

Welche Wege kann Biomasse gehen?

Eine inter- und transdisziplinäre Sicht
auf nachwachsende Rohstoffe
am Beispiel von *Miscanthus x giganteus*

von Markus Schorling

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Schorling, Markus:

Welche Wege kann Biomasse gehen? - Eine inter- und transdisziplinäre Sicht auf nachwachsende Rohstoffe am Beispiel von *Miscanthus x giganteus*
ISBN 978-3-86376-157-8

Alle Rechte vorbehalten

1. Auflage 2016

© Optimus Verlag, Göttingen

© Coverfoto: Markus Schorling

Coverdesign & Textlayout: Dipl.-Kfm. Alexander Mostafa

URL: www.optimusverlag.de

Printed in Germany

Papier ist FSC zertifiziert (holzfrei, chlorfrei und säurefrei,
sowie alterungsbeständig nach ANSI 3948 und ISO 9706)

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes in Deutschland ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Für Evi und Maja

Danksagung

Die Arbeit wäre ohne die große Unterstützung, die ich von verschiedenen Seiten erfahren habe, nicht möglich gewesen. Dafür möchte ich mich besonders bedanken bei:

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Landwirtschaft und Pflanzenzüchtung des Forschungsschwerpunkts Biotechnik, Gesellschaft und Umwelt (FSP BIOGUM), insbesondere bei Prof. Dr. Volker Beusmann, Dr. Susanne Stirn und Nina Mitra.

Aus der Arbeit gingen drei Diplomarbeiten, zwei Masterarbeiten, eine Bachelorarbeit und sechs Projektarbeiten aus unterschiedlichen Studiengängen hervor, die die Arbeit maßgeblich vorangetrieben und unterstützt haben. Daher bedanke ich mich bei Sina Bohnec, Isabell Bruns, Christopher Enders, Karolin Hildebrandt, Fabian Mottl, Michael Renner, Melina Rother, Julie Marie-Claire Sellau, Christian Sinz, Christin Steinke, Christoph Wahmhoff und Charlotte Wintgens.

Für die erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit bedanke ich mich bei Prof. (jun.) Dr. Christian Voigt (Arbeitsgruppe CallBio der Abteilung Molekulare Phytopathologie der Universität Hamburg), Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt und Dr.-Ing. Jana Weinberg (Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft der Technischen Universität Hamburg-Harburg), Dr. Olaf Conrad (Arbeitsgruppe Geosystemanalyse des Instituts für Geographie der Universität Hamburg) und Dr. Florian Lottermoser (Fachbereich Sozialwissenschaften der Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Universität Hamburg).

Für den wertvollen Input aus der Praxis bedanke ich mich bei Dr. Anke Boisch (Stadtreinigung Hamburg, Abteilung Ressourcenwirtschaft und Technik) und Ihrem Team sowie den Landwirten Marc Hansen, Holger Heitmann und Hinrich Poppe. Ebenso bei dem Landesverband der Maschinenringe Schleswig-Holstein und den Bauernverbänden Dithmarschen, Flensburg, Herzogtum Lauenburg, Husum-Eiderstedt, Ostholstein-Lübeck, Pinneberg, Plön, Rendsburg-Eckernförde, Schleswig, Segeberg, Steinburg, Stormarn und Südtondern sowie den Teilnehmern des Workshops.

Für die Bereitstellung von digitalen Daten und Karten bedanke ich mich bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie beim Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein. Für die Finanzierung der Arbeiten bedanke ich mich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); FKZ 0315521A (CallBio) sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Gliederung

