

Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Wiebke Brauer-Siebrecht

**Zuckerrüben und Silomais
in Fruchtfolgen mit Winterweizen**

—
Ertrag, Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz

53/2018



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Zuckerrüben und Silomais in Fruchtfolgen mit Winterweizen

—

Ertrag, Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz





Zuckerrüben und Silomais in Fruchtfolgen mit Winterweizen

—

Ertrag, Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz

Dissertation

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

vorgelegt von

Wiebke Brauer-Siebrecht

geboren in Hildesheim

Göttingen, Februar 2017



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, 2018

Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2017

D 7

1. Referent: Prof. Dr. Bernward Märländer

2. Korreferent: Prof. Dr. Werner Wahmhoff

3. Prüfer (Disputation): Prof. Dr. Klaus Dittert

Tag der mündlichen Prüfung: 27.01.2017

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2018

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, 2018

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9716-5

eISBN 978-3-7369-8716-6



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Publikationen.....	II
Kapitel 1: Prolog.....	1
Kapitel 2: Silage Maize and Sugar Beet for Biogas Production in Rotations and Continuous Cultivation: Dry Matter and Estimated Methane Yield	13
Kapitel 3: Stickstoffauswaschung als umweltrelevanter Wirkungspfad beim Anbau von Silomais und Zuckerrüben in unterschiedlichen Fruchtfolgen mit Winterweizen	33
Kapitel 4: Intensität und Risiko des chemischen Pflanzenschutzes beim Anbau von Zuckerrüben, Silomais und Winterweizen in Fruchtfolgen	53
Epilog	83
Zusammenfassung.....	95
Summary	99
Weitere Beiträge im Rahmen der Promotion	103
Danksagung	105
Lebenslauf.....	107

Publikationen

Folgende Manuskripte der vorliegenden kumulativen Dissertation wurden bereits publiziert oder sind für eine Publikation angenommen und in Überarbeitung:

BRAUER-SIEBRECHT, W., A. JACOBS, O. CHRISTEN, P. GÖTZE, H.-J. KOCH, J. RÜCKNAGEL, B. MÄRLÄNDER, 2016: Silage maize and sugar beet for biogas production in rotations and continuous cultivation: dry matter and estimated methane yield. *Agronomy* 6, 2; doi:10.3390/agronomy6010002.

BRAUER-SIEBRECHT, W., A. JACOBS, H.-J. KOCH, B. MÄRLÄNDER, 2015: Stickstoffauswaschung als umweltrelevanter Wirkungspfad beim Anbau von Silomais und Zuckerrüben in unterschiedlichen Fruchtfolgen mit Winterweizen. *Sugar Industry* 140, 767-774.

BRAUER-SIEBRECHT, W., A. JACOBS, H.-J. KOCH, J. STRASSEMAYER, B. MÄRLÄNDER: Intensität und Risiko des chemischen Pflanzenschutzes beim Anbau von Zuckerrüben, Silomais und Winterweizen in Fruchtfolgen. *Journal für Kulturpflanzen*, angenommen mit umfangreicher Überarbeitung.



Kapitel 1

Prolog

Prolog

Biomasse als erneuerbare Energie

Die Europäische Union (EU) hat das Ziel formuliert, den Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch der EU-Länder bis 2020 auf 20 % zu erhöhen (EU, 2009a). Um dieses Ziel auch auf nationaler Ebene umzusetzen, wurden die Mitgliedsstaaten aufgefordert nationale Biomasseaktionspläne zu erstellen. Der Nationale Biomasseaktionsplan für Deutschland wurde entsprechend im Jahr 2009 veröffentlicht und fokussiert darauf, die gesetzten Ziele möglichst effizient und nachhaltig zu erreichen (BMU und BMELV, 2009). Als Kriterien werden u. a. der Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen, der Beitrag zum Erhalt der Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit und Gewässerschutz sowie die Berücksichtigung von Nutzungskonkurrenzen, im Besonderen zur Nahrungsmittelerzeugung und der stofflichen Nutzung von Biomasse, genannt (BMU und BMELV, 2009). Im Jahr 2015 lag der Anteil des aus erneuerbare Energien erzeugten Stroms und Wärme in Deutschland bei 33 % bzw. 13 % (FNR, 2016). Die derzeitigen Ziele verfolgen eine Erhöhung des Strom- und Wärmeanteils aus erneuerbaren Energien auf 40-45 % bis 2025 (ANONYMUS, 2016) bzw. 14 % bis 2020 (ANONYMUS, 2008). Zudem soll der Anteil des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien, im Jahr 2015 noch bei 13 %, bis zum Jahr 2020 auf 18 % ansteigen (ANONYMUS, 2016; FNR, 2016).

