

Biomass – a renewable energy source?

Sustainable complementary biomass (re)production through Landscape Quality Management

Vorgelegt von
Dipl.-Ing.
Anja Brüll
geb. in Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Naturwissenschaften
- Dr. rer. nat. -
in der Fakultät Nachhaltigkeit
an der Leuphana Universität Lüneburg

genehmigte Dissertation

Erstgutachterin: Prof. Dr. Sabine Hofmeister, Leuphana Universität Lüneburg
Zweitgutachterin: Prof. Dr.-Ing. Helga Kanning, Leibnitz Universität Hannover

Tag der Disputation: 10. Juni 2015

Lüneburg 2015

Schriftenreihe der Reiner Lemoine-Stiftung

Anja Brüll

Biomass - a renewable energy source?

Sustainable complementary biomass (re)production
through Landscape Quality Management

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Lüneburg, Univ., Diss., 2015

Title picture: Karin Koch-Lawniczak (2004): Composition with reed (adapted)

Copyright Shaker Verlag 2015

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3959-7

ISSN 2193-7575

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Für Bennet

Executive Summary

In its original scientific sense *biomass* denotes *living* mass. Through *biomass* not only is a biochemical energy potential being renewed, but also vital living and production conditions (e.g. climatic, water or soil conditions) as well as desirable components of quality of life (e.g. spaces for recreation and a sense on belonging). Not only the bioenergy sector itself, but in fact the sustainability of society and its economy depend on these regenerative ecosystem services. How to retain the capacity for such productive 'biological-ecological work' needs to be considered when using biomass as a source of energy for 'technical work' (i.e. for the technical generation of electricity, heat or mobility). Bioenergy techniques must therefore be seen in connection to the sustainable provisioning of the biomass in appropriate land use forms that need to be developed in the context of the landscape.

Starting from this argumentation, the present study takes up the societal question of how international standards for sustainable biomass production can be defined and established, which has been under controversial discussion, especially since the promotion of biofuels by the European Union. The current politically favored solution implemented for biofuels is the introduction of minimum standards in connection with product-related certification systems. However, the limits of such schemes are seen, among other factors, in the fact that they cannot cover indirect effects such as, for example, land use changes resulting from global economic interactions. Furthermore, sustainability standards are caught in the tension between the contradictory requirements of international validity and local specification. Thus, further measures from the area of national policy and land use planning as well as the embedding of the bioenergy sector in a global land monitoring and management system are expected. Experts assume that in the future, with globally increasing pressure on land, sustainability standards will be used not only for biomass in energy production but also for other agricultural products and land uses.

The thesis of this study is that the assessment and development of the sustainability of biomass production needs to be undertaken in relation to (1) a general and place-based consensus about basic and desirable landscape functions, services and qualities to be sustained in the landscape area, and (2) a common understanding of the general role of different biomass forms as well as the concrete contribution of human and organismic biomass producers to these conditions. This requires a governance process that can create landscape reference systems as integrated value and knowledge systems and that will be executed in relation to appropriate spatial units, organizational levels and temporal horizons.

The study develops a draft standardized adaptive process of Landscape Quality Management (LQM). It is the aim of this process to formulate, in an internationally recognized way, specific reference systems for a sustainable landscape development on the regional and local level, which make it possible to evaluate and pro-actively develop the sustainability of (biomass) production. Landscape Quality Management differs from existing sectoral and product specific certification systems by focusing on the landscape as shared living and production space of human and organismic societies. At the core lies a stakeholder process composed of three coherently interlinked scales: global, regional and local; of three phases: brainstorming, knowledge building and vision building; and of three polarities: incorporating general and context-specific aspects, integrating values and knowledge, and alternating projection and reflection. With a subsequent phase of action, monitoring and revision, the process forms an adaptive management cycle. The study proposes both elements of a standardized value and knowledge core in terms of general aspects as well as flexible process steps and building blocks for elaborating the context-specific aspects, but does not investigate institutional options and implications of LQM, which are, however, regarded as critical for a successful implementation.