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis..... | VIII |
| Abkürzungsverzeichnis | IX |
| Kurzdarstellung..... | 1 |
| Abstract | 2 |
| 1. Einleitung | 3 |
| 2. Systemanalyse | 7 |
| 2.1. Erneuerbare Energien – aus Alt mach Neu..... | 8 |
| 2.2. Beiträge verschiedener Primärenergieträger..... | 12 |
| 2.3. Nachwachsende Rohstoffe..... | 14 |
| 2.3.1. Entschärfung der Flächenkonkurrenz | 18 |
| 2.3.2. Entschärfung des Problems der einseitigen Ausrichtung | 21 |
| 2.4. <i>Miscanthus x giganteus</i> als nachwachsender Rohstoff..... | 24 |
| 2.4.1. Nutzungspfade | 28 |
| 2.4.2. Boden- und Klimabedingungen | 31 |
| 3. Material & Methoden | 33 |
| 3.1. Flächenpotenzialanalyse | 35 |
| 3.1.1. Datenmaterial | 36 |
| 3.1.2. Bodendaten..... | 37 |
| 3.1.2.1. Bodenübersichtskarten..... | 39 |
| 3.1.2.2. Digitales Geländemodell..... | 39 |
| 3.1.3. Klimadaten | 40 |
| 3.1.4. Datenanalyse und Funktionen..... | 40 |
| 3.2. Ökobilanzierungen | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.1. Methodik der Ökobilanz | 43 |
| 3.2.2. Ziel und Untersuchungsrahmen | 45 |
| 3.2.2.1. Ziel | 45 |
| 3.2.2.2. Untersuchungsrahmen..... | 45 |
| 3.2.3. Sachbilanz | 46 |
| 3.2.4. Wirkungsabschätzung | 46 |
| 3.2.4.1. Anthropogener Treibhauseffekt..... | 46 |
| 3.2.4.2. Emissionen mit versauernder Wirkung | 47 |
| 3.2.4.3. Kumulierter Energieaufwand..... | 47 |
| 3.2.5. Auswertung | 47 |
| 3.3. Stakeholder-Beteiligung..... | 48 |
| 3.3.1. Stellungnahmen und Gutachten politischer Beiräte | 49 |
| 3.3.2. Befragung „Energielandwirte“..... | 50 |
| 3.3.3. Forenanalyse | 52 |
| 3.3.3.1. Auswahl der Foren..... | 53 |
| 3.3.3.2. Auswahl und Auswertung der Beiträge..... | 55 |
| 3.3.4. Expertenworkshop | 58 |
| 4. Ergebnisse | 61 |
| 4.1. Flächenpotenzialanalyse | 61 |
| 4.1.1. Boden- und Klimabedingungen | 61 |
| 4.1.2. Szenarien..... | 63 |
| 4.1.3. Vertiefende Betrachtung eines Bundeslandes (Schleswig-Holstein)..... | 66 |
| 4.1.3.1. Boden- und Klimabedingungen..... | 66 |
| 4.1.3.2. Flächenpotenzialanalyse für Schleswig-Holstein - Szenarien.... | 67 |
| 4.1.3.3. Weitere Möglichkeiten des Geoinformationssystems | 69 |
| 4.2. Ökobilanzierungen | 75 |
| 4.2.1. Anbau und Bereitstellung von <i>Miscanthus x giganteus</i> | 75 |
| 4.2.1.1. Treibhausgasemissionen | 75 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.1.2. Emissionen mit versauernder Wirkung | 77 |
| 4.2.1.3. Kumulierter Energieaufwand..... | 78 |
| 4.2.2. Energetische Nutzung von <i>Miscanthus x giganteus</i> | 79 |
| 4.2.2.1. Treibhausgasemissionen | 79 |
| 4.2.2.2. Emissionen mit versauernder Wirkung | 83 |
| 4.2.2.3. Kumulierter Energieaufwand..... | 85 |
| 4.3. Stakeholder-Beteiligung..... | 88 |
| 4.3.1. Stellungnahmen und Gutachten politischer Beiräte | 88 |
| 4.3.2. Befragung von „Energielandwirten“ im Bundesland Schleswig-Holstein | 91 |
| 4.3.3. Forenanalyse | 96 |
| 4.3.3.1. Übersicht | 96 |
| 4.3.3.2. Anbau | 97 |
| 4.3.3.3. Verwendung | 98 |
| 4.3.3.4. Wirtschaftlichkeit..... | 99 |
| 4.3.3.5. Wirkung und Vorhersehbarkeit | 100 |
| 4.3.4. Expertenworkshop | 102 |
| 5. Diskussion | 103 |
| 5.1. Fossile Energieträger: eine begrenzte Ressource – ungleich verteilt und problematisch im Einsatz..... | 103 |
| 5.2. Nachwachsende Rohstoffe im Portfolio der erneuerbaren Energien | 105 |
| 5.2.1. Stromsektor | 105 |
| 5.2.2. Wärmesektor | 108 |
| 5.2.3. Verkehrssektor | 109 |
| 5.2.4. Stoffliche Nutzung | 113 |
| 5.3. <i>Miscanthus x giganteus</i> | 115 |
| 5.3.1. Anbau | 116 |
| 5.3.2. Nutzung..... | 119 |

