

Christoph Andreas Meixner

Anbauoptionen für Kurzumtriebsplantagen
oder Agroforstsysteme im Landkreis
Göttingen unter Berücksichtigung von
Schlagmerkmalen und
Erosionsminderungspotenzialen

Bachelorarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2014 Diplom.de
ISBN: 9783956363993

Christoph Andreas Meixner

Anbauoptionen für Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsysteme im Landkreis Göttingen unter Berücksichtigung von Schlagmerkmalen und Erosionsminderungspotenzialen

Meixner, Christoph Andreas: Anbauoptionen für Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsysteme im Landkreis Göttingen unter Berücksichtigung von Schlagmerkmalen und Erosionsminderungspotenzialen, Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2014

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95636-399-3

Herstellung: Diplomica Verlag GmbH, Hamburg, 2014

Zugl. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Bachelorarbeit, 2014

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© *Diplom.de*, Imprint der Diplomica Verlag GmbH
Hermannstal 119k, 22119 Hamburg
<http://www.diplom.de>, Hamburg 2014
Printed in Germany

Zusammenfassung/Abstract

Der Anbau von Energiehölzern auf landwirtschaftlichen Flächen gewinnt in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Vor diesem Hintergrund war die Aufgabe dieser Arbeit, geeignete Flächen im Landkreis Göttingen zu identifizieren und Aussagen über deren Tauglichkeit in Bezug auf die Anbausysteme Kurzumtriebsplantage (KUP) oder Agroforstsystem (AFS) zu machen. Unter Berücksichtigung der technischen sowie naturschutzfachlichen und –rechtlichen Restriktionen lag der Fokus auf Schlagmerkmalen und potenziellem Erosionsschutz durch Energiehölzer. Um die Frage nach Anbauoptionen für KUP oder AFS zu beantworten, wurden im Untersuchungsgebiet anhand von Orthophotos Schläge kartiert, erwähnte Restriktionen ermittelt und anhand von Schlaggeometrien schlagspezifische Flächenleistungswerte in der Grundzeit (GZ) errechnet. Anhand dieser Werte wurden Schläge in „günstig/ungünstig“ für annuelle Kulturen klassifiziert und daraus Präferenzen für den KUP-Anbau abgeleitet. Für Schlaggrößen von 2 bis 10 ha wurde das Anbausystem „AFS zur Schlagoptimierung“ gewählt.

Die Ackerschläge im Landkreis Göttingen weisen einen Median von 1,5 ha auf, lediglich 12 % sind größer als 5 ha. Bezüglich der dementsprechenden Schlagstruktur wurde aufgezeigt, dass hinsichtlich der Flächenleistung erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Schlaggrößen und -formen bestehen. Darauf aufbauend konnte in dieser Untersuchung gezeigt werden, dass über 40 % der Fläche, die potenziell für den Anbau von Energieholz geeignet ist, aus dem Blickwinkel der Flächenleistung in der GZ als vorteilhaft gelten. Diese Zahl teilt sich auf in 56 – 67 % „AFS zur Schlagoptimierung“ und 33 – 44 % in KUP. Auf knapp 60 % dieser Präferenzschläge lässt sich ein zusätzlicher Nutzen als Erosionsschutz erzielen.

In terms of the increasing importance of cultivating short rotation coppice (SRC) on farmland, the object of this paper was to identify suitable areas in the study area, the Göttingen district. The aim was to draw conclusions regarding the suitability of SRC in plantation systems or agroforestry systems. This paper focused on agricultural site characteristics and potential erosion protection by SRC, with consideration of technical and ecological restrictions. The time needed to till specific sites was determined by analyzing aerial images and referring to agricultural site indicators. Using the determined values, sites were classified as either favorable or unfavorable for annual agricultural crops and SRC plantations. Field sizes ranging from 2 – 10 ha were selected to establish “agroforestry systems for optimization sites” (AFS-O).

