury, J. R. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami, 1998: Assessing and mitigating N2O emissions from agricultural soils. Climatic Change 40, 7-38.

Novoa, R. S. A., H. R. Tejeda, 2006: Evaluation of the N2O emissions from N in plant residues as affected by environmental and management factors. Nutr.Cycl.Agroecosys. 75, 29-46.

Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 2016: Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft. http://oekl.at/wp-content/uploads/2010/11/RW-2016-Treibstoff.pdf (accessed on may 4th 2016)

Pahlmann, I., U. Böttcher, H. Kage, 2011: Teilflächenspezifische N-Düngung im Winterraps. In Schriftenreihe des Inst. für Pflanzenbau und -züchtung der CAU Kiel 71, 39-46.

Pathak, H., D. B. Nedwell, 2001: Nitrous oxide emissions from soil with different fertilizers, water levels and nitrification inhibitors. Water Air Soil Poll. 129, 217-228.

Paustian, K., J. Six, E. T. Elliott, H. W. Hunt, 2000: Management options for reducing CO2 emissions from agricultural soils. Biogeochemistry 48, 147-163.

Rees, R. M., J. Augustin, G. Alberti, B. C. Ball, P. Boeckx, A. Cantarel, S. Castaldi, N. Chirinda, B. Chojnicki, M. Giebels, H. Gordon, B. Grosz, L. Horvath, R. Juszczak, A. Kasimir Klemedtsson, L. Klemedtsson, .S. Medinets, A. Machon, F. Mapanda, J. Nyamangara, J. E. Olesen, D. S. Reay, L. Sanchez, A. Sanz Cobena, K. A. Smith, A. Sowerby, M. Sommer, J. F. Soussana, M. Stenberg, C. F. E. Topp, O. van Cleemput, A. Vallejo, C. A. Watson, M. Wuta, 2013: Nitrous oxide emissions from European agriculture - an analysis of variability and drivers of emissions from field experiments. Biogeosciences 10, 2671-2682.

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

Reineke, H., N. Stockfisch, 2008: Ausgewählte Umweltindikatoren für Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau. Sugar Industry 133, 774-783.

Reineke, H., N. Stockfisch, B. Märländer, 2013: Analysing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany. Eur J Agron. 45, 27-38.

Reineke, H., 2014: Umweltwirkungen des Zuckerrübenanbaus - Analyse und Bewertung mit Umweltindikatoren, Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany.

Research Triangle Institute International (RTI), 2007: Emissions Factor Uncertainty Assessment, Research Triangle Park, NC., USA.

Sieling, K., O. Günther-Borstel, H. Hanus, 1997: Effect of slurry application and mineral nitrogen fertilization on N leaching in different crop combinations. J. Agri. Sci. 128, 79-86.

Signor, D., C. E. P. Cerri, R. Conant, 2013: N2O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. Environ. Res. Lett. 8, 015013.

Smeets, E. M. W., L. Bouwman, E. Stehfest, D. P. Van Vuuren, A. Posthuma, 2009: Contribution of N2O to the greenhouse gas balance of first-generation biofuels. Glob Change Biol. 15, 1-23.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O`MAra, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, 2007: Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. Agr Ecosyst Environ. 118, 6-28.

Smith, P., D. Martino, D., Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O`Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach, J. Smith, 2008: Greenhouse gas mitigation in agriculture. Phil Trans R Soc B. 363, 789-813.

Sommer, S. G., J. K. Schjoerring, O. T. Denmead, 2004: Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. Adv Agron. 82, 557-622.

Stockfisch, N., M. Gallasch, H. Reineke, K. Trimpler, C. Mielke, M. Reiners, P. Risser, K. Schmitz, B. Märländer, 2013: Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau: Datenbasis und Basisdaten. Sugar Industry 138, 656-663.

The Royal Society, 2009: Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture, London, UK.

Trimpler, K., N. Stockfisch, B. Märländer, 2013: Stickstoff-Düngung und Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland. Sugar Industry 138, 727-736.

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

Umweltbundesamt, 2014: Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union. http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union (accessed on august 16th 2015)

van Grinsven, H. J. M., H. F. M. ten Berge, T. Dalgaard, B. Fraters, P. Durand, A. Hart, G. Hofman, B. H. Jacobsen, S. T. J. Lalor, J. P. Lesschen, B. Osterburg, K. G. Richards, A.-K. Techen, F. Vertès, J. Webb, W. J. Willems, 2012: Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive; a benchmark study. Biogeosciences 9, 5143-5160.

Velthof, G. L., P. J. Kuikman, O. Oenema, 2002: Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues. Nutr Cycl Agroecosys. 62, 249-261.

Venterea, R. T., A. D. Halvorson, N. Kitchen, M. A. Liebig, M. A. Cavigelli, S. J. Del Grosso, P. P. Motavalli, K. A. Nelson, K. A. Spokas, B. Pal Singh, C. E. Stewart, A. Ranaivoson, J. Strock, H. Collins, 2012: Challenges and opportunities for mitigating nitrous oxide emissions from fertilized cropping systems. Front Ecol Environ. 10, 562-570.

Wegener, U., 2001: Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen - Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich, Cuvillier, Göttingen, Germany.

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker, Verein der Zuckerindustrie, 2013: Jahresbericht 2012/2013, Unions-Betriebs-GmbH, Rheinbach, Germany.

Wood, S., A. Cowie, 2004: A review of greenhouse gas emission factors for fertiliser production. In IEA Bioenergy task 38, 1-20.

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

Manuskript III

Efficiency in sugar beet cultivation related to field history

Kerrin Trimpler, Nicol Stockfisch, Bernward Märländer

The concept of sustainable intensification in crop production has become more and more important over the last years. Calls for an efficient production demand an increase in yield without extending the agricultural area or increasing the amount of agricultural inputs. Thus, our study aimed to identify which variables influence the efficiency in crop cultivation in Central Europe and how we can explain the variances between fields. The data base for the present study was a survey among sugar beet farmers in all parts of Germany in the years 2010 – 2014. In order to structure the fields, variables representing environment, management and farm characteristics were extracted. The performed analysis according to components (principal component analysis) did not result in a nationwide structure of the data. Thus, fields were grouped according to similar preconditions such as regions and crop rotations. Sugar yield ranged from 12.5 t ha^{-1} in 2010 to 15.4 t ha^{-1} in 2014 on nationwide average. The median value for N fertilization over all fields and years was 137.4 kg ha^{-1}, the median treatment index (TI) reached 3.7, the median field evaluation index (Ackerzahl) was 70 and the median field size 8 ha. We found that over 50% of the variance among the data was explained by environment, management and farm characteristics. The comparison of fields on a regional basis was more sensible than on a nationwide basis as the variance of farms and fields was too broad for a useful clustering. It was concluded that the adaption of the farmer´s management to regional specific conditions is an opportunity to reduce yield gaps and to increase efficiency in terms of a sustainable intensification in sugar beet production.

Keywords: crop rotations, practice data, agricultural management, farm characteristics, principal component analysis

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

1. Introduction

As the demand for food will rise over the coming decades, there are calls for an environmentally sustainable increase of agricultural productivity (*Evans, 2009*). The approach to increase the yield of an arable crop while reducing environmental harm is widely known as sustainable intensification (*Godfray and Garnett, 2014*). The origin of gaps between potential and average yield is discussed frequently (*van Wart et al., 2013*) as well as the question of differences between top and averagely managed farms (*Hanse et al., 2011a, b*).

In crop production in Europe, the last decades were characterized by the use of larger and heavier vehicles, the development of more effective pesticides and the introduction of high-yielding varieties (*Foley et al., 2005, Matson et al., 1997*). But still, *Wießner et al.* (*2010*) showed on the example of sugar beet that the output in crop cultivation can even improve without using more input. In other words, efficiency can increase. They determined efficiency by means of different production factors such as N fertilizer rate and pesticide use from survey data. This lead to the question if the situation in sugar beet cultivation concerning efficiency changed nowadays and if an adjustment of the production factors would be useful and possible. Data based on facts from practice are necessary to be prepared for the current discussion about sustainable intensification. Germany with its location in Central Europe, its heterogeneous landscapes with diverse soil and climatic conditions and its specific history concerning the former state division of Germany offers a very broad scale concerning the economical and structural preconditions in agriculture. It is therefore very well-suited for analysis.

Additional to the study based on praxis data by *Wießner et al.* (*2010*), there are diverse studies based on field trials dealing with agricultural inputs in sugar beet cultivation like the form of N fertilizer and its effects on CO_2eq emissions (*Brentrup et al., 2004*) or the effects of pesticides on sugar yield (*Bezhin et al., 2015*). These approaches represent the current situation considering not more than one agricultural input under standardized trial conditions. But the results are difficult to transfer to the heterogeneous conditions of commercial farms. It is therefore not easy to identify separate influences on commercial yield and to classify them according to their importance. Moreover, results from field trials do not offer the possibility to assign the outcome to such an interaction of contexts known from actual practice.

We developed a survey among sugar beet farmers and collected management data of 1785 fields from different farms in all regions of Germany during 2010 – 2014. The survey offers a wide range of issues concerning all parts of sugar beet cultivation. Data were collected on crop rotations, catch crops, sowing, tillage, use of pesticides and fertilizers, yield, machinery and the technological quality of the sugar beet (*Stockfisch et al., 2013*). Based on this unique

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

database, it was demonstrated that real farm data could match results from field trials (*Trimpler et al., 2016*).

The variance of sugar beet cultivation based on survey data in Germany was analyzed by *Reineke et al.* (*2013*) before. Their study focused on energy balance parameters by means of a cluster analysis and was confined to one year. Aim of our study was to find fundamental principles that correlate with the large differences in efficiency between different sugar beet fields. The specific objectives were to determine how components representing basic environmental conditions, management and farm preconditions influence the performance of sugar beet crop. There was no priority to measure and calculate the efficiency per se in sugar beet cultivation in Central Europe. As the field-related histories and the factors influencing sugar beet cultivation are rather diverse, we structured the data based on environment (region and year) and crop rotations for the objective to bundle fields with homogeneous preconditions. The main effects in crop rotations are associated with the previous crop (*Götze et al., 2016*), which are not really diverse as cereals are grown before sugar beet on nearly 80% of the fields (*Stockfisch et al., 2013*). We considered the whole crop rotation based on the assumption that, on the one hand, the farmer´s knowledge varies according to experiences with specific crop rotations. A specific attitude out of habit concerning the management may be transferred to the sugar beet. Moreover, the equipment, e.g. the machinery, in the farm may be diverse depending on the crop rotation. On the other hand certain crops grown in rotation with sugar beets might cause a higher risk for pests and diseases and, therefore, might result in a higher intensity in plant protection.

Consequently, the objectives of the present study are (1) to examine if the field history plays a major role regarding the efficiency, (2) to proof which variables, in addition, have an important influence on the efficiency in sugar beet cultivation and (3) to figure out whether the variance regarding efficiency between sugar beet fields can be anticipated.

2. Material and Methods

2.1 Survey

The survey included 1785 sugar beet fields in Germany and was carried out in 5 seasons, from 2010 to 2014. The farmers were asked about their biggest sugar beet field independent of size of farm and acreage of sugar beet on the farm, in order to exclude the possibility of choosing the most profitable field (*Stockfisch et al., 2013*).

The data were collected through a questionnaire sent to +/- 360 sugar beet farmers per year. The farms were distributed over all regions of Germany according to the area under sugar

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

beet. To focus on the cultivation process, all steps from the harvest of the preceding crop until the storage in field clamps were included in our study.
The questionnaire covered information on the farm in general (e.g. field size, arable acreage, soil type), management practices (e.g. crop rotations, catch crops, sowing, tillage, pesticide use, amount of mineral and organic fertilization, harvest) as well as yield and quality of the sugar beets (e.g. root yield, sugar content).

2.2 Variables of sugar beet cultivation

Sugar yield refers to the root yield multiplied with the sugar content (%) of the fresh matter of the beets delivered to the sugar factory and is expressed in t ha^{-1} (*Hoffmann, 2006*).
The total N input consists of the total N amount applied with organic and mineral fertilizer. N application to catch crops was included. For organic fertilizer, the N content was calculated according to default values (*Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2016*). Pesticide use was expressed by the treatment index (TI) (*Sattler et al., 2007*). It is defined as the number of pesticides and their application rate per ha in relation to the maximum application rate determined by registration.

$$\text{Treatment index} = \sum \left[\left(\frac{actual\ application\ rate}{maximum\ application\ rate}\right) * \left(\frac{treated\ acreage}{total\ acreage\ of\ field}\right)\right]$$

Soil quality is measured according to diverse national inventories (*Warkentin, 1995, Carter et al., 1997*). The German “Ackerzahl” considers the soil´s quality and the natural conditions of the site, ranking from 1 (very poor quality, theoretical value for cropland) or about 20 (low quality) to 120 (highest quality). It is used here and termed field evaluation index below. The soil types considered were sand, slightly loamy sand, loamy sand, heavy loamy sand, sandy-loamy soil, loam, heavy loam and clay (classification according to soil appraisal). The variable livestock farming indicates whether animals were kept on the farm.

2.3 Regions and crop rotations

For further analysis of fields under similar preconditions, farms were regionalized according to the postal code of the farm´s address: region North comprises the federal states Schleswig-Holstein and Lower Saxony, region East includes Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Thuringia, Saxony-Anhalt und Saxony, North Rhine-Westphalia forms the region West, and region South consists of Hesse, Rhineland-Palatinate, Baden-Wuerttemberg und Bavaria (Fig. 1). As crop rotations with sugar beet varied across regions, we compared rotations with cereals, rapeseed, maize and potato within the regions.

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

Fig. 1: Geographical allocation of 1785 sugar beet fields, farm survey sugar beet cultivation in Germany 2010–2014, into four regions according to postal code, no farmers asked in Bremen, Hamburg, Berlin and Saarland.

2.4 Statistics

As the data for this study were mostly asymmetrically distributed, all average values shown are median values and the distribution of sugar yield for the different years is shown as boxplots.

The statistical analysis was done with SAS (*SAS Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA*) and SigmaPlot (*SigmaPlot for Windows, Version 13.0, Systat Inc., Erkrath, Germany*). A regression analysis was used to describe the strength and the direction of the correlation between the variables N fertilization, treatment index, field evaluation index, field size and the sugar yield. A Principal Component Analysis (PCA) was performed with SAS PROC PRINCOMP to explain the variance of the data and to reduce the number of characteristics of sugar beet cultivation to some significant factors (*Krzanowski, 2000*). We used the covariance matrix, and all components with eigenvalues >= 1 were extracted. Only variables with factor loadings >= +0.4 and <= -0.4 were included in the further analysis.

Significant influences of the year were tested via Kruskal Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks (*Kruskal and Wallis, 1952*). The Mann-Whitney Rank Sum test was used for comparisons between rotations in Table 5.

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

3. Results

3.1 Sugar yield and farm characteristics

The main proportion of sugar yield ranged from about 8 t ha^{-1} to 18 t ha^{-1} across the fields (Fig. 2 a-d). The total amount of applied N fertilizer ranged from 0 kg ha^{-1} to about 300 kg ha^{-1} on the majority of fields (Fig. 2a). The median treatment index was 3.67 but there were some fields with treatment index higher than 8.0 (Fig. 2b). The field evaluation index was evenly distributed from 20 to 100 and was higher for loamy soils (median = 72) compared to sandy soils (median = 45) by definition (Fig. 2c). In only one percent of the cases, sugar beet was cultivated on clay soil. The median field size was 8 ha, with some exceptions up to more than 100 ha (Fig. 2d).