| | |
|---|------------|
| 6. Zusammenfassung..... | 123 |
| 7. Literatur..... | 127 |
| 8. Anhang | 151 |
| 8.1. Anhang 1: Fragebogen Energielandwirte Schleswig-Holstein..... | 151 |
| 8.2. Anhang 2: Einladung zum Expertenworkshop „Welchen Weg wird Biomasse gehen?“ | 156 |
| 8.3. Anhang 3: Programm zum Expertenworkshop „Welchen Weg wird Biomasse gehen?“ | 158 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1 | Gesetzliche Grundlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse..... | 12 |
| Abbildung 2 | Struktur des Energieverbrauchs in Deutschland 2014..... | 13 |
| Abbildung 3 | Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern in Deutschland 2013 | 14 |
| Abbildung 4 | Entwicklung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe in Deutschland von 2000 bis 2014* (*geschätzt)..... | 15 |
| Abbildung 5 | Rhizom von <i>Miscanthus x giganteus</i> | 24 |
| Abbildung 6 | Ernte von <i>Miscanthus x giganteus</i> nach dem 3. Bestandsjahr auf einem Feld bei Hummelfeld (Schleswig-Holstein) | 24 |
| Abbildung 7 | <i>Miscanthus x giganteus</i> im 4. Bestandsjahr auf einem Feld bei Hummelfeld (Schleswig-Holstein) | 24 |
| Abbildung 8 | <i>Miscanthus</i> verarbeitet zu Briketts und abgepackt für den privaten Gebrauch als Heizmaterial | 28 |
| Abbildung 9 | <i>Miscanthus</i> verarbeitet zu Briketts, Pellets, Kunststoffersatz und Formteilen..... | 30 |
| Abbildung 10 | Schematische Darstellung der Analyseschritte..... | 35 |
| Abbildung 11 | Aufbau des Expertenworkshops „Welchen Weg wird Biomasse gehen?“ | 59 |
| Abbildung 12 | Expertenworkshop „Welchen Weg wird Biomasse gehen?“ am 26.03. und 27.03.2014 am Biozentrum Klein Flottbek, Universität Hamburg..... | 60 |
| Abbildung 13 | Darstellung der optimalen Böden und optimalen klimatischen Bedingungen für einen Anbau von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Deutschland unabhängig von der derzeitigen Nutzung..... | 63 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Abbildung 14 | Szenario 1-4: Darstellung der optimalen und suboptimalen Böden auf Ackerstandorten und Grünland unter optimalen klimatischen Bedingungen für einen Anbau von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Deutschland | 65 |
| Abbildung 15 | Szenario 1-4: Darstellung der optimalen und suboptimalen Böden auf Ackerstandorten und Grünland unter optimalen klimatischen Bedingungen sowie beispielhaft Standorte aktueller Holzfeuerungskraftwerke (> 1MW) in Schleswig-Holstein | 69 |
| Abbildung 16 | Darstellung der optimalen und suboptimalen Böden auf Ackerstandorten und Grünland unter optimalen klimatischen Bedingungen in der Region Eckernförde | 71 |
| Abbildung 17 | Vergleich der Treibhausgasemissionen bei unterschiedlichen Ernte- und Ertragsszenarien von <i>Miscanthus x giganteus</i> sowie Holz hackschnitzeln und -pellets | 76 |
| Abbildung 18 | Vergleich von Emissionen mit versauernder Wirkung bei unterschiedlichen Ernte- und Ertragsszenarien | 77 |
| Abbildung 19 | Vergleich der kumulierten Energieaufwendungen (KEA) bei unterschiedlichen Ernte- und Ertragsszenarien | 78 |
| Abbildung 20 | Treibhausgasemissionen einer Miscanthus-Kleinfeuerung und der Erdgas- und Ölheizung | 80 |
| Abbildung 21 | Treibhausgasemissionen eines Miscanthus-Kraftwerks und eines Steinkohlekraftwerks | 82 |