The textual assessment framework of the LQM process links regenerative ecosystem services with landscape functions and qualities within a non-market supply and demand matrix. All three concepts mediate between value and knowledge systems in a suitable way. Regenerative ecosystem services and their 'product qualities', which are perceived and produced in the landscape area as temporal-spatial patterns on various scales, serve as criteria. It is intended that they be improved constantly through the management activities. Biodiversity – a category that considers the variety of life forms rather than their mass – is assigned a double role in the process: on the one hand as service provider through diverse functional traits on the supply side, and on the other hand as societal value in itself on the demand side. In addition, the knowledge core of LQM focusses on the (re)productive role of water and its management in the landscape, since the key renewal processes occur through the conversion of solar energy by the dynamic medium water. The question arises thereby whether the concept of 'photosynthetic efficiency' – based on the net product of biomass – might be too narrowly defined and thus calculated too low, if one also considers the ecosystem services associated with vapor production, such as temperature buffering, to be useful outputs in light of the inseparable physiological link between terrestrial photosynthesis and vapor production.

Based on the conscious construction of organismic activities as 'productive biological-ecological work', the study goes on to develop the concept of 'complementary biomass production' as a regional Leitbild. This means using for bioenergy those plants and land

use practices which are not in direct competition with food production, but can rather provide regenerative ecosystem services and improve landscape qualities in a complementary manner; and integrating them so that the sustainability of the landscape in its entirety is increased. The process of landscape quality management supplies the reference system and the appropriate elements for the design of regional complementary biomass strategies. Furthermore, the study shows how different technologies associated with bioenergy and complementary biomass use can be sustainably designed from a perspective of the quality of landscapes.

The present study is located in the spatial planning sciences and pursues a social-ecological transdisciplinary research approach using various methods of knowledge integration. Concepts, approaches and knowledge stocks from several scientific fields and disciplines, such as social ecology and ecological economics, plant physiology and landscape ecology, sustainable land and resource management as well as quality-oriented process management, etc., have been extracted and synthesized out of the literature and documented studies. The principal feasibility of a complementary biomass strategy is explained and examined through case studies. The concept “(Re)Productivity” (Biesecker, Hofmeister 2006) serves as a theoretical framing and as a guiding theme throughout the study.

Beyond the bioenergy sector Landscape Quality Management could contribute to the certification of whole regions or river basins, as well as to the featuring of various quality products whose manufacturing contributes to the co-production of landscape quality. The process-based approach also allows specifically linking (standardized) environmental and quality management to LQM and its inherent sustainability requirements for production forms, land use and technology development. In this way, LQM could also be used, in principle, in the evaluation and design of the sustainability of other production activities at their energetic, metabolic and site interfaces to the landscape and its ecosystems. With the help of further research this could mean to embed technical (and other) innovations in the context of place-based long-term ecological and societal renewability.

Zusammenfassung

Biomasse ist im ursprünglichen wissenschaftlichen Sinn ein Begriff für die *Lebendmasse*. Durch *Biomasse* werden nicht nur biochemische Energiepotenziale sondern auch essentielle Lebens- und Produktionsbedingungen (z.B. Boden-, Wasser-, Klimaverhältnisse) und wünschenswerte Lebensqualitäten (z.B. Erholungsräume, Identifikationsräume) erneuert. Von diesen regenerativen Ökosystemleistungen hängt nicht nur der Bioenergiesektor selbst, sondern auch die Erneuerungsfähigkeit der gesamten Gesellschaft und ihrer Wirtschaft ab. Der Erhalt der Kapazität für solch produktive ‚biologisch-ökologische Arbeit‘ ist bei der Nutzung von Biomasse als Energiequelle für ‚technische Arbeit‘ (d.h. zur technischen Erzeugung von Strom, Wärme oder Mobilität) mit zu bedenken. Bioenergie-Techniken sind daher im Zusammenhang mit der nachhaltigen Bereitstellung der Biomasse in geeigneten Landnutzungsformen zu sehen, die im Kontext der Landschaft entwickelt werden müssen.