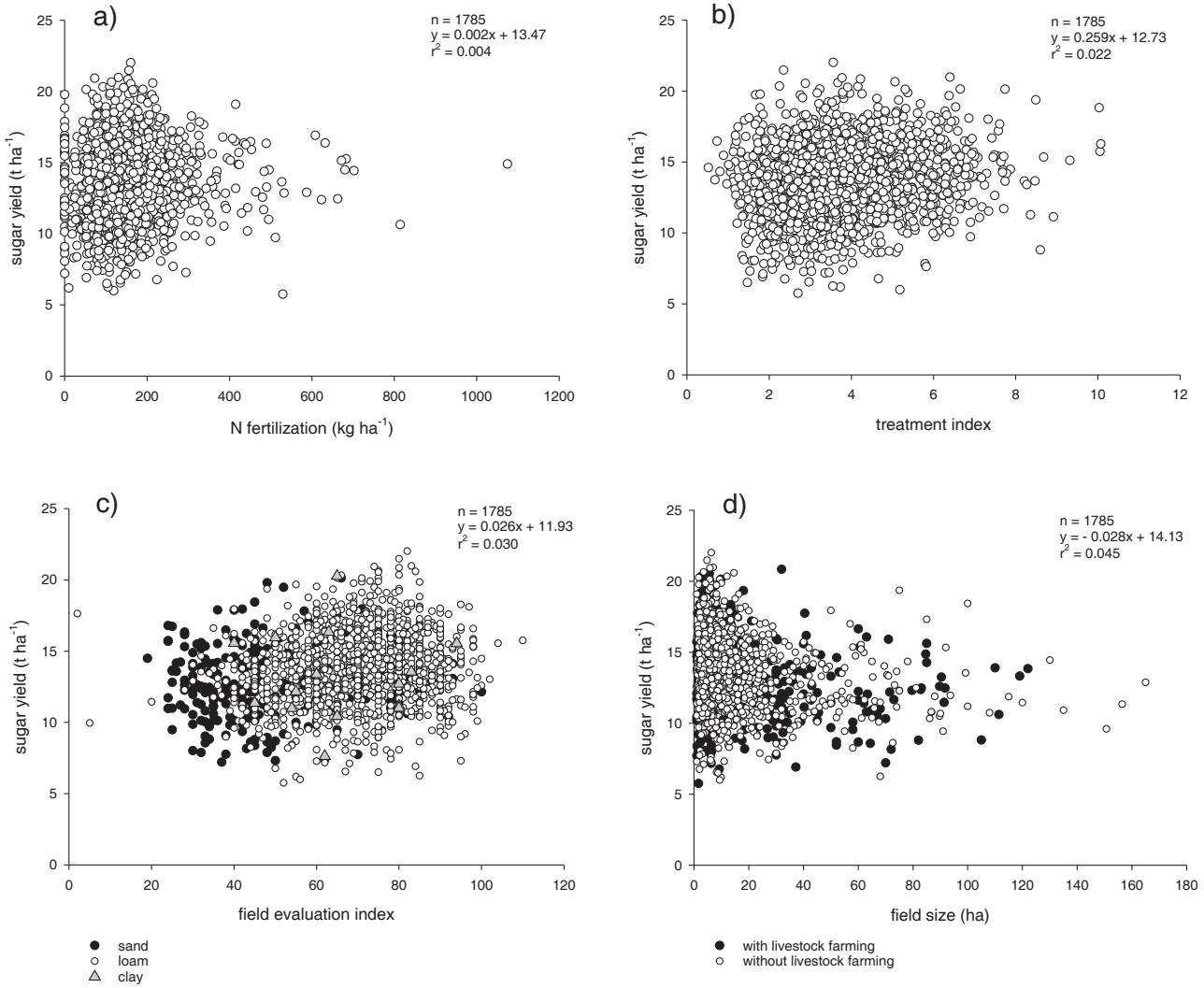

Fig. 2: Sugar yield plotted against a) N fertilization, b) treatment index, c) field evaluation index and soil type, d) field size and livestock farming, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014 (n = 1785).

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

The sugar yield was independent of the amount of N fertilizer as well as of the treatment index, the field evaluation index and the soil type (Fig. 2a-c). Moreover, there was no correlation between the sugar yield and the field size or animal husbandry on the farm (Fig. 2d).
The average sugar yield was highest in 2014, followed by 2011 and 2012, while 2010 and 2013 showed the lowest sugar yields (Fig. 3). Sugar yield was significantly different between all years and showed a similar range of variance.

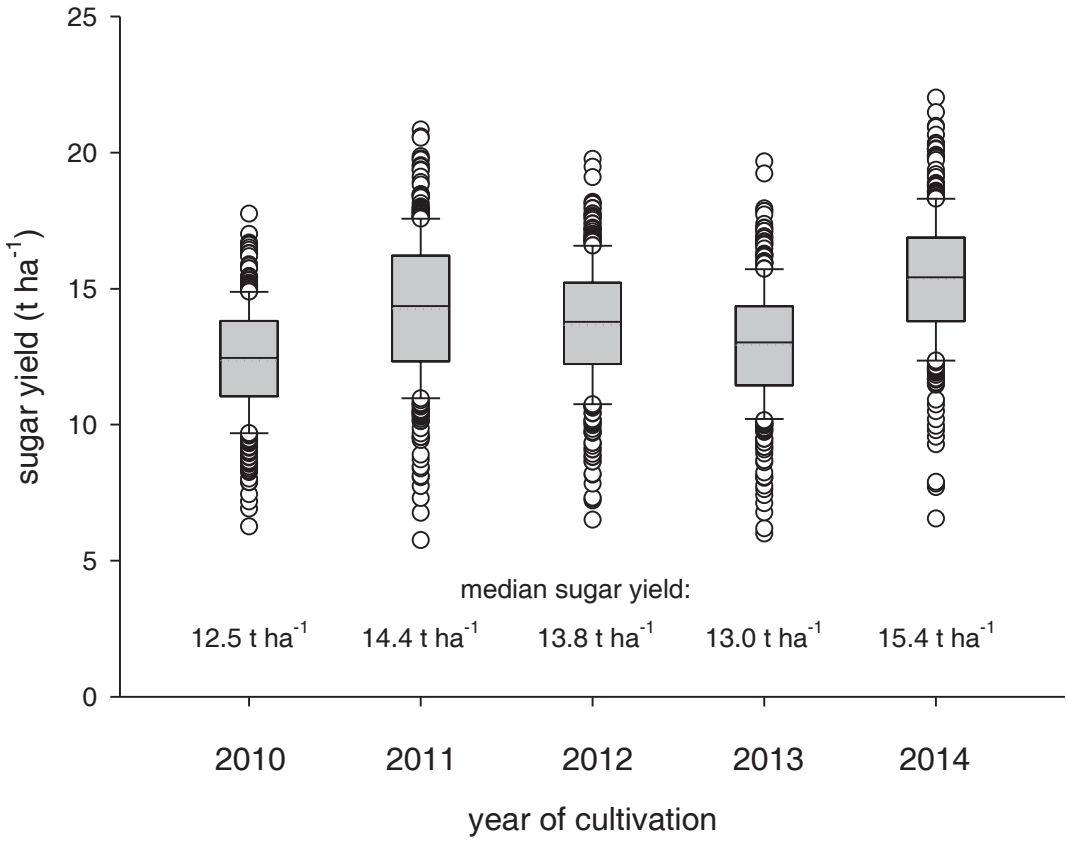

Fig. 3: Sugar yield for the years 2010–2014, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014 (n = 1785), solid line: median, dotted line: mean, different letters indicate significant differences between years, Kruskal-Wallis-Test, p = < 0.05

3.2 Variance of fields and approach of their classification

The Principal Component Analysis was performed with seven variables that consisted of numeric and non-numeric values (Table 1).

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

Table 1: Characteristics of sugar beet cultivation (n = 1785), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014.

variables
N fertilization (kg ha^{-1})
treatment index
soil type[a]
field evaluation index[b]
field size (ha)
livestock farming (with/without)
year of cultivation (2010–2014)

[a]sand, slightly loamy sand, loamy sand, heavy loamy sand, sandy-loamy soil, loam, heavy loam,clay

[b]soil appraisal, considering natural conditions (value 1 – 120)

It resulted in three components with an eigenvalue >1 (Table 2). Together, they explained 52.9% of the variance within the data, while PC 1 accounted to 19.7% and PC 2 to 17.5% of the total variance of the data.

Table 2: Eigenvalues and proportion (cumulative) of the correlation matrix for characteristics of sugar beet cultivation (n = 1785), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014, components with eigenvalues > 1 are typed bold.

component	eigenvalue	proportion, cumulative (%)
1	**1.378**	**19.68**
2	**1.223**	**37.14**
3	**1.104**	**52.92**
4	0.984	67.17
5	0.880	79.69
6	0.740	90.15
7	0.691	100.00

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

The component loadings (Table 3) greater than or equal to +0.4 and smaller or equal to -0.4 were considered for further analysis. PC 1 loaded highest on soil type and field evaluation index. PC 2 was characterized by the high loadings on N fertilization, treatment index and year of cultivation, while PC 3 loaded mainly on field size and livestock farming.

Table 3: Component loadings of the principal components of sugar beet cultivation of all surveyed farms (n = 1785), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014, PC = principal component, loadings > +0.4 or < -0.4 are typed bold.

variable	PC 1	PC 2	PC 3
N fertilization (kg ha^{-1})	0.399	**0.453**	0.345
treatment index	0.280	**0.650**	-0.356
soil type[a]	**-0.711**	0.064	0.205
field evaluation index[b]	**-0.676**	0.186	-0.158
field size (ha)	0.304	-0.384	**-0.614**
livestock farming (with/without)	0.289	-0.331	**-0.633**
year of cultivation	0.038	**0.546**	0.120

[a]sand, slightly loamy sand, loamy sand, heavy loamy sand, sandy-loamy soil, loam, heavy loam,clay

[b]soil appraisal, considering natural conditions (value 1 = very poor quality – 120 = high quality)

3.3 Crop rotations and regions

All crop rotations with sugar beet included cereals, the main type of cultivation was sugar beet with only cereals cropped during the five previous years (termed cereal rotations below, Table 4), followed by crop rotations with sugar beet, cereals and rapeseed (referred to as rapeseed rotations hereafter) and rotations with sugar beet, cereals and maize (called maize rotations below). About 10% of the sugar beets were grown in rotations with cereals and potatoes (referred to as potato rotations hereafter).

The geographical distribution of crop rotations showed about 50% or more of cereal rotations in the regions North, West and South, while nearly 60% of the sugar beets in the region East were grown in rapeseed rotations (Table 4). The regions North and West had the biggest

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

percentage of potato rotations, while maize rotations were grown on over 30% of the sugar beet fields in the region South. There were only a few fields with potato rotations in the region East.

Table 4: Proportion of crop rotations with sugar beet in the different regions (n = 1785), mentioned crop at least grown once during the last 5 years, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014.

region	**proportion of rotations in %**			
	rapeseed	maize	potatoes	cereals only
all	22	21	10	47
North	18	12	17	53
West	15	21	16	48
South	8	30	10	52
East	58	13	3	26

Figure 4a shows the distribution of the vector loadings within the four quadrants of the PCs 1 and 2. Variables concerning the site are arranged in quadrant 1, while variables concerning production factors and farm characteristics are met in the quadrants 2 and 3, respectively.
The mean values of the crop rotations in the region East are arranged in the quadrants 3 and 4 (Fig. 4b), while crop rotations in the regions North are met in the first two quadrants. All crop rotations of the region West are arranged in the first quadrant. Crop rotations in the region South are met in the quadrants 3 and 4, close to the center.

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

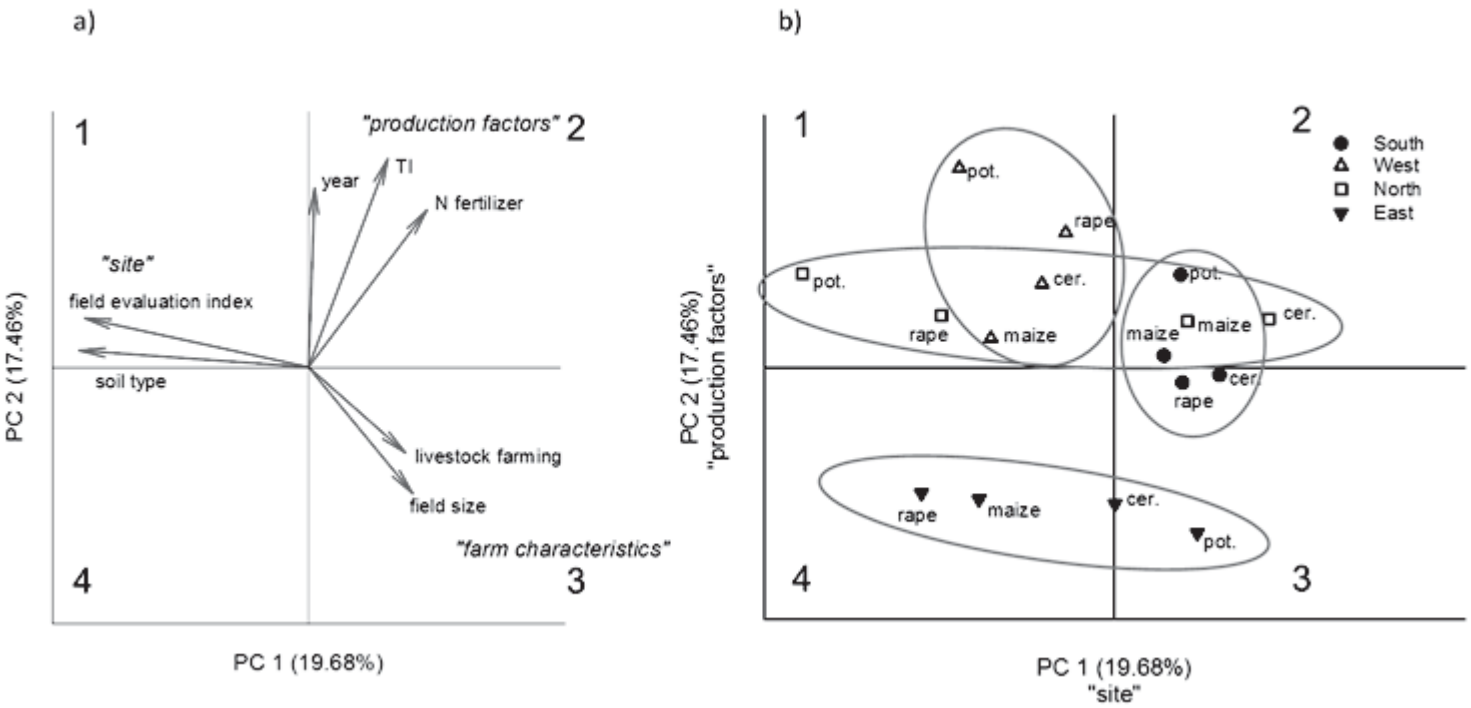

Fig. 4: a) Vector loadings of the grouped variables on the principal components 1 and 2, b) distribution of the mean value of the crop rotations per region on the principal components 1 and 2; PC = principal component, cer. = cereals, pot. = potatoes, explained variance bracketed, numbers 1–4 indicate numbering of the quadrants, farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014 (n = 1785).