Als erneuerbarer Energieträger nimmt – neben der Windenergie, der Solarenergie, den biogenen Abfällen, der Wasserkraft und der Geothermie – die Biomasse den größten Anteil am Primärenergieverbrauch ein (FNR, 2016). Neben dem Nationalen Biomasseaktionsplan gab es in Deutschland bereits im Jahr 2000 das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zur Förderung des Stroms aus erneuerbaren Energieträgern (ANONYMUS, 2000). Von der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien aus Biomasse wird ein Großteil durch Biogasanlagen erzeugt (FNR, 2016).

Zuckerrüben und Silomais als Biogassubstrat

Als wichtiges Kriterium eines nachhaltigen Energiepflanzenanbaus für die Biogasproduktion gilt der Flächenertrag, da die landwirtschaftliche Nutzfläche begrenzt ist (HOFFMANN und STOCKFISCH, 2010; TILMAN et al., 2002). Somit eignen sich, neben der stofflichen Zusammensetzung, besonders Kulturarten, die einen hohen Trockenmasseertrag pro Hektar generieren können. Auch die Wahl eines hoch produktiven Standortes wirkt sich positiv auf die Höhe des Ertrages und den Flächenbedarf aus. Bei Betrachtung des Gesamtanteils der Nachwachsenden Rohstoffe als Substrat für Biogasanlagen betrug der massebezogene Anteil von Maissilage im Jahr 2014 73 % (DBFZ, 2015; FNR, 2016) und stellt damit das Hauptbiogassubstrat aus Biomasse dar (BAUER et al., 2010; BRITZ und DELZEIT, 2013). Die Vorteile des Silomais als Substrat für die Biogasproduktion sind der hohe Trockenmasseertrag (GRAB et al., 2013) sowie die Praktikabilität des Anbau- und Konservierungsverfahrens (SCHITTENHELM, 2008). In 2015 wurden 35 % des gesamten Maisanbaus in Deutschland als Substrat für die Biogaserzeugung verwendet (FNR, 2016). In der öffentlichen Wahrnehmung wird jedoch von einer Vermaisung der Landschaft gesprochen, da sich die Anbaukonzentration in einigen Anbaugebieten stark ausgeweitet hat. Im Fokus sind hier vor allem Anbaugebiete, in denen auch vorher schon vermehrt Silomais kultiviert wurde (HERRMANN, 2013). Die gesellschaftliche Akzeptanz dieser hohen Anbaukonzentration, verbunden mit einer Veränderung des Landschaftsbildes, ist entsprechend gering. Begründet werden kann dies unter anderem dadurch, dass aufgrund der Selbstverträglichkeit von Silomais teilweise Daueranbau mit entsprechenden Auswirkungen auf die Biodiversität auf Feldebene betrieben wird (MALÉZIEUX et al., 2009; SAUERBREI et al., 2014; WALDHARDT et al., 2011). Um dem entgegenzuwirken, werden alternative Energiepflanzen benötigt.

Als alternative Kulturart werden Zuckerrüben genannt, die einerseits einen hohen Trockenmasseertrag erreichen können und aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung hervorragend als Substrat für die Biogasproduktion geeignet sind (HARTUNG und OHL, 2012; STARKE und HOFFMANN, 2011; WEILAND, 2010). Vor allem in der landwirtschaftlichen

Fachpresse wurden diese Aspekte in der Vergangenheit vielfach positiv erwähnt (z. B. AUGUSTIN, 2008; JECHE und SCHAFFNER, 2013). Im Jahr 2014 betrug der massebezogene Anteil von Zuckerrüben am Gesamtanteil der nachwachsenden Rohstoffe in Biogasanlagen lediglich 2 % (DBFZ, 2015; FNR, 2016). Anders als Silomais werden Zuckerrüben vorrangig in Fruchtfolgen mit Wintergetreide angebaut (STOCKFISCH et al., 2013). Vor allem in solchen Anbauregionen können Zuckerrüben in Fruchtfolgen als Biogassubstrat mit positiven Auswirkungen auf die Biodiversität eine Alternative zu Silomais im Daueranbau darstellen (SIELING et al., 2013; WALDHARDT et al., 2011). In zahlreichen Studien konnte bereits die Vorzüglichkeit von Silomais als Biogassubstrat, im Hinblick auf hohe Methanhektarerträge, gezeigt werden (z. B. AMON et al., 2007; GRAß et al., 2013; SIELING et al., 2013). Weiterhin beschäftigen sich auch einige dieser Studien mit der Bewertung ganzer Fruchtfolgen (z. B. AMON et al., 2007; SIELING et al., 2013). Jedoch wurden keine belastbaren Daten bezüglich eines direkten Vergleichs der Methanhektarerträge von Zuckerrüben und Silomais in Fruchtfolgen auf hoch produktiven Standorten veröffentlicht. Somit ist bisher unklar, ob Zuckerrüben auch in Bezug auf den Methanhektarertrag eine sinnvolle Alternative zu Silomais als Biogassubstrat darstellen.