| Abbildung 22 | Versauerungsemissionen einer Miscanthus-Kleinfeuerung und der Erdgas- und Ölheizung | 83 |
| Abbildung 23 | Versauerungsemissionen eines Miscanthus-Kraftwerks und eines Steinkohlekraftwerks | 85 |
| Abbildung 24 | Kumulierter fossiler Energieaufwand einer Miscanthus-Kleinfeuerung und der Erdgas- und Ölheizung | 86 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Abbildung 25 | Kumulierter fossiler Energieaufwand eines Miscanthus-Kraftwerks und eines Steinkohlekraftwerks | 87 |
| Abbildung 26 | Nutzung der bewirtschafteten Ackerfläche 2012 der befragten Betriebe..... | 92 |
| Abbildung 27 | Anteil einzelner Kulturen an der Gesamtfläche der Energiepflanzen im Vergleich zwischen dem ersten und dem aktuellen Anbaujahr | 93 |
| Abbildung 28 | Gründe für den Anbau von Energiepflanzen aus Sicht der Landwirte | 94 |
| Abbildung 29 | Übersicht der diskutierten Themengebiete | 96 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabelle 1 | Benötigte landwirtschaftliche Fläche pro Person (bzw. alle Einwohner #) in Deutschland zur Ernährung bei unterschiedlichen Anbau- und Ernährungsweisen | 20 |
| Tabelle 2 | Vergleich des Energiegehalts, des Rohstoffverbrauchs und der Kosten zwischen einer Ölheizung und eines Miscanthus-befeuerten Ofens | 28 |
| Tabelle 3 | Übersicht der analysierten Internetforen mit Bezug zu Miscanthus | 55 |
| Tabelle 4 | Definition der Themengebiete | 57 |
| Tabelle 5 | Definition der Aussagetypen | 57 |
| Tabelle 6 | Parameter der Flächenpotenzialanalyse von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Deutschland sowie die zu erwartenden Erträge (Literaturabgleich)..... | 73 |
| Tabelle 7 | Parameter der Flächenpotenzialanalyse von <i>Miscanthus x giganteus</i> in Schleswig-Holstein sowie die zu erwartenden Erträge (Literaturabgleich)..... | 74 |
| Tabelle 8 | Zusammenfassung der Stellungnahmen und Gutachten politischer Beiräte | 89 |
| Tabelle 9 | Erfahrungen der Diskussionsteilnehmer zur Vorhersehbarkeit und Erwünschtheit der Implikationen..... | 101 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------------|--|
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| BioKraftQuG | Biokraftstoffquotengesetz |
| BiomasseSt-NachV | Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung |
| BiomasseV | Biomasseverordnung |
| BtL | Biomass to Liquid |
| BÜK | Bodenübersichtskarte |
| CO ₂ -eq. | Kohlenstoffdioxid-Äquivalent, Treibhauseffekt |
| DGM | Digitales Geländemodell |
| DHM | Digitales Höhenmodell |
| DLM | Digitales Landschaftsmodell |
| dt | Dezitonne |
| DTK | Digitale Topographische Karte |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EEWärmeG | Wärmegesetz |
| el | elektrisch |
| ESK | Einsatzstoffklasse |
| GIS | Geoinformationssystem |
| ha | Hektar |
| HEL | Heizöl Extra Leicht |
| iLUC | indirect Land Use Change |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| KEA | kumulierter Energieaufwand |
| kW | Kilowatt |
| kWh | Kilowattstunde |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| MJ | Megajoule |
| MW | Megawatt |
| OECD | Organization for Economic Co-operation and Development |
| TA | Technikfolgenabschätzung |
| th | thermisch |
| THG-Senken | Treibhausgas-Senken |
| TM | Trockenmasse |
| UN | United Nations |