Table 5 provides an overview of the sugar yield and the variables N fertilization, treatment index, field evaluation index and field size in the regions. Results were calculated for fields with the specific crop rotation in comparison with all other fields in the region. Sugar yield showed nearly no significant differences between the fields with and without the respective crop. The only exception was sugar beet grown in rapeseed rotations in the region South, yielding significantly lower than in rotations without rapeseed.

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

Table 5: Sugar yield, N fertilization, treatment index, field evaluation index and field size of typical sugar beet-crop rotations (see Table 4), results shown with the mentioned crop (with) in comparison to all other fields (without), farm survey sugar beet cultivation Germany 2010–2014 (n = 1785), Mann-Whitney Rank Sum Test, p = < 0.05. Different letters and values in bold indicate significant differences in the rotations with and without the mentioned crop.

			sugar yield (t ha^{-1})		**N fertilization** (kg ha^{-1})		**treatment index**		**field eval. index**		**field size** (ha)	
region	**crop**	**n** (with/without)	with…	without…	with…	without…	with…	without…	with…	without…	with…	without…
North (n=435)	…rapeseed	78/357	13.3	13.6	167	161	**4.1^{a}**	**3.9^{b}**	**55^{a}**	**74^{b}**	**12.5^{a}**	**10.4^{b}**
	…maize	51/384	13.8	13.4	160	163	3.7	4.0	73	70	9.9	11.0
	…potatoes	72/363	13.7	13.4	**220^{a}**	**155^{b}**	**4.8^{a}**	**3.9^{b}**	**38^{a}**	**74^{b}**	11.4	10.5
	…cereals	234/201	13.4	13.6	**151^{a}**	**182^{b}**	**3.8^{a}**	**4.1^{b}**	**77^{a}**	**50^{b}**	**10.2^{a}**	**11.3^{b}**
West (n=194)	…rapeseed	29/165	15.1	14.8	174	183	3.9	4.2	75	72	8.2	7.6
	…maize	41/153	14.7	14.9	181	179	3.6	4.2	**65^{a}**	**74^{b}**	**6.0^{a}**	**8.0^{b}**
	…potatoes	31/163	14.9	14.9	**276^{a}**	**174^{b}**	4.0	4.5	**80^{a}**	**72^{b}**	7.6	8.0
	…cereals	93/101	14.8	14.9	173	187	4.0	4.2	72	74	**8.4^{a}**	**7.0^{b}**
South (n=781)	…rapeseed	63/718	**13.6^{a}**	**14.3^{b}**	123	130	3.4	3.6	**62^{a}**	**70^{b}**	5.0	4.6
	…maize	236/545	14.1	14.3	135	128	**3.9^{a}**	**3.5^{b}**	68	70	4.3	4.8
	…potatoes	76/705	14.6	14.2	130	129	**4.1^{a}**	**3.5^{b}**	70	69	**5.3^{a}**	**4.6^{b}**
	…cereals	406/375	14.3	14.1	127	132	**3.4^{a}**	**3.8^{b}**	70	68	4.7	4.7
East (n=375)	…rapeseed	218/157	12.3	11.9	103	108	3.4	3.1	**54^{a}**	**74^{b}**	31.8	29.5
	…maize	47/328	12.1	12.2	**129^{a}**	**105^{b}**	3.4	3.3	**70^{a}**	**60^{b}**	29.6	30.0
	…potatoes	12/363	12.8	12.2	98	107	3.8	3.3	**85^{a}**	**60^{b}**	**37.7^{a}**	**30.0^{b}**
	…cereals	98/277	11.7	12.3	107	106	**2.9^{a}**	**3.4^{b}**	**72^{a}**	**56^{b}**	**26.0^{a}**	**32.0^{b}**

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

The average amount of applied N ranged from 98.4 kg ha^{-1} (sugar beet in potato rotations in the region East) to 276.1 kg ha^{-1} (sugar beet in potato rotations in the region West). N fertilization of sugar beet was significantly higher in fields with than without potato rotations in the regions North and West. Sugar beet grown in cereal rotations in the region North received significantly lower amounts of N compared to sugar beet in rotations with other crops. In the region East, sugar beet in maize rotations received significantly higher amounts of N than in rotations without maize.

The treatment index did not differ very much between the regions or between the crop rotations (Table 5). In all regions, the treatment index was lower for sugar beet grown in cereal rotations than for those grown in other crop rotations being significantly different in all regions but West. In the region East, sugar beet in cereal rotations had the lowest treatment index of all fields (2.87). Sugar beet in potato rotations showed the highest treatment index (4.83 in the region North) of all combinations. In the region North, sugar beet in rapeseed rotations had a significantly higher treatment index than in rotations without rapeseed. Sugar beet in maize rotations in the region South showed a significantly higher treatment index than in rotations without maize.

The average field evaluation index ranged from 38 to 85 (Table 5). Significant differences between the field evaluation index for sugar beet in rotations with and without rapeseed were found in the regions North, South and East. Moreover, significant differences were proven between sugar beet in rotations with and without potatoes in the regions North, West and East. For sugar beet in cereal rotations, the field evaluation index was significantly higher than for other rotations in the regions North and East.

The biggest sugar beet fields were found in the region East with up to 37.7 ha for potato rotations and the smallest in the region South with 4.3 ha for maize rotations (Table 5). In the region North, sugar beet in rapeseed rotations was grown on bigger fields than in rotations without rapeseed. Field sizes of rotations with and without cereals were significantly different in the regions North, West and East.

4. Discussion

One of the permanent issues in agriculture is the need to feed a growing population (*Tilman et al., 2011, Garnett et al., 2013*). Sustainable intensification in crop cultivation aims at increasing food production while minimizing pressure on the environment (*Baulcombe et al., 2009*). The focus lies on the efficiency, which is defined as the ratio between in- and output (*Farell, 1957*). A basic challenge is to measure data methodically expressing efficiency. For this purpose, a

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

reliable database from commercial practice for an entire cultivation system is needed. By agreement of the *Wirtschaftliche Vereinigung Zucker* (the sugar industry and the national growers association) we got the possibility to run the survey among sugar beet growing farms in Germany, which is representative for Central Europe, because of its considerable heterogeneity concerning socio-economic conditions. At this point it should be noted that we decided to not eliminate outliers as can be found for N fertilizer and field evaluation index for example (cf. Fig.2 a) and Fig.2 c)) as the conclusions are not influenced by these extreme values. The high amounts of N fertilizer are due to the use of organic fertilizers such as compost, whereas the low field evaluation indices are based on incorrect information by the farmers. The data pool is an excellent basis for further approaches e.g. analysis towards efficiency or cultivation improvement and the annual update of the statistical measures of pesticides use (*Roßberg, 2016*).

4.1 Sugar yield and influencing variables

According to the *Wirtschaftliche Vereinigung Zucker* (*2015*), the average national yield was 11.2, 12.6, 13.0, 12.0 and 14.8 t ha^{-1} in the years 2010 –2014. This is comparable with the current surveyed fields.

In contrast to other field crops like wheat (*Küstermann et al., 2013*), yield of sugar beet is independent of the amount of N fertilizer supplied (*Boizard et al., 2012, Trimpler et al., 2013, Koch et al., 2016*). In our study, there were even fields with a sugar yield well above the average without the use of N fertilizer. This is similar to the results of *Wießner et al.* (*2010*). Intensity of pesticides use relies primarily on the occurrence of weeds, pests and diseases. Concerning the treatment index, the occurrence of fields with a low application of pesticides showing a high sugar yield and vice versa indicated an independence of the sugar yield and the intensity of pesticide use, as well, as shown by *Wießner et al.* (*2010*).

The sugar yield was also independent of the field evaluation index. Sugar beets grown on soils with a low quality achieved, nevertheless, relatively high yields. This might often be due to irrigation (*Hassanli et al., 2010*) and the use of fertilizers (*Breitschuh et al., 2015*).

There was more variation in sugar yield on smaller fields. Larger fields showed yields rather on average. The reason for this might be that the field size was not evenly distributed across regions. There was an above-average number of small fields due to the big number of data from the region South, where fields are usually smaller compared to the remaining regions (see also Table 5) (*Atlas Agrarstatistik, 2016*). The biggest farms in Germany can be found in the region East with an average size of 226 ha (*Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2010*). In the regions North, West and South they are usually smaller with a decrease in size from North to South. Our study confirmed this ranking, but the average size of farms was bigger

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

than in the official statistic. This could be explained by the higher willingness of farmers with bigger farms to take part in the survey.
Seen in a national context, the sugar yield was neither dependent on the inputs nor on site specific conditions or the characteristics of the farm, but driven by the year (Fig. 3). This year effect on the yield in sugar beet could be attributed to variation in factors like temperature, solar radiation, rainfall and length of the growing period as shown in previous studies (*Scott and Jaggard, 2000, Kenter et al., 2006, Hanse et al., 2010*).

4.2 Structuring of the data

According to the regression analysis, efficiency seemed to be independent of the considered variables. Thus, we tried to group the data in a different way. The aim was to explain the variance between the fields and to find groups of fields with similar field history. Therefore a principal component analysis was performed with the considered variables including the year of cultivation. The three components extracted explained more than half of the variance between the data (see Table 3) and were aggregated as follows: The first component loaded high on soil type and field evaluation index and represented the site. In a number of studies, soil properties and climate have been found to be among the major sources of yield variability in crop production (*van Ittersum et al., 2013, Ray et al., 2015*). N fertilization, treatment index and the year of cultivation made up the second component, summarized as production factors. As the production factors in crop cultivation varied according to the annual conditions (like the time of sowing and the weather during the growing period) (*Kravchenko et al., 2005*), this variable fits in here. The third component bundled the characteristics of the farm, loading high on field size and livestock farming. Differences between the variance explained by the three components were rather small, so that no component was particularly prominent. Differences between fields could not be explained by one single component, but by an accumulation of factors. Looking at the distribution of the fields regarding the principal components 1 and 2, there was no visible pattern or grouping of fields. The nationwide variance between fields and farming conditions was that large for diverse reasons that it was not possible to structure the data according to the generated components.

4.3 Crop rotations, regions and their characteristics

In general, farmers decide on crop rotation for economical and environmental reasons (*Glemnitz et al., 2011*). The farmer´s objective and knowledge as well as the equipment on the farm have important impact on the farming system (*Aouadi et al., 2015*). It is established, that the previous crop in a rotation has direct influence on the following crop e.g. in terms of ecological factors like N-turnover, pests and diseases and soil structure (*Götze et al., 2016*).

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

We were interested in the whole crop rotation and the fact whether the farmer´s management in sugar beet cultivation was affected due to certain crop rotations and the therewith related conditions.

Sugar beet is grown in diverse crop rotations with crops having diverse demands and impacts (*Andert et al., 2016a*). The spatial distribution of crop rotations within Germany resulting from geological origin and the topography, quite well represents the heterogeneous conditions for agriculture in Central Europe. Regional distribution of crop rotations is dependent on conditions of soils, availability of water and nutrients and climate (*Steinmann and Dobers, 2013, Deike et al., 2008*). The next step on finding a way of structuring the data was a grouping into regions for reasons of more homogenous preconditions. To find out which factors were crucial for the variances between the fields, we divided the fields according to the crops cultivated in the rotation.

Contrary to the statement that sugar beets are concentrated in highly productive regions (*Märländer et al., 2003*) with medium- or well-textured, deep and well-drained soils, we found crop rotations with sugar beet on fields with a broad range of quality (cf. Fig. 2c). Maize instead is predominantly grown on fields with a low yield potential and rarely on fields with a high yield potential (*Stein and Steinmann, 2014*). In energy crop rotations with a high proportion of maize, sugar beet may help to increase the public acceptance of biogas production as it reduces the competition among biogas and food production (*Jacobs et al., 2014, Brauer-Siebrecht et al., 2016*). Potatoes are cropped mainly on sandy soils, e.g. in the region North (cf. Fig. 1) between Hamburg and Hanover. The fact that rapeseed rotations were predominant on the surveyed sugar beet fields in the region East is consistent with the established statistic census (*Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015*). Unlike the remaining regions, on more than half of the surveyed fields in the region East the minimum cropping interval of sugar beet was 6 years (data not shown). In the other regions, sugar beet was predominantly found every 3rd to 4th year in the rotation. In the regions North, West and South the ratio between cereal rotations, more or less 50% each, and rotations with other crops is nearly balanced (cf. Table 4).

The quite low sugar yields in the region East (Table 5) might result from the fact that the eastern part of Germany has a lower annual rainfall and a later drilling time due to the more continental climate than its western part (*Breitschuh and Knoblauch, 2012, Deutscher Wetterdienst, 2015*). Furthermore, the lower sugar yield found in the region East could be explained by historical reasons of differences in productivity and farm structure, e.g. the lack of investment (*Wirth, 1994*).

When maize is cropped in a short sequence in sugar beet rotations, the risk for Rhizoctonia solani is enhanced and sugar yield decreases (*Buhre et al., 2009*). However, this associated negative effect on the yield could not be shown for the surveyed fields in our study. Only 5-

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

10% of the entire cultivation area of about 300 000 ha (*Wirtschaftliche Vereinigung Zucker, 2016*) are infested (*Büttner et al., 2003*). Thus, very few farms are affected by this specific disease so far.

Well-planned crop rotations can lower herbicide use (*Sarani et al., 2014*). In rapeseed rotations instead, volunteer rapeseed is a well-known problem not only in the crop after rapeseed, but lasting for years (*Schäufele and Pfleiderer, 2000*). As the percentage of herbicides of the average treatment index is 70% (*Julius-Kühn-Institut (JKI), 2016*), a higher treatment index for sugar beet in rapeseed rotations was expected. This could not be confirmed, except in the region North (cf. Table 5). A nationwide comparison of all fields for the treatment index of herbicides only showed a slight, but not significant higher treatment index for rapeseed rotations of 2.7 (potatoes and maize: 2.6, cereals: 2.4, data not shown).

The high treatment index when cultivating potatoes in the regions North and South might be due to the fact that potatoes cause a higher demand for plant protection in the whole rotation, e.g. for reasons of appearance of volunteers (*Nieuwenhuizen et al., 2010*). As potatoes are known for a high intensity in pesticide use (*Roßberg, 2016*), another explanation could be that farmers tend to transmit specific management practices of one crop on the whole rotation. *Andert et al.,* (*2016b*) identified that pesticides use is affected by farm specific factors like equipment, farmer´s aims and knowledge. However, the treatment index in the region South was significantly higher for maize rotations as well. Another justification for intensity in potato cultivation is the high requirement of nutrients to produce the high amount of biomass (*Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2011*). In the region South, the amount of N fertilization was at the same level regardless of cropping potatoes in the rotation or not. This fact suggests that the high N fertilization of sugar beet in potato rotations in the regions North and West might not necessarily be connected with the cultivation of potatoes. In the region North the sandy soils on which potatoes are mainly cropped might often be irrigated and are an explanation for the high inputs concerning N fertilization of sugar beets in potato rotations. In the region West, the farmers are paid for taking organic fertilizer from the nearby Netherlands, explaining the high amounts of N fertilization in this region. Altogether, it could not be confirmed, that the farmer transferred management practices from crop to crop within a rotation, but it could not be excluded either. The mentioned considerations go with the results of the PCA. The mean values of the crop rotations with potatoes in the regions North and West are arranged between the variables concerning site and production factors (Fig. 4a and b).