Von dieser Argumentation ausgehend greift die vorliegende Studie die gesellschaftliche Fragestellung auf, wie internationale Standards für nachhaltige Biomasse-Produktion definiert und etabliert werden können, welche vor allem seit der Förderung von Biokraftstoffen durch die Europäische Union kontrovers diskutiert wird. Die derzeit politisch favorisierte und für Biokraftstoffe implementierte Lösung ist die Einführung von Mindeststandards im Zusammenhang mit produktbezogenen Zertifizierungssystemen. Grenzen solcher Produktzertifizierungen werden jedoch u.a. darin gesehen, dass sie indirekte Effekte, wie z.B. Landnutzungsänderungen resultierend aus globalen ökonomischen Zusammenhängen nicht abdecken können. Des Weiteren stehen Nachhaltigkeitsstandards im Spannungsfeld widersprüchlicher Anforderungen von internationaler Gültigkeit und lokaler Spezifizierung. Es werden daher weitere Maßnahmen aus dem Bereich nationaler Raumordnung und Landnutzungsplanung sowie die Einbettung des Bioenergiesektors in ein globales Land-Monitoring und -Management erwartet. Experten gehen zudem davon aus, dass Nachhaltigkeitsstandards mit global zunehmendem Druck auf die Landfläche zukünftig nicht nur für Biomasse zur Energiegewinnung, sondern auch auf andere Agrarprodukte und Landnutzungen anzuwenden sind.

Die These dieser Studie ist, dass eine Bewertung und Entwicklung der Nachhaltigkeit von Biomasse-Produktion ins Verhältnis gesetzt werden muss zu (1) einem generellen und ortsbezogenen Konsens über notwendige und wünschenswerte Landschaftsfunktionen, -leistungen und -qualitäten, die auf der Landfläche unterhalten werden sollen und (2) einem geteilten Verständnis über die Bedeutungen verschiedener

Biomasseformen für und Einflüsse menschlicher und organischer Biomasseproduzenten auf diese Bedingungen. Dies erfordert einen Steuerungsprozess, der landschaftliche Referenzsysteme als integrierte Werte- und Wissenssysteme schaffen kann und in Bezug zu angemessenen räumlichen Einheiten, organisatorischen Ebenen und zeitlichen Horizonten durchgeführt wird.

Die Studie entwirft einen standardisierten, adaptiven Prozess eines landschaftlichen Qualitätsmanagement (LQM). Ziel des Prozesses ist, regional bis lokal spezifische Bezugssysteme einer nachhaltigen Landschaftsentwicklung in einer international anerkannten Art und Weise zu bilden, welche es ermöglichen, Nachhaltigkeit von (Biomasse-) Produktion zu bewerten und pro-aktiv zu entwickeln. Anders als bestehende, sektorale und produktspezifische Zertifizierungssysteme ist das landschaftliche Qualitätsmanagement auf die Landschaft als gemeinsamen Lebens- und Produktionsraum von menschlichen und organischen Gesellschaften bezogen. Im Zentrum steht ein Stakeholder-Prozess bestehend aus drei Phasen: Brainstorming, Wissensbildung und Visionsbildung. Er verbindet drei Maßstabsebenen: global, regional und lokal, und beinhaltet drei Polaritäten: Beachtung genereller und kontextspezifischer Aspekte, Integration von Wissens- und Wertesystemen, sowie Wechsel von Projektion und Reflexion. Mit einer anschließenden Aktionsphase inklusive Monitoring und einer Revisionsphase bildet der Prozess einen adaptiven Management-Zyklus. Die Studie schlägt sowohl Elemente eines standardisierten Werte- und Wissenskerns im Sinne der generellen Aspekte als auch flexible Prozessschritte und -bausteine zur Erarbeitung der kontextspezifischen Aspekte vor. Sie untersucht aber nicht institutionelle Möglichkeiten und Konsequenzen von LQM, wobei diese als Schlüssel für eine erfolgreiche Implementierung gesehen werden.