Kurzdarstellung

Im Zuge der sog. Energiewende leistet Biomasse einen bedeutenden Beitrag für die energetische aber auch stoffliche Nutzung. Allerdings wurde in der Vergangenheit eine Reihe von Problemfeldern sichtbar, die der bisher praktizierte Anbau und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe mit sich bringen. Insbesondere mit dem auf wenige Kulturen ausgerichteten Anbau nachwachsender Rohstoffe gehen negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft sowie die Umwelt einher. Der Anbau und die Nutzung weiterer Arten und Sorten könnte dieses Problemfeld entschärfen. Vor diesem Hintergrund wurde durch einen inter- und transdisziplinären Ansatz untersucht, welche Rolle *Miscanthus x giganteus* zukünftig als nachwachsender Rohstoff unter Nachhaltigkeitskriterien einnehmen kann. Hierzu wurden verschiedene methodische Herangehensweisen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen angewandt und miteinander verknüpft sowie relevante Stakeholder in den Forschungsprozess einbezogen. Durch eine Flächenpotenzialanalyse mittels eines Geoinformationssystems (GIS) wurde geklärt, unter welchen Bedingungen und in welchem Umfang ein Anbau von *Miscanthus x giganteus* in Deutschland möglich ist. Ökobilanzierungen zeigten auf, welche Emissionen an klimawirksamen Treibhausgasen, Emissionen mit versauernder Wirkung sowie kumulierten Energieaufwendungen mit verschiedenen Anbau- und Nutzungspfaden einhergehen. Durch die Einbeziehung relevanter Akteure wurde zudem weiteres sowohl wissenschaftliches als auch praktisches Wissen berücksichtigt und verbunden. Die Analysen zeigten, dass *Miscanthus x giganteus* als nachwachsender Rohstoff ein bedeutendes Potenzial aufweist und einen wichtigen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit leisten kann. Für die zukünftige Ausgestaltung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe wird daher empfohlen, die Vorzüge von *Miscanthus x giganteus* zu erkennen und in der Praxis zu verbreiten sowie in der zukünftigen Forschungsförderung mit gezielten Förderprogrammen aufzugreifen und in den entsprechenden Gesetzen und Verordnungen zu berücksichtigen.

Abstract

In the course of the energy transition to renewable energy, biomass makes a significant contribution to the energetic but also the material use. However, a number of negative impacts resulting from the current cultivation and use of renewable resources became apparent in the past as well. Especially, the cultivation of only a limited number of cultivars has negative effects on agriculture and the environment. The cultivation and use of other cultivars and species could mitigate some of these problems. Against this background, the possible role of *Miscanthus x giganteus* as a more sustainable renewable resource was analysed in an inter- and transdisciplinary approach. Different disciplinary concepts and methods have been applied and combined as well as transdisciplinary approaches including relevant stakeholder participation in the research process. An analysis of the cultivation potential using a geographic information system showed under which natural conditions and to what extent the cultivation of *Miscanthus x giganteus* is possible in Germany. Life cycle assessments revealed which emissions of greenhouse gases, emissions with acidifying effects as well as accumulated energy consumption are resulting from different paths of cultivation and usage. Additional scientific and practical knowledge has been included by integrating relevant stakeholders in the research process. The analysis showed that *Miscanthus x giganteus* has a substantial potential as a renewable resource and can make an important contribution in order to enhance sustainability. For the future, it is therefore recommended to raise awareness of the advantages of *Miscanthus x giganteus* and to spread the cultivation and use in practice. Additionally, it should be included in future research funding programs and be supported by the relevant laws and regulations.

1. Einleitung

Der Ersatz endlicher Energie- und Rohstoffträger durch erneuerbare Energie- und Rohstoffträger gilt als wesentlicher Bestandteil einer nachhaltigen Energie- und Rohstoffversorgung (BMBF & BMEL 2014, BMBF 2010, BÖR 2010, SRU 2007). Neben der Energiegewinnung aus Fotovoltaik, Geo- und Solarthermie, Wasser- und Windkraft stellt die Nutzung von Biomasse (organische Substanzen insbesondere aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion) eine weitere erneuerbare Energiequelle, mit der zusätzlichen Option der Bereitstellung biobasierter Rohstoffe, dar (DIEPENBROCK 2014). Seit einigen Jahren weist dieser Sektor starke Zuwachsraten auf und nimmt in Deutschland zurzeit eine Fläche von über zwei Mio. Hektar (von 12 Mio. Hektar Ackerfläche) ein (FNR 2014a).