The field sizes represent the agricultural structures in Germany. The size pattern of farms throughout Germany is essentially a result of a process of adjustment concerning geographical, historical and economic conditions (*Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2010*). In the region South we found the smallest fields caused by the formerly prevailing law of inheritance (*Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2010*), which led

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

to a fragmentation of the farms. The biggest fields were located in the region East, which is a result of the historical conditions of management by agricultural cooperatives as a consequence of the expropriation between 1945 and 1956 in the zone under Soviet occupation and in the German Democratic Republic, respectively (*Klemm, 1978, Wirth, 1994, Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2010*). *Rodríguez and Wiegand* (*2009*) found that the field size has an impact on the cultivation. The larger the fields, the smaller the biodiversity and the amount of crop types that could coexist in a given small scaled landscape. Again, this is consistent with the PCA (cf. Fig. 4a and b). The positions of the mean values of all crop rotations in the region East is between farm characteristics, including field size, and site. Following *Rodríguez and Wiegand* (*2009*), the latter is in accordance with the low variety of sites in the case of large fields and a therewith heavy concentration on a few soil types and agricultural comparative figures.

A comparison of efficiency is more useful between fields under similar soil and climate conditions like done by *Hanse et al.* (*2011a*) for neighbouring farms. They could explain a part of the differences in sugar beet yield by differences in infestation levels of pests and diseases. Moreover, an earlier sowing date caused adjusted management practices considering tyre inflation pressure and number of passes. The therewith better soil structure and longer vegetation period resulted in higher yield, as well (*Hanse et al., 2011b*).

5. Conclusions

With our survey data we were able to describe the current situation in sugar beet cultivation in Central Europe, related to the efficiency of cultivation. The large number of data and the wide variety of collected facts allowed a presentation of the intensity of production as a status of future sustainable intensification. There was no general explanation for neither a high yield nor a high intensity in sugar beet cultivation. We concluded, that over 50% of the variance between the data was explained by the farmer's management, the environment and the farm characteristics. Still, the non-correlation of N fertilization and treatment index to sugar beet yield known from field experiments was verified by the survey data.

Looking at the crop rotations, on the one hand the crops grown with sugar beet might be the reason for higher plant protection intensity in sugar beet cultivation e.g. because of difficult to control volunteers. On the other hand, the farmer with specific knowledge and equipment seems to play a decisive role by transferring principal management practice from crop to crop within a rotation. Further studies will now aim to discover if farmer's management superimposes natural conditions.

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

A better knowledge about site specific yield potential and achievable yield by farmers, the so called yield gap, is essential to guide a future sustainable intensification in sugar beet cultivation. Similar examinations for other crops could help to identify basic factors influencing management decisions of farmers.

Acknowledgements

The authors thank all persons involved in the processing of the survey. Thanks are given to the companies ADAMA Deutschland GmbH, BASF SE, Bayer CropScience Deutschland GmbH, KWS SAAT SE, Strube GmbH & Co.KG, and Syngenta Seeds GmbH for funding. Sincere thanks are given to Dr. Christine Kenter for valuable comments on the manuscript

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

References

Andert, S., Bürger, J., Stein, S., & Gerowitt, B. (2016a). The influence of crop sequence on fungicide and herbicide use intensities in North German arable farming. *Eur. J. Agron., 77,* 81-89. doi: 10.1016/j.eja.2016.04.003

Andert, S., Bürger, J., & Gerowitt, B. (2016b). Zur Bedeutung betrieblicher Faktoren für die Pflanzenschutzmittel- Intensität im Ackerbau. *Gesunde Pflanzen 68*, 1-13. doi: 10.1007/s10343-015-0356-y

Aouadi, N., Auberoto, J. N., Caneill, J., & Munier-Jolain, N. (2015). Analyzing the impact oft he farming context and environmental factors on cropping systems: a regional case study in Burgundy. *Eur. J. Agron. 66*, 21-29. doi: 10.1016/j.eja.2015.02.006

Atlas Agrarstatistik. Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2016). Landwirtschaftliche Betriebe in einem Raster mit 5 km Weite. http://www.atlas-agrarstatistik.nrw.de/ (accessed on april 13th 2016)

Baulcombe, D., Crute, I., Davies, B., Dunwell, J., Gale, M., Jones, J., Pretty, J., Sutherland, W., & Toulmin, C. (2009). Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society. London, UK.

Bezhin, K., Santel, H.-J., & Gerhards, R. (2015). Evaluation of two chemical weed control systems in sugar beet in Germany and the Russian Federation, Plant Soil Environ. 11 (61), 489-495. doi: 10.17221/482/2015-PSE

Boizard, H., Duval, R., Lemaitre, T., Machet, J.M., Mary, B., Beaudoin, N., Cariolle, M., Escriou, H., Gosse, G., Richard-Molard, M., & Boiffin, J. (2012). Sugar beet, a sustainability factor of arable crop systems in northern France, Int. Sugar Journal 114, 711-714.

Buhre, C., Kluth, C., Bürcky, K., Märländer, B., & Varrelmann, M. (2009). Integrated Control of Root and Crown Rot in Sugar Beet: Combined Effects of Cultivar, Crop rotation, and Soil Tillage. Plant Dis. 93, 155-161. doi: 10.1094/PDIS-93-2-0155

Bundeministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015). Struktur der Bodennutzung nach Ländern. http://www.bmel-statistik.de//fileadmin/user_upload/monatsberichte/MBT-0101160-0000.xls (accessed on may 13th 2016)

Brauer-Siebrecht, W., Jacobs, A., Christen, O., Götze, P., Koch, H.-J., Rücknagel, J., & Märländer, B. (2016). Silage maize and sugar beet for biogas production in rotations and continuous cultivation; dry matter and estimated methane yield. Agronomy 6 (2), 1-12. doi: 10.3390/agronomy6010002

Breitschuh, G. & Knoblauch, S. (2012). Wasserverfügbarkeit – Wesentlicher Ertragsfaktor im Ackerbau, in: Management der Ressource Wasser, KTBL, Darmstadt.

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

Breitschuh, G., Eckert, H., Breitschuh, T., & Körschens, M. (2015). Bodenfruchtbarkeit in der nachhaltigen Landwirtschaft. In: Bodenfruchtbarkeit – Grundlage erfolgreicher Landwirtschaft, Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e. V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), 21./22.April 2015, Würzburg, 37-63.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel. J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. Eur. J. Agron. 20, 265-279. doi: 10.1016/S1116-0301(03)00039-X

Büttner, G., Pfähler, B., & Petersen, J. (2003). Rhizoctonia root rot in Europe – incidence, economic importance and concept for integrated control. Proceedings of the 1st joint IIRB-ASSBT Congress, February 2003, San Antonio, USA, 897—901.

Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H., & Pierce, F.C. (1997). Concepts of soil quality and their significance, 1-19. In: Gregorich, E.G & Carter, M.R. (ed.): Soil quality for crop production and ecosystem health. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Deike, S., Pallut, B., Melander, B., Strassemeyer, J., & Christen, O. (2008). Long-term productivity and environmental affects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: A case –study of two long-term field experiments in Germany and Denmark. Eur. J. Agron. 29, 191-199. doi: 10.1016/j.eja.2008.06.001

Deutscher Wetterdienst (2015). Zeitreihen und Trends. http://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihenundtrends/zeitreihenundtrends.html (accessed on august 15th 2016)

Evans, A. (2009). The feeding of the nine billion: global food security for the 21st century. A Chatham House Report. Royal Institute of International Affairs. London, UK.

Farell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency, Journal of the Royal Statistical Society, Series A 120, 253-290.

Foley, J. A., DeFries, R. , Asner, G. P. , Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K, Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Synder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science 309*, 570-574. doi: 10.1126/science.1111772

Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P. K., Toulmin, C., Vermeulen, S. J., & Godfray, H. C. J. (2013). Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. Science 341, 33-34. doi: 10.1126/science.1234485

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

Godfray, H. C. J. & Garnett, T. (2014). Food security and sustainable intensification. Phil. Trans. R. Soc. 369. 20120273. doi: 10.1098/rstb.2012.0273

Glemnitz, M., Wurbs, A., & Roth, R. (2011). Derivation of regional crop sequences as an indicator for potential GMO dispersal on large spatial scales. Ecol. Indic. 11, 964-973. doi: 10.1016/j.ecolind.2009.03.005

Götze, P., Rücknagel, J., Jacobs, A., Märländer, B., Koch, H.-J., & Christen, O. (2016). Environmental impacts of different crop rotations in terms of soil compaction, J. Environ. Manage. 181, 54-63. doi: 10.1016/j.envman.2016.05.048

Hanse, B., Tijink, F., Mußhoff, O., & Märländer, B. (2010). Comparison of costs and yields of 'type top' and 'type average' growers in Dutch sugarbeet growing. Sugar Industry 135 (9), 550–560.

Hanse, B., Vermeulen, G. D., Tijink, F., Koch, H.-J., & Märländer, B. (2011a): Analysis of soil characteristics, soil management and sugar yield on top and averagely managed farms growing sugar beet (Beta vulgaris L.) in the Netherlands. Soil Till. Res. 117, 61-68. doi: 10.1016/j.still.2011.08.008

Hanse, B., Schneider, J. H. M., Termorshuizen, A. J., & Varrelmann, M. (2011b). Pests and diseases contribute to sugar beet yield differences between top and averagely managed farms. Crop Prot. 30, 671-678. doi: 10.1016/j.cropro.2011.02.018

Hassanli, A.M., Ahmadirad, S., & Beecham, S. (2010). Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. Agr. Water Manage. 97, 357-362. doi: 10.1016/j.agwat.2009.10.010

Hoffmann, C. (2006a). Zuckerrüben als Rohstoff - Die technische Qualität als Voraussetzung für eine effiziente Verarbeitung. Weender Druckerei, Göttingen, Germany.

Hoffmann, C. (2006b). Physiologische Grundlagen des Ertragspotenzials von Zuckerrüben. Sugar Industry 131, 862-870.

Jacobs, A., Auburger, S., Bahrs, E., Brauer-Siebrecht, W., Buchholz, M., Christen, O., Götze, P., Koch, H.-J. , Mußhoff, O., Pelka, N., Rücknagel. J., & Märländer, B. (2014). Die Zuckerrübe als Energiepflanze in Fruchtfolgen auf hoch produktiven Standorten – eine pflanzenbaulich/ökonomische Systemanalyse. Sugar Industry 139, 117-127.

Julius-Kühn-Institut (JKI) (2016). Übersicht zu Behandlungsindizes. http://papa.jki.bund.de/index.php?menuid=43 (accessed on october 13th 2016)

Kenter, C., Hoffmann, C. M. , & Märländer, B. (2006). Effects of weather variables on sugar beet yield development (Beta vulgaris L.). Europ. J. Agron. 24, 62-69. doi: 10.1016/j.eja.2005.05.001

Klemm, V. (1978). Von den bürgerlichen Agrarreformen zur sozialistischen Landwirtschaft in der DDR. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, Germany.

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

Koch, H.-J., Laufer, D., Nielsen, O., & Wilting, P. (2016). Nitrogen requirement of fodder and sugar beet (Beta vulgaris L.) cultivars under high-yielding conditions of northwestern Europe, Arch. Agron. Soil Sci. 62 (9), 1222-1235. doi: 10.1080/03650340.2016.1143929

Kruskal, W. H. & Wallis, W.A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. J. Am. Stat. Assoc. 47, 583-621.

Krzanowski, W.-J. (2000). Principles of Multivariate Analysis. Oxford University Press, Oxford.

Kravchenko, A. N., Robertson, G. P., Thelen, K. D., & Harwood, R. R. (2005). Management, Topographical, and Weather Effects on Spatial Variability of Crop Grain Yields. Agron. J. 97, 514-523.

Küstermann, B., Munch, J. C., & Hülsbergen, K.-J. (2013). Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. Eur. J. Agron. 49, 61-73. doi:10.1016/ej.eja.2013.02.012

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2011). Kartoffelanbau: Düngung für Ertrag und Qualität.https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/180/article/16258.html (accessed on april 23rd 2016)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2016). Hinweise zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern, organischen und organisch-mineralischen Düngern. https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/wirtschaftsduenger-pdf.pdf (accessed on march 31st 2016)

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.

Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. Science 277, 504-509.

Nieuwenhuizen, A. T., Hofstee, J. W., & van Henten, E. J. (2010). Adaptive detection of volunteer potato plants in sugar beet fields. Precis. Agric. 11 (5), 433-447. doi: 10.1007/s11119-009-9138-9

Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. Nat. Commun. 6:5989, doi: 10.1038/ncomms6989

Reineke, H., Stockfisch, N., & Märländer, B. (2013). Analysing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany. Eur. J. Agron. 45, 27-38. doi: 10.1016/j.eja.2012.10.004

Rodríguez, C. & Wiegand, K. (2009). Evaluating the trade-off between machinery efficiency and loss of biodiversity-friendly habitats in arable landscapes: The role of field size. Agr. Ecosyst. Environ. 129, 361-366. doi: 10.1016/j.agee.2008.10.010

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

Roßberg, D. (2016). Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. Journal für Kulturpflanzen 68 (2), 25-37.

Sarani, M., Oveisi, M., Mashhadi, H. R., Alizade, H. , & Gonzalez-Andujar, J. L. (2014). Interactions between the tillage system and crop rotation on the crop yield and weed populations under arid conditions, Weed Biol. Manag. 14, 198-208. doi:10.1111/wbm.12047

Sattler, C., Kächele, H., & Verch, G. (2007). Assessing the intensity in pesticide use in agriculture. Agro. Ecosys. Environ. 119, 299-304. doi:10.1016/j.agee.2006.07.017

Schäufele, W. R. & Pfleiderer, U.-E. (2000). Ansätze zur Bekämpfung von Ausfallraps, Kartoffeldurchwuchs und Unkrautrüben in herbizidresistenten Zuckerrüben –erste Ergebnisse. J Plant Dis Protect, Sonderheft XVII, 403-409.

Scott, R. K. & Jaggard, K. W. (2000). Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugarbeet grown in the UK since 1970. J. Agr. Sci. 134, 341-352.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2010). Agrarstrukturen in Deutschland – Einheit in Vielfalt. http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/landwirtschafts zaehlung_2010.pdf (accessed on april 7th 2016)

Stein, S., & Steinmann, H.-H. (2014). The situation of current crop rotations in Northern Germany: risks and chances for future farming systems. In: Proceedings of the 11th European IFSA Symposium, 1-4 April 2014, Berlin, Vol. 2.

Steinmann, H.-H. & Dobers, E.S. (2013). Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection, J. Plant Dis. Protect. 120 (2), 85-94.