In Göttingen, the average arable site is 2.4 ha (median: 1.5 ha), only 12% of arable land in the district is larger than 5 ha. With regard to the corresponding field structure has been shown significant differences between different field areas and geometric shapes. Over 40 % of the arable area shows advantages for cultivating SRC. This number is divided into 56 – 67 % AFS-O and 33 – 44 % in SRC plantations. Furthermore, around 60 % of all preference sites could be used to tackle water erosion.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung/Abstract	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund der Arbeit.....	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Stand des Wissens	2
1.3.1 Indikatoren zur Beschreibung von Schlagformen	2
1.3.2 Einfluss der Schlagform und –größe auf den Arbeitszeitbedarf	3
1.3.3 Naturschutzrechtlich und –fachlich restriktive Gebiete	3
1.3.4 Einfluss der Hangneigung auf die Flächenbewirtschaftung	3
1.3.5 Erosionsschutz durch Energieholz	4
1.3.6 Eignungsflächenanalyse für KUP mit Geoinformationssystemen	4
2 Material und Methoden	5
2.1 Das Untersuchungsgebiet – Der Landkreis Göttingen.....	5
2.2 Schlagkartierung auf Basis von Feldblöcken, ATKIS-Daten und manueller Luftbildanalyse	6
2.3 Standortökologische Eignung für Energiehölzer.....	7
2.4 Ausweisung von naturschutzrechtlich und -fachlich restriktiven Gebieten	8
2.4.1 Datengrundlage	8
2.4.2 Analyse	11
2.5 Einfluss der Hangneigung auf die Flächenbewirtschaftung	11
2.5.1 Datengrundlage	11
2.5.2 Analyse	12
2.6 Indikatorbasierte Analyse von Schlagformen	12
2.6.1 Datengrundlage	12
2.6.2 Analyse	13
2.7 Ermittlung der Grundzeit für verschiedene Schlagformen und -größen	15
2.7.1 Datengrundlage	15
2.7.2 Analyse	16
2.8 Analyse von Anbaupräferenzen für KUP oder AFS mit Fokus auf Schlagform und Schlaggröße	16
2.8.1 Präferenzen auf Grundlage geringer Flächenleistung	16
2.8.2 Präferenzen aufgrund einer Schlagformoptimierung	17
2.8.3 Klassifizierung der Anbaupräferenzen.....	18

2.9	Ermittlung der potenziellen Erosionsgefährdung und schlagbezogenen Minderungspotenzialen	19
2.9.1	Datengrundlage	19
2.9.2	Analyse.....	22
2.10	Zusammenfassung der Eignungs- und Ausschlussgebiete	23
3	Ergebnisse	24
3.1	Schlagkartierung auf Basis von Feldblöcken, ATKIS-Daten und manueller Luftbildanalyse	24
3.2	Ausweisung von naturschutzrechtlich und -fachlich restriktiven Gebieten	25
3.3	Einfluss der Hangneigung auf die Flächenbewirtschaftung	26
3.4	Indikatorbasierte Analyse von Schlagformen	27
3.4.1	Beschreibung der Feldstücke anhand der angewandten Indices.....	27
3.5	Ermittlung der Grundzeit für verschiedene Schlagformen und -größen	30
3.6	Analyse von Anbaupräferenzen für KUP oder AFS mit Fokus auf Flächenform und – gröÙe	34
3.6.1	Präferenzen auf Grundlage geringer Flächenleistung	34
3.6.2	Präferenzen durch Schlagoptimierung	35
3.7	Ermittlung der potenziellen Erosionsgefährdung und schlagbezogenen Minderungspotenzialen	39
3.8	Zusammenfassung der Ausschluss- , Eignungs- und Präferenzschläge	40
4	Diskussion.....	43
4.1	Material und Methoden	43
4.2	Ergebnisse.....	44
4.3	Fazit und Ausblick.....	46
	Quellenverzeichnis	48
	Anhang	54
	Abbildungen.....	54
	Tabellen.....	54