Der inhaltliche Bewertungsrahmen des LQM-Prozesses verbindet regenerative Ökosystemleistungen mit Landschaftsfunktionen und -qualitäten in einer nicht-marktbasierten Angebots- und Nachfragematrix. Alle drei Konzepte vermitteln in geeigneter Weise zwischen Werte- und Wissenssystemen. Regenerative Ökosystemleistungen und ihre ‚Produktqualitäten‘, die in der Landschaftsfläche auf verschiedenen Maßstabsebenen als räumlich-zeitliche Muster wahrgenommen und hergestellt werden, dienen als Kriterien. Sie sollen durch die Managementaktivitäten kontinuierlich verbessert werden. Biodiversität – eine Kategorie, die nicht auf die Masse, sondern die Vielfalt der Lebensformen setzt – erhält eine doppelte Rolle im Prozess: einerseits als Leistungserbringer durch vielfältige funktionale Merkmale auf der Angebotsseite und andererseits als eigenständiger gesellschaftlicher Wert auf der Nachfrageseite. Darüber hinaus fokussiert der Wissenskern des landschaftlichen Qualitätsmanagement auf die (re)produktive Rolle des Wassers und seiner Bewirtschaftung in der Landschaft, da entscheidende Erneuerungsprozesse über den

Umsatz der Sonnenenergie durch das dynamische Medium Wasser erfolgen. Dabei wird die Frage aufgeworfen, ob der am Nettoprodukt der Biomasse orientierte „photosynthetische Wirkungsgrad“ angesichts der untrennbaren physiologischen Kopplung zwischen terrestrischer Photosynthese und Wasserdampfproduktion nicht zu eng definiert und damit zu gering bemessen ist, wenn man auch die mit Wasserdampf assoziierten Ökosystemleistungen, wie z.B. Temperaturdämpfung, als nützlichen Output betrachtet.

Basierend auf der bewussten Konstruktion von organismischen Tätigkeiten als ‚produktive biologisch-ökologische Arbeit‘ wird im Weiteren das Konzept ‚komplementäre Biomasse-Produktion‘ als regionales Leitbild entwickelt. Dies bedeutet, Pflanzen und Landnutzungspraktiken für die Bioenergie zu nutzen, welche nicht in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen, sondern in komplementärer Weise regenerative Ökosystemleistungen erbringen und Landschaftsqualitäten verbessern können; und sie so zu integrieren, dass die Nachhaltigkeit der Landschaft insgesamt erhöht wird. Der Prozess des landschaftlichen Qualitätsmanagement liefert hierbei das Bezugssystem und entsprechende Bausteine zur Erarbeitung regionaler komplementärer Biomasse-Strategien. Darüber hinaus zeigt die Studie auf, wie verschiedene mit Bioenergie und einer komplementären Biomassenutzung assoziierte Technologien aus einem Blickwinkel der landschaftlichen Qualität nachhaltig gestaltet werden können.

Die vorliegende Untersuchung ist in den Raumwissenschaften verortet und verfolgt einen sozial-ökologischen transdisziplinären Forschungsansatz unter Anwendung verschiedener Methoden der Wissensintegration. Konzepte, Ansätze und Wissensbestände aus mehreren Wissenschaftsbereichen und Fachdisziplinen, z.B. Sozial-Ökologie und ökologische Ökonomie, Pflanzenphysiologie und Landschaftsökologie, nachhaltiges Land- und Ressourcenmanagement, sowie qualitätsorientiertes Prozessmanagement etc., werden per Literatur- und Dokumentenstudien extrahiert und synthetisiert. Die prinzipielle Machbarkeit einer komplementären Biomasse-Strategie wird anhand von Fallstudien erläutert und überprüft. Das Konzept „(Re)Produktivität“ (Biesecker, Hofmeister 2006) dient in der gesamten Studie als theoretische Rahmung und als Leitkategorie.

Über den Bioenergie-Sektor hinaus könnte das landschaftliche Qualitätsmanagement einen Beitrag zur Zertifizierung von ganzen Regionen oder Flussgebieten leisten sowie zur Auszeichnung verschiedener Qualitätsprodukte, deren Herstellung gleichzeitig zur Co-Produktion von Landschaftsqualität beiträgt. Der prozessbasierte Ansatz ermöglicht es, (standardisiertes) Umwelt- und Qualitätsmanagement gezielt an LQM und darin erarbeitete Nachhaltigkeitsansprüche an Produktionsformen, Landnutzung und

Technologieentwicklung zu knüpfen. Damit könnte LQM im Prinzip auch auf die Bewertung und Gestaltung der Nachhaltigkeit von anderen Produktionsaktivitäten an deren energetischen, Stoffwechsel- und Standortschnittstelle zur Landschaft und ihren Ökosystemen angewendet werden. Mit Hilfe weiterer Forschung könnte dies bedeuten, technische (und andere) Innovationen in einen Kontext ortsbezogener und langfristiger, ökologischer und gesellschaftlicher Erneuerungsfähigkeit einzubetten.