Stockfisch, N., Gallasch, M., Reineke, H., Trimpler, K., Mielke, C., Reiners, M., Risser, P., Schmitz, K., & Märländer, B. (2013). Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau: Datenbasis und Basisdaten. Sugar Industry 138 (10), 656-663.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci.108 (50), 20260-20264.

Trimpler, K., Stockfisch, N., & Märländer, B. (2013). Stickstoffdüngung und Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland. Sugar Industry 138 (11), 727-736.

Trimpler, K., Stockfisch, N., & Märländer, B. (2016) The relevance of N fertilization for the amount of total greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation. Eur. J. Agron. 81, 64-71. doi:10.1016/j.eja.2016.08.013

Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance – A review. Field Crops Res. 143, 4-17. doi:10.1016/j.fcr.2012.09.009

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

Van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. Field Crop Res 143, 34-43. doi: 10.1016/j.fcr.2010.11.018

Warkentin, B.P. (1995). The changing concept of soil quality. J. Soil Water Conserv. 50, 226-228.

Wießner, J., Stockfisch, N., & Märländer, B. (2010). Approach for determining the eco-efficiency of sugar beet cultivation in Germany. Journal f. Kulturpflanzen 62 (11), 409-418.

Wirth, H. (1994). Ostdeutsche Genossenschaftsbauern - Westdeutsche Landwirte. Agrarische Lebensweisen im Vergleich. Gegenwartskunde 43 (1), 27-40.

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker (2015). Rübenverarbeitung und Zuckererzeugung in Deutschland. http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/ zucker markt-deutschland/ruebenanbau-zuckererzeugung.html (accessed on april 5th 2016)

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

Epilog

Das Bild von der modernen Landwirtschaft setzt sich in großen Teilen der Gesellschaft aus Berichten in den Medien und der Werbung zusammen (*Zander et al., 2013, Helmle, 2011a*) und ist daher vielfach emotional geprägt, da die Bevölkerung in Deutschland überwiegend keinen oder nur begrenzt eigenen Zugang zu landwirtschaftlichen Verfahren hat (*Schöpe, 2005).*

Dabei wird die moderne Landwirtschaft in den Medien häufig kritisch bis ablehnend bewertet. Im Bereich der Viehhaltung schockieren Begriffe wie „Massentierhaltung“, im Pflanzenbau führen die „Vermaisung“ oder das „Bienensterben“ zu Unmut. Auch die Zuckerrübe ist, v.a. während der Erntekampagne, immer wieder Anlass für launige Artikel in lokalen Tageszeitungen. Von A wie Anklam bis Z wie Zeitz berichten Nordkurier bis Mitteldeutsche Zeitung von Dreck, Gestank und Lärm in Zusammenhang mit dem Transport zur und der Verarbeitung in den Zuckerfabriken (*Nordkurier, 2014, Mitteldeutsche Zeitung, 2012*).

Größere Maschinen, computergesteuerte Managementsysteme oder der Rückgang kleiner Höfe werden mit einer Ausbeutung von Mensch und Natur verbunden und sind Anlass für Stimmen gegen die Industrialisierung der Landwirtschaft. Die Bevölkerung sieht den Gedanken der Nachhaltigkeit gefährdet. Dieser beinhaltet, dass zukünftige Generationen nicht schlechter gestellt sein sollen als die heute lebende (*Hauff, 1987*). Da die Auswirkungen des Wandels der Landwirtschaft oftmals nicht oder fehlerhaft eingeschätzt werden, besteht große Skepsis. Aber die Erscheinungen der modernen Landwirtschaft stehen auch für effizientere Arbeitsweisen und eine Sicherung der Nahrungsmittel. Der Begriff der Effizienz hat vor allem im Zusammenhang mit dem Terminus der Nachhaltigen Produktivitätssteigerung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und löst den Begriff der Nachhaltigkeit v.a. in der Wissenschaft zunehmend ab. In der Landwirtschaft findet er sich in mehreren Bereichen. So meint die N-Effizienz oder die Wassernutzungseffizienz im Pflanzenbau die Ausnutzung der jeweiligen Ressource durch die Pflanze (*Rathke et al., 2006, Boyer, 1996*). Der Begriff der Öko-Effizienz wurde ursprünglich auf die industrielle Produktion angewendet (*Dowell et al., 2000*). Es vereint ökologische und ökonomische Effizienz und zielt auf die Maximierung des wirtschaftlichen Wertes eines Produktes bei gleichzeitiger Minimierung der ökologischen Auswirkungen ab.

Mit Hilfe der Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau wurden aktuelle Kennzahlen zu allen Bereichen des Anbaus erhoben. In den vorliegenden Manuskripten wird mittels dieser Daten der Ist-Zustand der nachhaltigen Produktivitätssteigerung im

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

Zuckerrübenanbau in Deutschland dargestellt. Ansätze zur weiteren Effizienzsteigerung werden exemplarisch aufgezeigt.

In Zusammenhang mit dem Bild von Landwirtschaft in der Bevölkerung stellen sich darauf aufbauend aber weitergehende Fragen:

1) Wie bildet sich die Gesellschaft ihr Bild der Landwirtschaft? Und ist den Landwirten[2] dieses Bild bewusst?
2) Wo liegen die Divergenzen in der Sichtweise zwischen Gesellschaft und Landwirtschaft?
3) Kann beiden Seiten mit Hilfe wissenschaftlicher Studien aufgezeigt werden, dass sich Nachhaltigkeit und Produktivität nicht ausschließen? Und sind Fakten in der aktuellen Diskussion überhaupt nützlich?

Viele aktuelle Studien und Umfragen beschäftigen sich mit der Frage der Wahrnehmung von Landwirtschaft in der Gesellschaft (*Menskes, 2016, i.m.a, 2012, Kayser et al., 2012*). Zunächst muss festgehalten werden, dass die Gesellschaft in Bezug auf ihr Image der Landwirtschaft, also ihr Vorstellungsbild der Realität (*Liebert, 2009*), nicht verallgemeinert werden kann (*Helmle, 2011a*). Zu unterscheiden sind Menschen, für die Landwirtschaft nicht zu ihrer direkten Lebenswelt gehört, von denen, für die Landwirtschaft geläufig ist und die sie im Alltag wahrnehmen. Bei Erstgenannten, einem Großteil der Bevölkerung, findet wenig bis keine Kommunikation mit und über Landwirte statt und eine Darstellung ist daher rein medienvermittelt (*Zander et al., 2013*). Die alteingesessene ländliche Bevölkerung hingegen hat ein allgemein positiveres Bild von der Landwirtschaft (*Menskes, 2016*).
Der bäuerliche Familienbetrieb ist für viele über Landwirtschaft eher schlecht informierte Verbraucherinnen und Verbraucher immer noch das Idealbild (*Birner, 2012*). Ländliche Idylle in der Werbung oder auf Verpackungen landwirtschaftlich erzeugter Produkte suggeriert diese romantische Vorstellung. Sie gibt jedoch ein unrealistisches Bild landwirtschaftlicher Produktionsverfahren in der heutigen Zeit wieder (*Börner, 2012*). Kremer-Schillings (*2016*) geht noch weiter und behauptet, diese Idylle habe es so auch nie gegeben und sie sei ein Bild der Romantiker. Die verklärte Darstellung der Landwirtschaft mag das Gefühl, getäuscht zu werden, noch verstärken, wenn in den Medien von tatsächlichen oder vermeintlichen Skandalen berichtet wird. Dem Imageproblem der Landwirtschaft kann also nur durch ein

[2] Der Anteil der an der Befragung teilnehmenden Landwirtinnen betrug unter 3 %. Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird daher im Folgenden –auch in Bezug auf andere Studien- nur die männliche Form verwendet.

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

aufeinander Zugehen, eine Aufklärung von Seiten der Landwirte und eine Äußerung von Wünschen und Erwartungen auf Seiten der Gesellschaft, entgegengewirkt werden.
Das Bild der Landwirte in der Gesellschaft ähnelt sich in den Grundsätzen in den meisten aktuellen Studien (*Menskes, 2016, Zander et al., 2013, i.m.a, 2012, Helmle, 2011a*). Kritisiert werden überwiegend die durch die Medien in Diskussion gebrachten Themen rund um Lebensmittelskandale. Die Verbraucherinnen und Verbraucher sorgen sich um ihre Sicherheit, ihre Gesundheit und das Wohl von Tieren und Umwelt. Das Bild ist jedoch nicht eindeutig und zeugt von einer gewissen Ambivalenz. So wird von vielen Befragten die hohe Versorgungssicherheit hervorgehoben, und sie schätzen die Bedingungen der Lebensmittelproduktion als eher gut ein (*BMEL, 2016, i.m.a, 2012*). Doch wie ist andersherum das Bild der Landwirte von der Gesellschaft? Die an der Studie teilnehmenden Zuckerrübenanbauer wurden gefragt, was sie glauben, was der Bevölkerung an ihrer Arbeit wichtig ist und wo diese die Aufgaben der Landwirtschaft sieht.

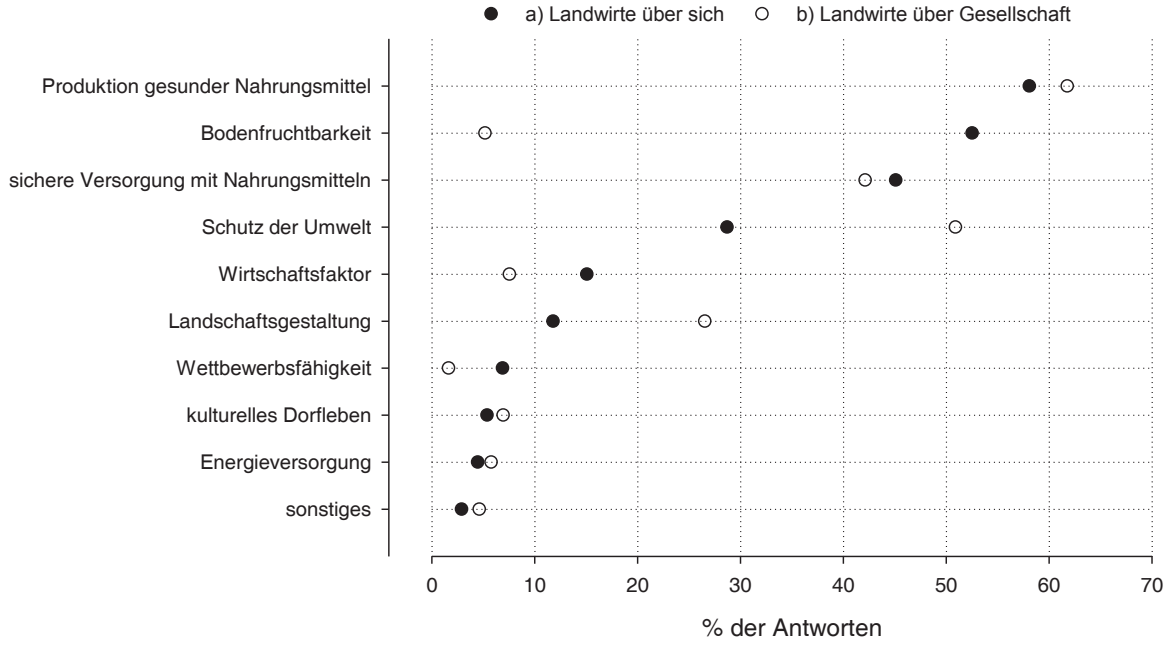

Abb. 1: Frage an die Landwirte nach a) der Wichtigkeit ihrer Aufgaben und b) der Einschätzung der Gesellschaft über die Aufgaben der Landwirtschaft, pro Frage waren jeweils 3 Antworten möglich, n = 1532, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015

Die meisten Landwirte glauben (Abb.1), dass Verbraucherinnen und Verbraucher als wichtigste Aufgabe die Produktion gesunder Nahrungsmittel sehen. Außerdem meinen die Landwirte, dass die Gesellschaft den Schutz der Umwelt als wesentlichen Teil der landwirtschaftlichen Arbeit ansieht. Die sichere Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln wurde am dritthäufigsten genannt. Wie die Landwirte die Gesellschaft in

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

Bezug auf ihr Bild von Landwirtschaft einschätzen, deckt sich also in vielen Punkten mit dem, was die Gesellschaft tatsächlich von Landwirtschaft erwartet, wie aus aktuellen Studien ersichtlich ist (*BMEL, 2016, i.m.a, 2012, Helmle, 2011b,* Abb.2).

So zählen zu den größten Wünschen an die Landwirtschaft ein verantwortungsvoller Umgang mit den Produktionsfaktoren, also auch der Schutz der Umwelt, die Produktion von Nahrungsmitteln mit hoher Qualität, die Landschaftsgestaltung und die sichere Versorgung mit Nahrungsmittel, wie eine Umfrage des i.m.a (*2012*) zeigt (Abb.2a).

Vergleicht man also die den Landwirten bei ihrer Arbeit wichtigen Aufgaben mit denen, die die Gesellschaft fordert, so wird deutlich, dass der grundlegende Tenor, nämlich die Produktion von und Versorgung mit sicheren und gesunden Lebensmitteln, gar nicht voneinander abweicht. Entscheidend ist hier offensichtlich vielmehr die Art und Weise der Produktion, die die Erfüllung bestimmter Bedürfnisse impliziert. Aus Sicht der Gesellschaft werden Attribute wie bäuerlich, familiär oder traditionell immer noch mit Natürlichkeit und Qualität verbunden (*Zander et al., 2013, Börner, 2012*). Dabei können gerade moderne Technologien helfen, die hohen Anforderungen an Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz zu erfüllen. Doch dies passt oft nicht zu dem romantischen Bild der Landwirtschaft.