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 – Räumliche Struktur des Landkreises Göttingen (Quellen: ATKIS Basis DLM 2009, DGM 25, eigene Darstellung)	6
Abb. 2 – Standörtliches Ertragspotenzial in durchschnittlichem Gesamtwuchs in t_{atro} $ha^{-1} a^{-1}$ für Pappeln (Sorte Max 1) im fünfjährigen Umtrieb auf 20 Jahre gemittelt (eigene Darstellung auf Basis der Daten von Busch (2014, unveröffentlicht).....	8
Abb. 3 – Auswahlprozess geeigneter Indices zur Beschreibung landwirtschaftlicher Flächenformen – exemplarisch dargestellt für drei Indices und vier Schläge (eigene Darstellung)	13
Abb. 4 – Einteilung der Formen in verschiedene Typen (eigene Darstellung)	15
Abb. 5 – Die Gruppe der Vierecke und deren Optimierungspotenzial durch den Anbau von Energieholz auf Teilbereichen.....	18
Abb. 6 – Potenzielle Wassererosionsgefährdung im Landkreis Göttingen nach DIN19708. (Quelle: LBEG Hannover; eigene Darstellung).....	22
Abb. 8 – Schlaggrößen im Landkreis Göttingen, differenziert nach Acker- und Dauergrünlandschlägen (eigene Darstellung auf Basis der Kartierung).....	24
Abb. 9 – Übersicht der relevanten Schutzgebiete und deren Auswirkungen auf die Eignungsflächen für Energieholz (eigene Darstellung auf Basis der Daten des NLWKN)	25
Abb. 10 – Darstellung der schlagbezogenen Hangneigung für die potenziell für Energieholz geeigneten Ackerschläge im Landkreis Göttingen (eigene Darstellung auf Basis des DGM 5).....	26
Abb. 11 – Anwendung der Indices an exemplarisch ausgewählten Schlägen	27
Abb. 12 – Ausschnitt aus dem Resultat der Flächenklassifikation (a - gestreckt; b – kompakt)	29
Abb. 13 – Anteil der Schlagformen an der Ackerfläche	30
Abb. 14 – Darstellung der 12 Modellschläge, welche anhand der Medianwerte der Indices gebildet wurden und alle Schlagtypen repräsentieren	31
Abb. 15 – Effekte der Schlagform und -größe auf die Leistung der Grundzeit.....	32
Abb. 16 – Vergleich der Schlagformen <i>Rechteck_konvex</i> und <i>Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit_konkav</i> in gestreckter (a) und kompakter Form (b).....	33
Abb. 17 – Trendlinien logarithmischer Funktionen exemplarisch aufgezeigt für vier Formtypen im Vergleich zu den gemessenen Werten.....	34
Abb. 18 – Zuteilung der Flächenleistung über einen Steigungsschwellenwert (blau) auf Basis der logarithmischen Funktion des arithmetischen Mittelwerts aller 12 Formtypen	35
Abb. 19 – Effekt der Schlagoptimierung beispielhaft dargestellt an den Klassen 1 und 4 und für die Schlaggröße von 5 ha.....	36
Abb. 20 – Differenz zwischen der Flächenleistung eines zu optimierenden Schlages und der Flächenleistung der „Optimumfläche“ (<i>Rechteck_konvex</i>).....	37
Abb. 21 – Anbaupräferenzen für KUP oder AFS-O unter Berücksichtigung der Flächenleistung	38

Abb. 22 – Übersicht über die Schläge, auf denen der Anbau von Energieholz als Erosionsschutz geeignet ist, differenziert nach Einschränkungen durch die Hangneigung	40
Abb. 23 – Flächenanteile der Präferenzschläge (Bearbeitungseffizienz), kombiniert mit der Fläche der Schläge, auf denen ein additiver Nutzen als Erosionsschutz möglich wäre	41
Abb. 24 – Darstellung aller Eignungs- , Einschränkungs- und Ausschlussflächen.....	42

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 – Übersicht über Restriktionen des Naturschutzes auf den Energieholzanbau (verändert und ergänzt nach Schmidt und Glaser 2009, S. 167).....	9
Tab. 2 – Klassifikation der Hangneigungen und deren erntetechnischer Eignung, leicht verändert nach Aust (2012, S. 48f).....	12
Tab. 3 – Überblick über die verwendeten Indices zur Ermittlung der Schlaggeometrie	13
Tab. 4 - Stufen der potenziellen Wassererosionsgefährdung (nach DIN 19708) und Wassererosionsgefährdungsklasse (entnommen aus Schäfer et al. 2010, S. 6)	21
Tab. 5 – Optionen zur Erosionsminderung durch Energieholz	23
Tab. 6 – Grenzwerte und Ergebnisse der Klassifikation	28
Tab. 7 – Klassifikation der Anbaupräferenzen.....	38
Tab. 8 – Optionen für Erosionsminderung durch Energieholz	39
Tab. 9 – Anteile der Schläge mit additivem Nutzen als Erosionsschutz an der Präferenzfläche aus Sicht der Bearbeitungseffizienz; differenziert nach Einschränkungen durch die Hangneigung	41