Durch den in den letzten Jahren praktizierten Anbau von nachwachsenden Rohstoffen werden, neben der Problematik der Flächenkonkurrenz zu Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, die Probleme der bisherigen einseitigen Ausrichtung auf wenige Kulturen sichtbar. So werden in Deutschland vorwiegend Raps zur Erzeugung von Biodiesel und Mais zur Gewinnung von Ethanol und Biogas großflächig angebaut, was Auswirkungen auf die Landwirtschaft sowie die Umwelt nach sich zieht (SCHORLING et al. 2009, KAPHENGST 2007, SCHÖNE 2007, SCHÜTZ & BRINGEZU 2006, WICHTMANN & SCHÄFER 2005). Eine Möglichkeit, diesem einseitigen Anbau und den damit einhergehenden Umweltauswirkungen zu begegnen, stellen die Bereitstellung und der Anbau weiterer Arten und Sorten dar. Eine Kultur, die in diesem Zusammenhang diskutiert wird, ist das Riesen-Chinaschilf *Miscanthus x giganteus* (LEWANDOWSKI & KALININA 2012, LEHMANN 2010, MÜLLER-SÄMANN & HÖLSCHER 2010, PUDE 2010, STOLZENBURG 2010).

Vor diesem Hintergrund stellen sich die Fragen, ob und in welchem Umfang *Miscanthus x giganteus* als nachwachsender Rohstoff unter Nachhaltigkeitsaspekten zukunftsfähig ist. Um dies abzuschätzen, verfolgt die Arbeit einen inter- und transdisziplinären Ansatz, bei dem Ansätze und Sichtweisen verschiedener Wissenschaftsbereiche (interdisziplinär) sowie der Gesellschaft (transdisziplinär) berücksichtigt und verbunden werden (GRÜNEIS 2012, LIEVEN & MAASEN 2007, JAEGER & SCHERINGER 1998). Dazu werden Herangehensweisen und Methoden, die in der Technikfolgenabschätzung (TA) Anwendung finden, durchge-

führt, um u. a. ein Systemverständnis zu erlangen (Systemanalyse), Expertenwissen einzubeziehen und Zukunftswissen zu gewinnen. Methoden, die in der TA zum Tragen kommen, bieten sich in besonderer Weise an, die Bedingungen und potenziellen Auswirkungen der Einführung und verbreiteten Anwendung neuer Technologien möglichst systematisch zu analysieren und zu bewerten (GRUNWALD 2010, BULLINGER 1994). In dieser Arbeit wird TA im Sinne einer Nachhaltigkeitsanalyse gesehen, in der schwerpunktmäßig ökologische und ökonomische sowie am Rande soziale Aspekte des Anbaus und der Nutzung von *Miscanthus x giganteus* - immer mit Blick auf den Kontext nachwachsender Rohstoffe und erneuerbarer Energien - betrachtet werden. Eine Herausforderung der inter- und transdisziplinären Herangehensweise besteht darin, zunächst die relevanten Probleme zu identifizieren und adäquate Forschungsfragen zu formulieren. Innerhalb des Prozesses der Systemanalyse konnten drei forschungsrelevante Fragestellungen und die dafür geeigneten Methoden generiert werden:

Welches Flächenpotenzial besteht für einen Anbau von *Miscanthus x giganteus* in Deutschland?

Durch eine Flächenpotenzialanalyse auf Bundes- bzw. Landesebene (Beispiel Schleswig-Holstein) wird geklärt, unter welchen Bedingungen (Anbaubedingungen, Bodenverhältnisse, Temperatur, Niederschlag) und in welchem Umfang ein Anbau von *Miscanthus x giganteus* in Deutschland möglich ist, um - daraus folgernd - eine grundlegende Einschätzung bzgl. (agrar-) ökologischer und ökonomischer Aspekte zu geben. Innerhalb der Flächenpotenzialanalyse werden mithilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) digitale Karten erstellt, die Regionen in Deutschland ausweisen, welche für den Anbau von *Miscanthus x giganteus* aus klimatischer Sicht und bzgl. der Bodenverhältnisse in Frage kommen können. Hierfür werden zunächst die Ansprüche von *Miscanthus x giganteus* für eine in Ertrag und Qualität befriedigende Produktion erfasst und dokumentiert. Danach erfolgt die Auswahl der Daten zur Darstellung der differenzierten Standortverhältnisse, um diese mit den Ansprüchen von *Miscanthus x giganteus* abzugleichen. Dazu werden verschiedene klima- und bodenabhängige Szenarien erstellt und erläutert (SCHORLING et al. 2015).