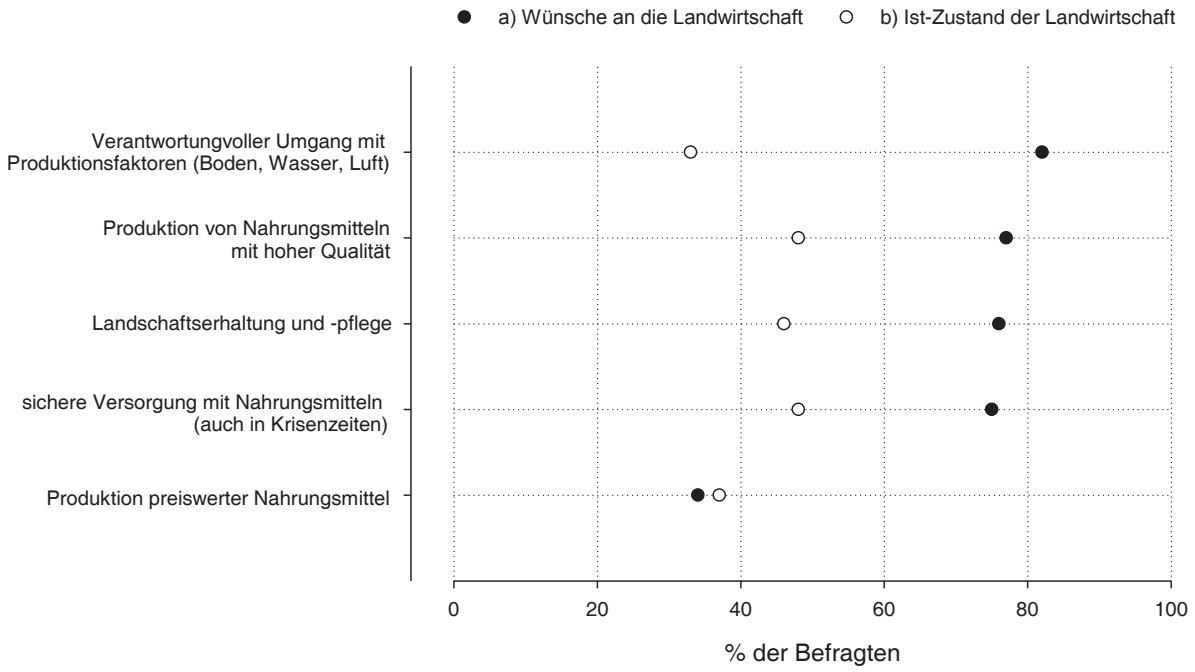

Abb. 2: Frage an die Gesellschaft nach a) den Wünschen der Eigenschaften der deutschen Landwirtschaft (Antwort: „sehr wünschenswert“) und b) dem, was auf die Landwirtschaft zutrifft (Antwort: „trifft eher zu“), n = 1000, verändert nach *i.m.a* (2012)

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

Die Landwirte selber schätzen den Schutz der Umwelt als weniger wichtige Aufgabe als den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit ein und sehen dies bei der Gesellschaft andersherum (Abb.1). Dies ist nicht verwunderlich, wo Kritik in der Bevölkerung v.a. bezüglich umweltrelevanter Themen wie dem Umgang mit Pestiziden oder der Gentechnik laut wird (*Birner, 2012, BfR, 2010*). Die Bodenfruchtbarkeit hingegen ist bei einer nachhaltigen Arbeitsweise in der Landwirtschaft ganz unbedingt anzustreben, während die Gesellschaft wohl so eingeschätzt wird, dass dieser für Außenstehende abstrakte Bereich zu sehr das Management und Know-How der Landwirte betrifft und daher für die Verbraucherinnen und Verbraucher zu fachspezifisch ist, um als wichtig wahrgenommen zu werden. Hierzu passt die Tatsache, dass Landwirte vielfach das mangelnde Verständnis der Gesellschaft für die Belange der Landwirtschaft beklagen (*agrarheute, 2011*).

Differenzen bezüglich der Wichtigkeit von Aufgaben gibt es offensichtlich im Bereich des kulturellen Wertes von Landwirtschaft, der von den Zuckerrübenanbauern als nicht sehr entscheidend eingeschätzt wird (Abb.1). Den Beitrag zum Dorfleben sehen weniger als 10 % der Landwirte für sich als wichtige Aufgabe und glauben dies auch von der Gesellschaft. Die Bevölkerung hingegen nutzt gerne und vermehrt Veranstaltungen wie Hoffeste oder Betriebsführungen (*i.m.a, 2012*). Hofläden erfreuen sich wachsender Beliebtheit, Urlaub auf dem Bauernhof hat schon lange Konjunktur (*Statista, 2016*). Wobei gerade bei diesen Gelegenheiten die Landwirtschaft von den Betreibenden selber häufig als malerisch und idealisiert dargestellt wird und vermehrt darauf geachtet werden könnte, dem romantischen Bild entgegenzuwirken. Durch das Aufzeigen der Realität können Enttäuschungen der Gesellschaft vermieden werden.

Weiterhin ist eine Einschätzung der Landwirte, dass die Gesellschaft v.a. an der Produktion preisgünstiger Lebensmittel interessiert sei, wie über 80 % der Antworten unter „sonstiges“ lautet. In den von den Zuckerrübenanbauern, die wohl repräsentativ für die Landwirtschaft allgemein, zumindest den Ackerbau, gelten können, zitierten Aussagen (z.B. „Hauptsache billig“ oder „Geiz ist geil“) schwingt ein gewisser Ärger mit. Doch die Forderung nach überwiegend günstigen Nahrungsmitteln trifft nur auf einen bestimmten Teil der Bevölkerung zu. Verbraucherinnen und Verbraucher sind vielfach bereit, für hochwertige, qualitativ einwandfreie und gesunde -oder als solches empfundene- Lebensmittel auch mehr auszugeben (*BMEL, 2016*). Viele Landwirte fragen sich jedoch, inwieweit die in Umfragen gemachten Aussagen dann auch dem Einkaufsverhalten in der Realität entsprechen (*Kremer-Schillings, 2016*). Laut einer Studie der i.m.a (*2012*) wünscht sich ein Drittel der Befragten von der Landwirtschaft die Produktion preiswerter Nahrungsmittel (Abb.2a). Ebenso meint auch ein Drittel der Befragten, dass die Landwirtschaft preiswerte Nahrungsmittel produziert (Abb.2b). In den Punkten, die die Umwelt und die sichere Versorgung mit gesunden Nahrungsmittel betreffen, weichen die Einschätzungen der Gesellschaft bzgl. dessen, was auf

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

den typischen Landwirt tatsächlich zutrifft, allerdings deutlich von den Wünschen an die Landwirtschaft ab.

Die Sichtweise der Gesellschaft ist oftmals schwer zu greifen. Ab wann ein Landwirt als „Agrarunternehmer“ und nicht mehr als „bäuerlicher Landwirt“ gilt, ist nicht an konkreten Zahlen festzumachen (*Börner, 2012*). Unklar ist, ob rein die Größe des Betriebes ausschlaggebend ist, denn auch Landwirte mit weniger ha Ackerfläche bringen die gleiche Menge oder mehr Pflanzenschutzmittel pro ha aus (Abb.3). Und Landwirte mit weniger Milchkühen halten die gleiche Anzahl Kühe pro qm.

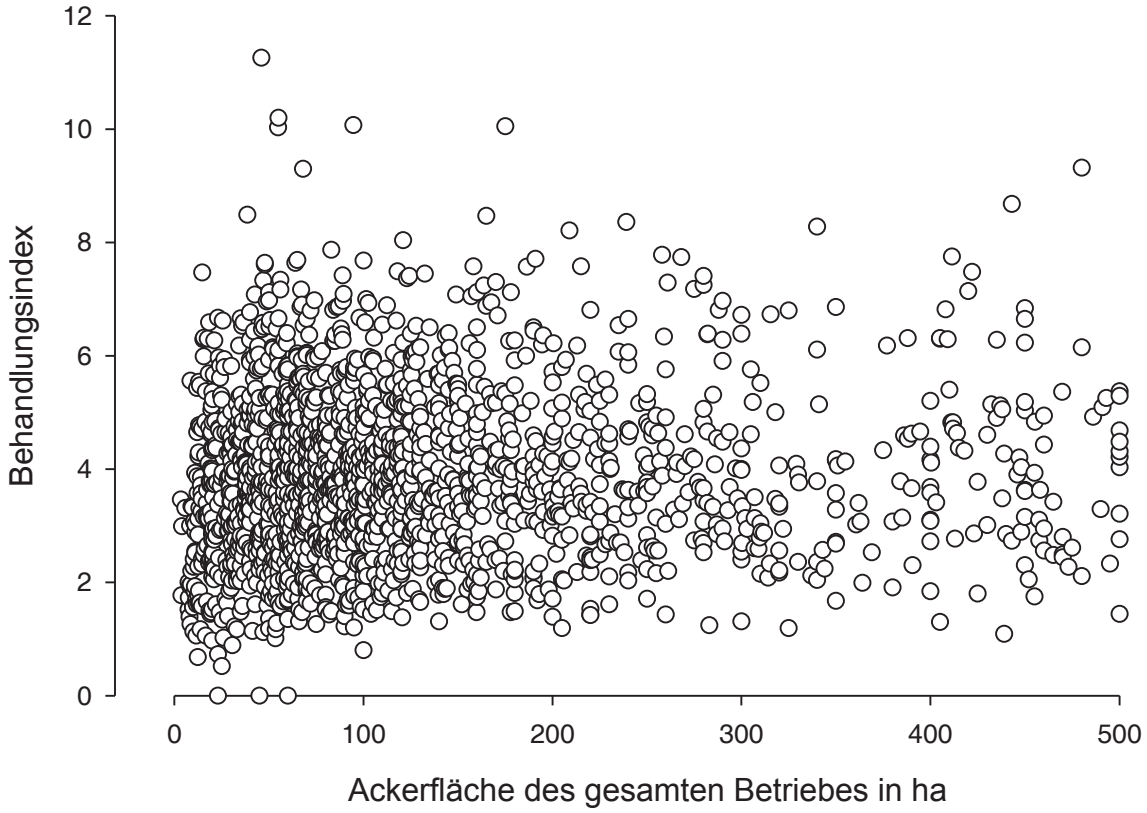

Abb. 3: Behandlungsindex in Abhängigkeit von der Gesamt-Ackerfläche des Betriebes, alle Betriebe mit einer Ackerfläche von 1-500 ha, n = 1936, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015

Die bäuerliche Landwirtschaft mag für die Verbraucherinnen und Verbraucher greifbarer und verstehbarer sein (*Schöpe, 2005*). Mit ihr werden positive Werte wie Bodenständigkeit oder Tradition und Brauchtum verbunden (*Zander et al., 2013*). In einer globalisierten Welt, in der Zusammenhänge immer komplexer werden und die Technisierung oft undurchsichtig schnell fortschreitet, wird vielfach nach einfachen und überschaubaren Lösungen gesucht. Die

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

Kontrolle soll zumindest über einen Teil des eigenen Lebens behalten werden. Hier bietet sich die Landwirtschaft als Erzeuger des täglichen Bedarfs an Lebensmitteln an. Zumal eine Vermeidung der Konfrontation mit Lebensmitteln durch die Notwendigkeit von Ernährung unausweichlich ist (*BfR, 2010*).
Diese Kluft zwischen den romantischen Vorstellungen der Konsumenten von einer bäuerlichen Landwirtschaft und der Realität muss zwangsläufig zu Konflikten führen.
Landwirte haben oft das Gefühl, sich für ihre Arbeitsweise rechtfertigen zu müssen, da ihnen nicht neutral sondern zunächst meist kritisch gegenübergetreten wird. Bzw. äußern sich größtenteils nur diejenigen Verbraucherinnen und Verbraucher, die etwas zu beanstanden haben. Die Meinung derer, die zufrieden sind, wird meist nicht direkt artikuliert, da keine Notwendigkeit einer Veränderung besteht. Die Kommunikation zwischen beiden Seiten ist daher unbedingt erforderlich. Dabei ist es einerseits wichtig, die Ängste und Sorgen der Kritiker ernst zu nehmen und Verständnis zu zeigen. Auf der anderen Seite sollten Landwirte aber selbstbewusst auftreten und nicht von vornhinein versuchen, sich zu verteidigen. Inszenierungen und Vortäuschen von Idylle führen eher zu Ablehnung (*Grossarth, 2016*). Die Vielzahl der Möglichkeiten des Informationsaustausches zwischen Landwirten und Gesellschaft ist groß (*Theuvsen & Gärtner, 2010, Langosch et al., 2015*). Ob dies durch die erwähnten Veranstaltungen passiert, in direkten Gesprächen oder durch soziale Medien, ist situationsabhängig und muss individuell angewandt werden.

Anhand von unabhängigen und repräsentativen Praxisdaten konnte in der vorliegenden Arbeit der Status Quo der nachhaltigen Produktivitätssteigerung im Zuckerrübenanbau in Deutschland gezeigt werden. Dies ist für die Diskussion mit der Gesellschaft entscheidend. Aber auch die Beratung der Landwirte kann hier Ansätze zum optimaleren Input-Output-Verhältnis, d.h. zur höheren Effizienz, finden.
Der Durchschnitt der Zuckerrübenanbauer wirtschaftet nachhaltig und effizient, wie an Beispielen einzelner Indikatoren gezeigt werden konnte (*Trimpler et al., 2017*). Dabei gibt es Landwirte, die effizienter als der größte Teil arbeiten, aber auch Ausnahmen der gegenteiligen Art. Die Landwirte wurden z.B. gebeten, Auskunft über alle Düngemaßnahmen auf dem befragten Schlag von der Ernte der Vorfrucht bis zur Ernte der Zuckerrübe zu geben. So fließen also die mineralische und organische Düngung einschließlich der Düngung zur Zwischenfrucht in die Berechnungen ein. Die mittleren 80 % der befragten Schläge liegen bei einer N-Düngung zwischen 68 kg N ha^{-1} und 242 kg N ha^{-1} (Abb.4). Es gibt Ausnahmen, bei denen über 600 kg N ha^{-1} ausgebracht wurden –begründet durch die Düngung mit Kompost. Auf der anderen Seite kommen auch solche Schläge in der Befragung vor, die gar nicht gedüngt wurden. Mit einer durchschnittlichen Menge an Stickstoff von ca. 150 kg N ha^{-1} werden

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

Zuckererträge von 5 bis über 20 t ha^{-1} erreicht. 80 % aller Schläge weisen Zuckererträge zwischen 11t ha^{-1} und 17 t ha^{-1} auf, unabhängig von der N-Versorgung.

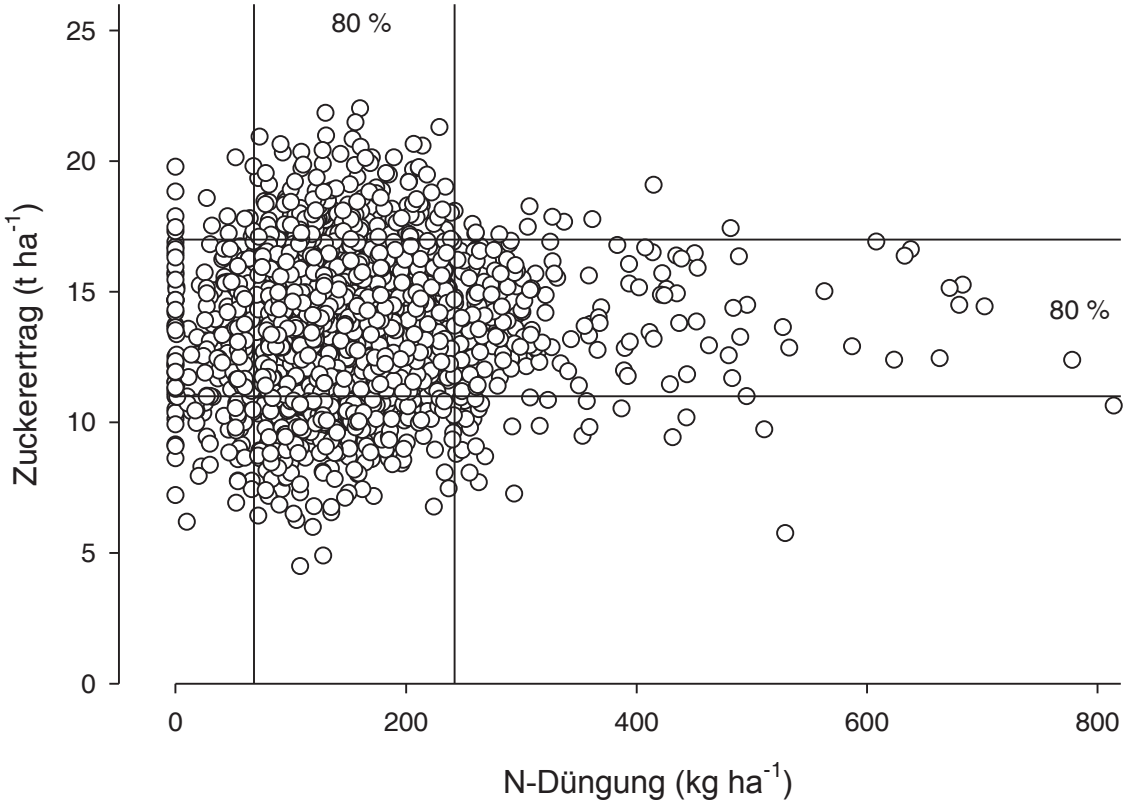

Abb. 4: Zuckerertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung (mineralisch und organisch, einschließlich der Düngung zur Zwischenfrucht), n = 2314, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015

Die Betrachtung des N-Saldos (Tab.1) zeigt, dass die mittleren 80 % der befragten Schläge ein Saldo nahe 0 aufweisen, während es bei den höchsten und niedrigsten 10 % der Schläge jeweils hohe Abweichungen weit über oder unter dem Durchschnitt gibt.