Index

Introduction	1
I. Societal background and problem definition	1
II. Thesis, aim and research questions	5
III. Methodology and methods	6
IV. A note on scope and transferability	13
1 Line of argumentation: Approaching sustainability through renewability	15
1.1 Relation of sustainability, (re)productivity and renewability	15
1.2 Renewability of the energy potential	19
1.2.1 Biomass as resource of bioenergy and its capacity of re-growth	19
1.2.2 History: Bioenergy crisis in Europe in the 17 th century	23
1.2.3 Scenario: Future nutrient scarcity?	25
1.3 Renew-Ability of living & production conditions	29
1.3.1 'Biomass production' in the political-economical context	29
1.3.2 'Biomass production' in the scientific ecological context	32
1.3.3 'Biomass production' as historical construct.....	35
1.3.4 Living biosynthetic activity performing productive biological-ecological work.....	39
1.4 Broadening the scope of renewability for sustainability	43
1.5 European bioenergy policy.....	45
1.5.1 Objectives and assumptions	45
1.5.2 Pathways of sustainability measures	52
1.6 Sustainability standards for biomass product certification	55
1.6.1 Legal mandatory standards	55
1.6.2 Components and criteria of voluntary schemes	58
1.6.3 The standardization paradox	60
1.6.4 Critique of bioenergy related certification	63
1.6.5 Extension of standards and call for landscape governance.....	64
1.7 Standardized process for landscape reference systems – a possible solution?	67
1.8 Summary and conclusions	69
2 Concept building: Landscape Quality Management (LQM)	75
2.1 The landscape category	76
2.2 Regenerative landscape functions, services and qualities	83
2.2.1 The concepts of ecosystem and landscape services	83
2.2.2 The concepts of multifunctionality of agriculture and landscapes	88
2.2.3 The concepts of environmental and landscape quality	97
2.2.4 A non-market demand and supply framework.....	101
2.2.5 (Re)Productivity of ecosystem services	104
2.2.6 Landscape qualities - product qualities of regenerative services?.....	114
2.3 The role of biomass producers as water, land and resource managers.....	121
2.3.1 The (re)productive element water	121

2.3.2	Jointness of biomass production and regeneration or degradation.....	135
2.3.3	Ecosystem service bundles and spatial landscape units	139
2.3.4	Technical efficiency, photosynthetic efficiency and landscape efficiency.....	142
2.3.5	Biomass, biodiversity, wilderness and irreversibility	148
2.4	Landscape Quality Management (LQM): Contextualizing knowledge and serving place-based policy approaches.....	152
2.5	Summary and conclusions.....	162
3	Draft: Standardized adaptive process of LQM	171
3.1	Installing the process within and across boundaries.....	172
3.2	Integrating levels and scales.....	175
3.3	Incorporating three polarities	184
3.3.1	Values and knowledge	184
3.3.2	General and context-specific aspects.....	185
3.3.3	Projection and reflection.....	186
3.4	Reference building in three phases.....	189
3.4.1	Phase 1: Brainstorming – shared perspectives	190
3.4.2	Phase 2: Knowledge building – common understanding	194
3.4.3	Phase 3: Vision building – shared values	197
3.5	Monitoring and continual improvement of ecosystem services and landscape quality	201
3.6	Quality control and the option of regional certification	203
3.7	Summary and conclusions.....	206
4	Application: Sustainable biomass (re)production and regenerative technology design	211
4.1	Regional complementary biomass strategies	211
4.1.1	Complementary biomass production at the field scale.....	214
4.1.2	Complementary biomass production at the landscape scale	218
4.2	Landscape quality driven biomass conversion versus technology driven landscape conversion	230
4.2.1	Land management technology	232
4.2.2	Nutrient cycling technology	233
4.2.3	Biomass conversion technology	236
4.3	Discussion: Retention cultures, non-use of biomass and the role of LQM.....	240
4.4	Summary and conclusions.....	245
5	Outlook: Embedding innovation in renewability	249
	Acknowledgements	255
	Bibliography.....	261