Umweltwirkungen durch Stickstoffdüngung

Für das Erreichen hoher Flächenerträge ist Stickstoff der am stärksten limitierende Nährstoff. Allerdings kann eine zu hohe Stickstoffzufuhr zu Umweltwirkungen wie der Eutrophierung und Verunreinigung von Gewässern führen, sodass auch die menschliche Gesundheit deutlich beeinträchtigt werden kann (EU, 1991; TILMAN et al., 2002). Einflussfaktoren auf die Stickstoffauswaschung sind unter anderem die Witterung, der Bodentyp und das Anbausystem (KIRCHMANN et al., 2002). Da Stickstoffauswaschungen hauptsächlich von Ende September bis Anfang April auftreten (VOS und VAN DER PUTTEN, 2004), sind insbesondere der mineralisierte Stickstoffvorrat im Boden vor Winter, beeinflusst durch Stickstoffzufuhr und -entzug der Vorfrucht, sowie der Verbleib von Stickstoff durch Ernterückstände und das C:N-Verhältnis der Ernterückstände als Einflussfaktoren zu nennen (KUMAR und GOH, 2000). Um den Forderungen der Europäischen Union bezüglich einer

Verminderung der Nitrat-Verunreinigung, dargelegt in der Nitrat-Richtlinie (EU, 1991), nachzukommen, dient in Deutschland als rechtlicher Rahmen die Düngeverordnung. Diese regelt unter anderem, dass der betriebliche Nährstoffvergleich (Stickstoffbilanz) im gleitenden Mittel von drei Düngejahren $60 \text{ kg Stickstoff ha}^{-1}$ betragen muss. Bei Einhaltung dieses Mittels kann von einer bedarfsgerechten Düngung ausgegangen werden (ANONYMUS, 2007).

Während beispielsweise der Anbau von Winterweizen oder der Zwischenfrucht Senf dazu beitragen kann, dass das Risiko von Stickstoffauswaschungen über den Winter sinkt (THORUP-KRISTENSEN und NIELSEN, 1998), erfolgt dagegen die Stickstoffdüngung bei den Reihenkulturen Zuckerrüben und Silomais zur Aussaat (BENKE, 2014; LEHRKE, 2014). Dies bewirkt, dass die Gefahr für Stickstoffauswaschungen in frühen Wachstumsphasen von Zuckerrüben und Silomais durch Starkregenereignisse steigt. Die Fruchtfolge nimmt aufgrund der Stickstoffdynamik von Vor- und Folgefrüchten daher eine besondere Rolle ein, sodass die Bewertung gesamter Anbausysteme im Kontext der Stickstoffbilanz und -auswaschung wichtig ist. Durch Modelle, wie z. B. DAISY, MONICA (Model of Nitrogen and Carbon dynamics in Agro-ecosystems) und NDICEA (Nitrogen Dynamics in Crop rotations in Ecological Agriculture), ist es möglich die Stickstoffauswaschung, auch für Fruchtfolgen, zu ermitteln (HANSEN et al., 1991; NENDEL, et al., 2011; VAN DER BURGT et al., 2006). Jedoch liegt ein direkter Vergleich auf Feldversuchsebene von Zuckerrüben und Silomais in Fruchtfolgen mit Winterweizen auf hoch produktiven Standorten bisher nicht vor.

Umweltwirkungen durch Pflanzenschutzmitteleinsatz

Neben der Stickstoffdüngung trägt auch der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel zur Ertragssicherung bei (BMEL, 2013; COOPER und DOBSON, 2007; GUMMERT et al., 2014). Dieser sollte immer unter den Gesichtspunkten des Integrierten Pflanzenschutzes vollzogen werden. Dabei wird eine Kombination von nicht-chemischen und chemischen Maßnahmen, bestehend aus biologischen, pflanzenzüchterischen und anbau- und kulturtechnischen Anwendungen gefordert (ANONYMUS, 2012). Die Fruchtfolge kann hier als wesentliche Maßnahme zur Ertragssicherung dienen (BÖHM, 2014). Weiterhin ist das Ziel, den