Die erhobenen Daten und Auswertungen können also dazu dienen, einerseits dem kritischen Teil der Gesellschaft ein wahres und positiveres Bild der Landwirtschaft zu liefern. Andererseits besteht für die Landwirte die Möglichkeit des Vergleichs und einer Einordung ihres Managements. Dabei sind stets die individuellen Gegebenheiten und die Diversität des Anbaus, aber auch rechtliche Vorgaben wie die Düngeverordnung zu berücksichtigen.

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

Tab. 1: N-Saldo je Schlag, n = 2314, Betriebsbefragung zur Produktionstechnik unter Zuckerrüben anbauenden Betrieben 2010–2015

Jahr	n	Mittelwert über			
		höchste 10 %	niedrigste 10 %	mittlere 80 %	alle
2010	393	235	-88	12	24
2011	395	180	-114	-6	2
2012	398	200	-91	15	23
2013	394	218	-89	13	23
2014	400	177	-128	-15	-7
2015	334	192	-104	-12	19

Es wird immer und vielleicht in Zukunft sogar vermehrt gesellschaftliche Gruppen geben, die sich auch mit wissenschaftlich nachgewiesenen Fakten nicht überzeugen lassen. Stattdessen werden sie in der Diskussion von Emotionen geleitet. Nicht umsonst wurde das Wort „postfaktisch“, was eine populistische und den Gefühlen folgende Vorgehensweise beschreibt, zum Wort des Jahres 2016 gekürt.

Ziele zu definieren, die der Gesellschaft eine Orientierung bieten, und zu zeigen, dass diese erreicht werden, kann den Landwirten helfen, die Akzeptanz für ein modernes Wirtschaften zu steigern. Maßnahmen sollten v.a. auf die Verbesserung der Glaubwürdigkeit abzielen (*Kayser et al., 2012*). Die Gesellschaft darf sich nicht ausgeschlossen oder getäuscht fühlen. Die Landwirte sollten nicht von einer grundsätzlich zu kritischen Gesellschaft ausgehen, sondern von der Tatsache, dass die meisten Verbraucherinnen und Verbraucher die gleichen Bedürfnisse haben wie sie, nämlich die nachhaltige Produktion gesunder und sicherer Nahrungsmittel unter Berücksichtigung der Interessen von Tier, Mensch und Umwelt. Dieses Konzept der nachhaltigen Entwicklung mag zukünftig stärker auf nachhaltige Produktivitätssteigerung ausgerichtet sein. In dessen Mittelpunkt steht die Steigerung der Effizienz, einschließlich der Sensibilisierung der Wahrnehmung der Gesellschaft hin zu mehr Akzeptanz.

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

Literatur

Aereboe, F., 1928: Agrarpolitik: Ein Lehrbuch. Verlagsbuchhandlung P. Parey, Berlin, Deutschland

agrarheute, 2011: Landwirte in der Gesellschaft: Mittendrin oder am Rand? http://www.agrarheute.com/news/landwirte-gesellschaft-mittendrin-rand (01.10.2016)

Bell, S., S. Morse, 2008 (2. Aufl): Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable? Earthscan, London, UK.

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung), 2010: Pflanzenschutzmittelrückstände in Lebensmitteln. Die Wahrnehmung der deutschen Bevölkerung – Ein Ergebnisbericht. BfR-Hausdruckerei Dahlem.

Biokraft-NachV, 2009: Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung)

Birner, R., 2012: Globale Entwicklungen der gesellschaftlichen Akzeptanz moderner Landwirtschaft. Landinfo 3, 19-27.

BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft), 2016: Deutschland wie es isst. Der BMEL-Ernährungsreport 2016.

Bockstaller, C., P. Girardin, 2003: How to validate environmental indicators. Agr. Syst. 76, 639-653.

Börner, V., 2012: Die ewige Sehnsucht nach der Idylle. http://www.zeit.de/2012/24/N-Power-to-the-Bauer (15.10.2016)

Boyer, J.S., 1996. Advances in drought tolerance in plants. Adv. Agron. 56, 187–218.

Boyle, P., M. Hayes, M. Gormally, C. Sullivan., J. Moran, 2015: Development of a nature value index for pastoral farmland –a rapid farm-level assessment. Ecol. Indic. 56, 31-40.

Breitschuh, G., H. Eckert, I. Matthes, J. Stümpfel, G. Bachmann, M. Herold, T. Breitschuh, U. Gernand, 2008: Kriteriensystem Nachhaltige Landwirtschaft (KSNL). Ein Verfahren zur Nachhaltigkeitsanalyse und Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. KTBL-Schrift 466, KTBL, Darmstadt.

Campbell, B. M., P. Thornton, R. Zougmoré, P. van Asten, L. Lipper, 2014: Sutainable Intensification: What is its role in climate smart agriculture? Curr. Opin. Environ. Sustainability 8, 39-43.

Christen, O., P. Deumelandt, K. Erdle, M. Packeiser, F. Reinicke, H. v. Daniels-Spangenberg, 2013: Nachhaltiger Ackerbau – Effizienz steigern, Image pflegen, Ressourcen schonen. DLG-Merkblatt 369, http://www.nachhaltige-landwirtschaft.info/fileadmin/downloads/pdf/dlg-merkblatt_369.pdf

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

DIN EN ISO 9000: 2015-11, 2015: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe, Beuth Verlag, Berlin

Dowell, G. A., S. Hart, B. Yeung, 2000: Do corporate global environmental standards create or destroy market value? Management Science, Vol. 46 (8), 1059–1074.

EU, 2009: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

FAO, Natural Resources Management and Environment Department, 2013: SAFA-Sustainability Assessment of Food and Agricultural systems-Guidelines. Version 3. Rom, Italien.

Grenz J., C. Thalmann, 2013: Internationale Ansätze zur Nachhaltigkeitsbeurteilung in Landwirtschaft und Wertschöpfungsketten. Steuerungsinstrumente für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft - Stand und Perspektiven. KTBL-Schrift 500, 23–33.

Godfray, H. C. J., T. Garnett, 2014: Food security and sustainable intensification, Phil. Trans. R. Soc. B 369: 20120273.

Gómez-Limón, J. A., G. Sanchez-Fernandez, 2010: Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. Ecol. Econ. 69, 1062-1075.

Grossarth, J., 2016: Vom Land in den Mund - Warum sich die Nahrungsindustrie neu erfinden muss. Nagel & Kimche, München.

Hajkowicz, S., 2006: Multi-attributed environmental index construction. Ecol. Econ. 57 (1), 122-139.

Hauff, V. (Hrsg.), 1987: Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, Eggenkamp, Greven.

Hayati, D., Z. Ranjbar, E. Karami, 2010: Measuring Agricultural Sustainability. In: Lichtfouse, E. (ed.): Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture, Springer.

Helmle, 2011a: Wer Landwirte kennt, urteilt positiv, Der kritische Agrarbericht 2011, 65-69

Helmle, S., 2011b: Darf es heute etwas Landwirtschaft sein? Über das Image der Landwirtschaft in Deutschland, YSA, 35-58.

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

i.m.a (information.medien.agrar e.V.), 2012: Das Image der deutschen Landwirtschaft. Ergebnisse einer Repräsentativbefragung in Deutschland. TNS Emnid, Bielefeld.

Kayser, M., J. Böhm, A. Spiller, 2012: Zwischen Markt und Moral – Wie wird die deutsche Land- und Ernährungswirtschaft in der Gesellschaft wahrgenommen? In: Balmann, A. et al. (Hrsg.): Schriften der Gesellschaft und Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. (47) 329-341.

Kremer-Schillings, W., 2016: Sauerei! Bauer Willi über billiges Essen uns unsere Macht als Verbraucher. Piper Verlag GmbH, München/Berlin.

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

Langosch, R., M. Harth, J. Kasten, K. Sinemus, 2015: Gesellschaftliche Akzeptanz der Landwirtschaft: Ansätze für die Nutzung Sozialer Medien im Interesse aktiver Imagebildung. In: Die Landwirtschaft im Spiegel von Verbrauchern und Gesellschaft. Schriftenreihe der Rentenbank, Band 31, 135-168.

Leisinger, K. M., 2008: Weltbevölkerungswachstum und Vernichtung fruchtbarer Böden. Demographische Analysen, Berlin Institut, Berlin, Deutschland

Liebert, T., 2009: Das Image der Landwirtschaft: Ist und Wege zum Soll. Systematische Differenzierungen und kommunikationsstrategische Ableitungen aus empirischen Befunden. In: Böhm, J., F. Albersmeier, A. Spiller (Hrsg.): Die Ernährungswirtschaft im Scheinwerferlicht der Öffentlichkeit, EUL Verlag, Lohmar.

Malthus, T. R., 1798: An Essay on the Principle of Population, J. Johnson, in St. Paul's Churchyard, London, UK.

Märländer, B., C. Hoffmann, H.-J. Koch, E. Ladewig, R. Merkes, J. Petersen, N. Stockfisch, 2003: Environmental Situation and Yield Performance oft he Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development, J. Agron. Crop Sci. 189, 201-226.

Masuda, K., 2016: Measuring eco-efficiency of wheat production in Japan: A combined application of life cycle assessment and data envelopment analysis, J. Clean. Prod., 126, 373-381.

Menskes, D., 2016: Neue Nachbarn sind besonders kritisch, topagrar 8, 30-34.

Meadows, D., D. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens, 1972: The Limits to Growth, Club of Rome, Universe Books, New York, USA.

Mitteldeutsche Zeitung, 2012: http://www.mz-web.de/zeitz/zeitz-buttersaeure-in-zuckerfabrik-ist-ursache-des-gestanks-7089070 (13.10.2016)

Moldan, B., S. Janoušková, T. Hák, 2012: How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. Ecol. Indic. 17, 4-13.

Nordkurier, 2014: Umweltamt sauer über Gestank aus der Zuckerfabrik. http://www.nordkurier.de/anklam/umweltamt-sauer-ueber-gestank-aus-der-zuckerfabrik-1911174711.html (13.10.2016)

Qaim, M., S. Kouser, 2013: Genetically Modified Crops and Food Security. PLoS ONE 8(6): e64879. doi:10.1371/journal.pone.0064879.

Rathke, G.-W., T. Behrens, W. Diepenbrock, 2006: Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (Brassica napus L.): A review. Agr. Ecosyst. Environ. 117, 80-108.

Reineke, H., N. Stockfisch, B. Märländer, 2013: Analysing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany, Europ. J. Agron. 45, 27-38.

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

Reytar, K., C. Hanson, N. Henninger, 2014: Indicators of sustainable agriculture: a scoping analysis. Working Paper, Installment 6 of “Creating a Sustainable Food Future”. World Resources Institute, Washington D.C., USA.Rigby, D., P. Woodhouse, T. Young, M. Burton, 2001: Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. Ecol. Econ. 39, 463-478.

Rigby, D., P. Woodhouse, T. Young, M. Burton, 2001: Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice, Ecol. Econ. 39, 463-478.

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 (4), 203-218.

Schmidheiny, S., 1992: Kurswechsel. Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt. Artemis & Winkler, München, Deutschland.

Stockfisch, N., P. Deumelandt, J. Fuchs, H. Reineke, J. U. Starcke, B. Märländer, 2008: Verbundprojekt Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau: Aufgaben und Ziele. Sugar Industry 133 (9), 573-579.

Stockfisch, N., Gallasch, M., Reineke, H., Trimpler, K., Mielke, C., Reiners, M., Risser, P., Schmitz, K., Märländer, B., 2013. Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau: Datenbasis und Basisdaten. Sugar Industry. 138, 656-663.

Schöpe, M., 2005: Die veränderte rolle der Landwirtschaft zu Beginn des 21. Jahrhunderts, ifo Schnelldienst 9, 21-26.

Statista, 2016: Umfrage in Deutschland zur Bevorzugung von Urlaub auf dem Bauernhof/Land https://de.statista.com/statistik/daten/studie/265409/umfrage/bevorzugte-urlaubsreisen-urlaub-auf-dem-bauernhof-auf-dem-land/ (16.10.2016)

Talukder, B., M. Saifuzzaman, G.W. vanLoon, 2015: suatainability of agricultural sastems in the coastal zone of Bangladeh. Renew. Agr. Food Syst. 31 (2), 148-165.

The Royal Society (Ed.), 2009. Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture. London

Theuvsen, L., S. Gärtner, 2010: Die Bedeutung von Web 2.0 für die Verbraucherkommunikation in der Ernährungswirtschaft, In: Kayser, M. et al. (Hrsg.): Die Ernährungswirtschaft in der Öffentlichkeit – Social Media als neue Herausforderung der PR. Cuvillier, Göttingen.

Trimpler, K., N. Stockfisch, B. Märländer, 2013: Stickstoff-Düngung und Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland. Sugar Industry 138, 727-736.

Trimpler, K., N. Stockfisch, B. Märländer, 2016: The relevance of N fertilization for the amount of total greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation, Eur. J. Agron. 81, 64-71.

Trimpler, K., N. Stockfisch, B. Märländer, 2017: Efficiency in sugar beet cultivation related to field history. eingereicht

Van Cauwenbergh, N., K. Biala, C. Bielders, V. Brouckaert, L. Franchois, V. Garcia Cidad, M. Hermy, E. Mathijs, B. Muys, J. Reijnders, X. Sauvenier, J. Valckx, M. Vanclooster, B. Van

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

der Veken, E. Wauters, A. Peeters, 2007: SAFE- a hierarchical framework for assessing the sustainability of agriclultural sytems, Agr. Ecosys. Environ. 120, 229-242.

Van der Werf, H., J. Petit, 2002: Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. Agr. Ecosys. Environ. 93, 131-145.

Van Passel, S., F. Nevens, E. Mathijs, G. Van Huylenbroeck, 2007: Measuring farm sustainability and explaining differences in sustainable efficiency. Ecol. Econ. 62, 149-161.