Welche Umweltauswirkungen bringen der Anbau und die energetische Nutzung von *Miscanthus x giganteus* als nachwachsender Rohstoff mit sich?

Um die Umweltauswirkungen, die bei der energetischen Nutzung von *Miscanthus x giganteus* entstehen, festzustellen, werden sowohl der Anbau und die Bereitstellung des Rohstoffs, als auch die Wärme-, Strom- und Kraftstofferzeugung aus *Miscanthus x giganteus* mit den Methoden der Ökobilanz (DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044) untersucht. Dabei wird ermittelt, welche energetischen Verwendungen die größten Schadstoff- und Rohstoffeinsparungen gegenüber dem konventionellen, fossilen Prozess erbringen, um somit das optimale Einsatzgebiet von *Miscanthus x giganteus* festzustellen. Konkret werden in der Analyse die Emissionen klimawirksamer Treibhausgase, die Emissionen mit versauernder Wirkung sowie die kumulierten Energieaufwendungen betrachtet (SCHORLING & WEINBERG 2014).

Welche Rolle kann *Miscanthus x giganteus* in der Diskussion um nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien einnehmen?

Die Analyse der Diskussion um nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien, und welche Rolle *Miscanthus x giganteus* dabei einnehmen kann, fokussiert auf vier Quellen: So werden Gutachten und Stellungnahmen unterschiedlicher politischer Beiträge ausgewertet und miteinander verglichen, eine schriftliche Befragung von „Energielandwirten“ in Schleswig-Holstein, insbesondere zu gesetzlichen Rahmenbedingungen, durchgeführt sowie verschiedene Internetforen zum Thema *Miscanthus* ausgewertet. In einem abschließenden Workshop „Welchen Weg wird Biomasse gehen?“ werden mit Vertreterinnen und Vertretern aus den Bereichen Forschung, Politik, Natur- und Umweltschutz, Landwirtschaft und *Miscanthus*-Vertrieb offene Fragen diskutiert.

Zur Bearbeitung der Fragen ist die Arbeit in aufeinander folgende Analysen eingeteilt. Zunächst wird ein Verständnis der Systeme „erneuerbare Energien“, „nachwachsende Rohstoffe“ und „*Miscanthus x giganteus* als nachwachsender Rohstoff“ geschaffen. Grundlage hierfür bildet die Studie zu „Potenziale der Gentechnik bei Energiepflanzen“ (SCHORLING et al. 2009), die durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert wurde (Laufzeit 12/2006 - 12/2007). Wesentliche Aussagen dieser Studie, die die Untersuchung möglicher Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus, Analysen zu Züchtungsbemühungen und eine Diskussion guter gesellschaftlicher Regulierung (good gover-

nance) von Energiepflanzen umfasst, werden insbesondere im Kapitel 2.3. aufgegriffen. Zusätzlich fließen in das Kapitel 2 Erkenntnisse und Ergebnisse der forschungsbegleitenden Literaturrecherche sowie der nachgeschalteten Analysen, insbesondere der Stakeholder-Beteiligung, ein.

Für die weiteren Untersuchungen (Flächenpotenzialanalyse, Ökobilanzierungen und Stakeholder-Beteiligung) werden in Kapitel 3 die jeweiligen methodischen Herangehensweisen und in Kapitel 4 die Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Im anschließenden Kapitel 5 werden, hinsichtlich der grundlegenden Frage, welchen Beitrag *Miscanthus x giganteus* als nachwachsender Rohstoff unter Nachhaltigkeitsaspekten leisten kann, die Ergebnisse aller Analysen zusammengeführt, um Problemlösungen aufzuzeigen, Entscheidungsgrundlagen aufzubereiten und die Argumentationslage auf Belastbarkeit zu prüfen.