Wetterich, F, 2004: Umweltindikatorensysteme: Entwicklung und Anwendung am Beispiel der Landwirtschaft. Schriftenreihe Institut für organischen Landbau, Bonn. Verlag Dr. Köster, Berlin.

Wießner, J., N. Stockfisch, B. Märländer, 2010: Approach for determining the eco-efficiency of sugar beet cultivation in Germany, Journal für Kulturpflanzen 62 (11), 409-418.

Zander, K., F. Isermeyer, D. Bürgelt, I. Christoph-Schulz, P. Salamon, D. Weible, 2013: Erwartungen der Gesellschaft an die Landwirtschaft, Stiftung Westfälische Landwirtschaft, Braunschweig.

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

Zusammenfassung

Um zu einer nachhaltigen Entwicklung im Zuckerrübenanbau beitragen zu können, werden belastbare Daten für Beratungszwecke im landwirtschaftlichen Bereich, die Verbandsarbeit und die Forschung benötigt. Neben den agronomischen Kennzahlen zur Optimierung des Anbaus sind Daten zur Bewertung von Effizienz und Umweltwirkungen des Zuckerrübenanbaus von hoher Relevanz.

Das zentrale Ziel der vorliegenden Arbeit war es, hierfür eine repräsentative und wissenschaftlich belastbare Datenbasis zu erarbeiten und für die nachfolgende Nutzung bereitzustellen. Durch eine umfassende Datenaufbereitung und -aggregierung konnte der Status quo des Zuckerrübenanbaus in Deutschland beschrieben und analysiert werden. Somit wurde eine Grundlage für die Beratung zur Problemerkennung und zur Entwicklung von Handlungsoptionen geschaffen.

Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, eine Vergleichbarkeit zwischen den Betrieben zu schaffen und Potenziale für weitere Effizienzsteigerungen zu ermitteln, wurden einzelne Produktionsfaktoren betrachtet und für weiterführende Aussagen teilweise zu Effizienzindikatoren zusammengefasst.

Zunächst wurde der Produktionsfaktor N-Düngung als eine wichtige Anbaumaßnahme zur Ertragssicherung auf der einen und Verursacher von Treibhausgasemissionen auf der anderen Seite untersucht. In Manuskript I zeigten die Ergebnisse zur N-Düngung aus den Befragungsjahren 2010 und 2011 und aus dem Jahr 2004 annähernd ausgeglichene Bilanzsalden. Die aus den Daten errechneten Treibhausgasemissionen für den Zuckerrübenanbau lagen im Durchschnitt bei 2 t CO_2eq ha^{-1} und entsprachen somit den von der EU angenommenen Standardwerten. Aus den Kalkulationen ergab sich, dass direkte N_2O-Emissionen einen wesentlichen Anteil an der durch die N-Düngung verursachten Emissionen hatten. Ziel eines nachhaltigen Zuckerrübenanbaus muss es sein, die Auswaschungen und damit die Gefährdung der Grundwasserqualität sowie die Treibhausgasemissionen so gering wie möglich zu halten ohne die Wirtschaftlichkeit des Zuckerrübenanbaus zu beeinträchtigen.

In Manuskript II wurden die CO_2eq-Berechnungen um das Jahr 2012 ergänzt. Die Zusammensetzung von Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau zeigte deutlich, dass Emissionen durch die Produktion und Ausbringung von Düngern die Hauptquelle darstellen. Aus der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und durch den Verbrauch von Diesel resultierten weitere Emissionen. Sie wurden ins Verhältnis zum Ertrag gesetzt, um die

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

Intensität zu beschreiben. Das Wirtschaftsdüngermanagement hatte erhebliches Potenzial zur Emissionseinsparung. Durch die bei organischen Düngern fehlenden Emissionen für die Produktion von mineralischen Düngern wurden insgesamt 12 % weniger CO_2eq für diese Anbauverfahren berechnet. Da es bisher keinen Standard zur Berechnung von Treibhausgasemissionen in der Pflanzenproduktion gibt, besteht weiterhin Forschungsbedarf bei der Entwicklung von Methoden. Ein Ziel optimierter Anbauverfahren muss es dabei sein, vermeidbare Emissionen zu reduzieren.

Manuskript III bezweckt Effizienzindikatoren mit der Schlaghistorie der Flächen aus der Betriebsbefragung zu verknüpfen. Datenbasis waren die Befragungsjahre 2010–2014. Um die Schläge zu strukturieren, wurden Variablen für Umwelt, Management, also die Entscheidung über den Einsatz von Produktionsfaktoren, und Charakteristika des Betriebes verwendet und ihr Einfluss auf die Effizienz im Zuckerrübenanbau überprüft. Die anschließend durchgeführte Hauptkomponentenanalyse ergab, dass sich über 50 % der Varianz zwischen den Daten durch die gewählten Variablen Umwelt, Management und Betriebscharakteristika erklären lassen. Die standortspezifische Anpassung des Anbauverfahrens durch den Landwirt stellt eine Möglichkeit dar, Effizienzsteigerungen im Rahmen der regionalen Voraussetzungen im Sinne einer nachhaltigen Produktivitätssteigerung zu erzielen.

Die Daten aus der mehrjährigen Befragung können zukünftig genutzt werden, um Erfolge in der Entwicklung des Zuckerrübenanbaus in Deutschland, wie z.B. die Effizienzsteigerung, im politischen und gesellschaftlichen Rahmen zu kommunizieren.
Bei der Betrachtung der verschiedenen Indikatoren zeigte sich, dass vor allem im Bereich der N-Düngung weitere Verbesserungen durch eine Reduzierung der ausgebrachten Mengen erreicht werden können. Umweltwirkungen ließen sich verringern, und für den Landwirt ergäben sich Einsparungen bezüglich der Dünge- und Arbeitserledigungskosten.
Die vorliegende Arbeit erweitert die Grundlage für eine effiziente und fachlich qualifizierte Beratung und unterstützt die Umsetzung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung unter Berücksichtigung der regionalen und betriebsspezifischen Gegebenheiten.

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

Summary

In order to contribute to a sustainable intensification in sugar beet cultivation, reliable data for the purposes of consulting in the agricultural sector, for association work and for research are increasingly needed. Among the agronomical characteristics to optimize the cultivation practices, data for the evaluation of efficiency and environmental impacts in sugar beet cultivation are highly relevant.

The aim of the present study was to develop a representative and scientifically reliable database and to provide it for future use. Based on a comprehensive preparation and aggregation of the data, the status quo of sugar beet cultivation in Germany could be described and analyzed. Thus, a solid basis for the task of consulting concerning the identification of problems and development of options for actions was established.

Individual production factors were considered in order to guarantee transparency, to allow comparability between farms and to identify potentials for further increases in efficiency. For further statements, they were partly summarized to efficiency indicators.

Initially, the production factor N fertilization was analyzed in detail as –on the one hand- an important agricultural measure to stabilize crop yield and –on the other hand- a producer of greenhouse gases. In Manuscript I the results related to N fertilization in the years 2010 and 2011 and the year 2004 showed an almost balanced supply of nitrogen. The greenhouse gas emissions for sugar beet cultivation calculated from the farm data averaged 2 t CO_2eq ha^{-1} and, thus, corresponded to the EU default values. The calculations showed that direct N_2O-emissions were largely responsible for the emissions produced from N fertilization. Aim of a sustainable sugar beet cultivation must be to minimize the risk of harming groundwater quality and to reduce greenhouse gas emissions without affecting the economic efficiency of sugar beet cultivation.

In Manuscript II the calculations of CO_2eq-emissions were extended to include the data of the year 2012. The composition of greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation showed that production and application of fertilizers were the main sources of emissions. Further emissions were caused by the application of pesticides and by the use of diesel. The emissions were related to the yield to describe intensity. The fertilization with organic fertilizers offered a huge potential to reduce emissions. As there are no emissions included for the production of organic fertilizers, the emissions were reduced by 12% compared to emissions from mineral fertilizers. So far, there exists no official agreement for calculating greenhouse gas emissions

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

in crop cultivation and there is still need for developing these methods. The reduction of avoidable emissions has to be one of the main aims of optimizing cultivation practices.

In Manuscript III the efficiency indicators in sugar beet cultivation were linked to the field´s history. The database consists of the years 2010–2014. In order to structure the fields, variables were used for environment, management -in the meaning of the decision about the use of production factors- and characteristics of the farm. Their impact on efficiency in sugar beet cultivation was verified. The following principal component analysis showed that over 50% of the variability between the data could be explained by the selected variables environment, management and farm characteristics. The site-specific adaption of the farmer´s cultivation practices provides an opportunity to increase efficiency in a sense of sustainable intensification within the regional conditions.

The multi-year dataset presented in this study can be used to communicate future achievements in sugar beet cultivation in Germany, such as the increase in efficiency, in the context of political and social framework.
By looking at the different indicators it became obvious that improvements are possible especially in the field of N fertilization by reducing the amount of applied N. Environmental impacts could thus be decreased, and farmers would benefit from reduced working time and costs for fertilizer and diesel.
This study extends the basis for efficient and professionally qualified consulting and supports the implementation of measures to achieve increases in efficiency considering regional and farm-specific realities.

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

Weitere Veröffentlichungen während der Promotion

Manuskripte

Stockfisch, N., M. Gallasch, H. Reineke, K. Trimpler, C. Mielke, M. Reiners, P. Risser, K. Schmitz, B. Märländer, 2013: Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau: Datenbasis und Basisdaten. Sugar Industry 138 (10), 656-663

Trimpler, K., N. Stockfisch, 2017: Vielfältige Fruchtfolgegestaltung bei Zuckerrüben, Zuckerrübe, 66 (1), 35-37

Hauer-Jákli, M, N. Nause, K. Trimpler, N. Stockfisch, B. Märländer, 2017: CONVISO®ONE – Ansätze für eine Systemanalyse der Herbizidstrategie. Sugar Industry 142 (12), 704-712

Tagungsbeiträge

Trimpler, K., H. Reineke, N. Stockfisch, 2011: CO_2-Freisetzungen und Energieaufwendungen im Zuckerrübenanbau: Einfluss der N-Düngung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 23, 206

Trimpler, K., H. Reineke, N. Stockfisch, 2012: The influence of nitrogen fertiliser application on CO_2eq-emissions in sugar beet production. 73rd IIRB Congress, Brüssel

Trimpler, K., N. Stockfisch, 2014: Einfluss der Düngeform auf die Höhe der CO_2eq-Emissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 26, 122–123

Oberländer, A., K. Trimpler, N. Stockfisch, 2014: Ausbringungstechnik flüssiger organischer Dünger in Zuckerrüben. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 26, 272–273

Trimpler, K., N. Stockfisch, 2014: N_2O emissions resulting from N fertiliser application in sugar beet cultivation. 74th IIRB Congress, Dresden

Koch, H.-J., K. Trimpler, N. Stockfisch, 2017: Einfluss von Anbauhäufigkeit und Vorfrucht auf den Ertrag von Zuckerrüben – Ergebnisse aus Betriebsbefragung und Systemversuch Fruchtfolge des IfZ. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 29, 78–79

Vorträge

Trimpler, K., 2013: Daten zur N-Düngung aus der Praxis: Treibhausgasemissionen und nachhaltige Entwicklung. 11. Göttinger Zuckerrübentagung, 05.Sept. 2013, Göttingen

Trimpler, K., 2014: Einfluss der Düngeform auf die Höhe der CO_2eq-Emissionen im Zuckerrübenanbau in Deutschland. 57. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V., 16.-18. Sept. 2014, Wien

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

Lebenslauf

Kerrin Birte Trimpler

geboren am 11.11.1978 in Kiel

Ausbildung

2010–2017	Promotionsstudium der Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität Göttingen
2002–2006	Studium der Geographie an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Magistra Artium
2001–2002	Studium der Geographie an der Université de la Réunion, Frankreich
1999–2001	Studium der Geographie an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg
1998	Abitur an der Jungmannschule Eckernförde

beruflicher Werdegang

2010–2015 sowie seit 2016	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen, Abtl. Systemanalyse
2008–2010	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen, Abtl. Kommunikation und Verwaltung
2007–2008	Assistenz der Geschäftsführung bei Kölla Hamburg Overseas GmbH & Co. KG, Hamburg

Sonstiges

1998–1999	Europäischer Freiwilligendienst in Genua, Italien

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

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Bernward Märländer danke ich herzlich für die Möglichkeit zur Promotion am Institut für Zuckerrübenforschung, darüber hinaus für die gute Erreichbarkeit und für motivierende Worte, wenn es mal nicht so lief. Die Möglichkeit zur Teilnahme an diversen Fachtagungen und Exkursionen hat mein Wissen über das Thema der Promotion hinaus erweitert.
Herrn Prof. Dr. Ludwig Theuvsen möchte ich für die bereitwillige Übernahme des Korreferates danken.
Herrn Prof. Dr. Werner Wahmhoff danke ich für die freundliche Bereitschaft der Übernahme der Drittprüferschaft. Während meiner Doktoranden-Zeit am IfZ habe ich seinen Prüfungen als Beisitzerin immer sehr gerne beigewohnt.
Mein besonderer Dank gilt Dr. Nicol Stockfisch für ein immer offenes Ohr und die produktive Zusammenarbeit, für anregende Gespräche und Diskussionen, für wertvolle Tipps bei der Erstellung der Manuskripte und Vorträge, für ihr Verständnis und ihre Flexibilität. Darüber hinaus danke ich ihr, mir die Landwirtschaft und ihre vielen Facetten so nah gebracht zu haben.
Für die angenehme Zeit in ihrer Abteilung vor Beginn der Promotion und für die Anregung und Motivation für eben diese danke ich Dr. Maria Niemann.
Vielen lieben Dank an Dr. Stefanie Kluth für eine abwechslungsreiche Zeit beim IIRB und eine überaus angenehme Arbeitsatmosphäre, für spannende Erfahrungen auf den Kongressen und die folgende gemeinsame Zeit im Dachgeschoss.
Den über die Jahre wechselnden Personen aus der Arbeitsgruppe Betriebsbefragung, Dr. Heinrich Reineke, Markus Gallasch, Regina Lampenscherf, Amelie Oberländer, Dr. Nelia Nause, Dr. Melanie Hauer-Jákli und Dr. Christel Roß, danke ich für die gute Zusammenarbeit und den Austausch, der letztendlich immer zu einer Lösung aller großen und kleinen Probleme führte.
Meinen Mitdoktoranden über die ganzen Jahre vielen Dank für die unterhaltsame Zeit.
Allen Kolleginnen und Kollegen des IfZs gilt mein Dank für das äußerst familiäre Arbeitsklima, die Hilfe bei allen administrativen Fragen, für das Gegenlesen von Texten, den einen oder anderen fachlichen Gedankenaustausch (hier v.a. lieben Dank an Dr. Anna Jacobs und Dr. Christine Kenter) und so manch unterhaltsame Pause.
Meinem lieben Ekki ein ganz besonders herzliches Dankeschön für ein unschlagbares Teamwork in Sachen privater Organisation, das mir die ein oder andere Stunde ungestörten Arbeitens ermöglichte.
Meinen Eltern danke ich von ganzem Herzen für ihr uneingeschränktes Vertrauen in mich und meine Vorhaben, ihre Geduld und ihre fortwährende Unterstützung in jeglicher Hinsicht.

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

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

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