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der BRD
AFS	Agroforstsystem
AFS-O	Agroforstsystem zur Optimierung von Schlägen
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
DGL	Dauergrünland
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
DWD	Deutscher Wetterdienst
FFH	Flora-Fauna-Habitate (Natura2000-Schutzgebiet)
FNR	Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union
GIS	Geoinformationssystem
GZ	Grundzeit
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
KUP	Kurzumtriebsplantage
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LBV	Verhältnis von Länge zu Breite
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen
LGN	Landesbetrieb für Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen
LSG	Landschaftsschutzgebiet
LWK	Landwirtschaftskammer Niedersachsen
ML	Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und Landesentwicklung
MU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
NABU	Naturschutzbund
NIBIS ®	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
NIHR	Niedersächsisches Institut für Historische Regionalforschung e.V.
NLS	Niedersächsisches Landesamt für Statistik
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NP	Naturpark
NSG	Naturschutzgebiet
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
UBA	Umweltbundesamt
WBA	Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik

1 Einleitung

1.1 Hintergrund der Arbeit

Biomasse spielt im Gesamtmix der Erneuerbaren Energien in Deutschland inzwischen eine entscheidende Rolle: Lag die Anbaufläche im Jahr 2012 noch bei 2,1 Mio. ha (12,6 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche), so kann diese nach Berechnungen der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) bis zum Jahr 2050 auf bis zu 4 Mio. ha gesteigert werden (vgl. Mühlenhoff 2013, S. 5; FNR 2011).

In den Fokus rücken dabei mehr und mehr schnellwachsende Bäume auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb, sogenannte Kurzumtriebsplantagen (KUP). Mit dem Anbau dieser Hölzer soll unter anderem dem zu erwartenden Holzdefizit von 20-30 Mio. Erntefestmetern ab dem Jahr 2020 begegnet werden (vgl. Bemann 2012, S. 1–4; Mantau 2010, S. 26). Doch flächenmäßig nehmen Energiehölzer einen noch relativ geringen Anteil ein: Im Jahr 2011 lag die Anbaufläche in Deutschland lediglich bei 5.100 ha (vgl. BMELV 2012, S. 2).

Im Vergleich zu annualen landwirtschaftlichen Kulturen, wie beispielsweise Mais, stellen Kurzumtriebsplantagen deutlich mehr Ökosystemdienstleistungen zur Verfügung: Neben der wesentlich besseren Bilanz im Hinblick auf klimaschädliche Gase seien hier als Beispiel die höhere Biodiversität und der effektivere Schutz gegen Bodenerosion genannt (vgl. WBA 2007, S. 156f; Glaser und Schmidt 2010a, S. 154; Bärwolff et al. 2013, S. 17). Letztgenannte Eigenschaft ist nicht zu unterschätzen: Deutschlandweit ist auf ca. 14 % der ackerbaulich genutzten Standorte ein mittlerer Bodenabtrag von mehr als drei Tonnen je Hektar und Jahr zu konstatieren, weshalb insbesondere der Erosionsschutzwirkung eine besondere Bedeutung zuzusprechen ist (vgl. UBA 2010, S. 42). Im südlichen Niedersachsen ist die Erosionsgefahr durch Wasser auf Ackerflächen besonders hoch: Wurbs und Steininger (2011, S. 124) bezeichnen Flächen dieser Gegend als die mit dem „höchsten nutzungsabhängigen Gefährdungspotenzial“.

Die unzureichende Kenntnis der Landwirte über geeignete Flächen, Produktivität der Hölzer sowie Bearbeitungsrestriktionen, beispielsweise in Schutzgebieten, wirkt sich, abgesehen von zahlreichen weiteren Hinderungsgründen, als hemmend auf den Anbau von Energieholz aus (vgl. Bemann et al. 2010, S. 251f). Die Ermittlung und Ausweisung von Eignungsflächen für Energieholzanbau kann demzufolge dazu beitragen, den Anbau auf konfliktbehafteten Standorten (z.B. Naturschutz-relevante Flächen) zu meiden und den Anbau auf konfliktfreien Flächen – idealerweise sogar mit Zusatznutzen (z.B. Erosionsschutz) – zu fördern.

Diese Bachelorarbeit greift den aktuellen Diskurs um den Anbau von schnellwachsenden Gehölzen für die Energiegewinnung auf und behandelt deshalb ausschließlich die soge-

nannte Mini-Rotation (Umtriebszeit: 3 – 5 Jahre). Aufgrund des Grünlanderhaltungsgebotes in Niedersachsen werden die Flächen mit Dauergrünlandstatus nicht in die Analyse einbezogen (vgl. Schulte et al. 2010, S. 16f). Zudem wird die Anbaueignung nach den Systemen KUP oder Agroforst (AFS) differenziert. Im Unterschied zu KUP werden in einem AFS mit Energiehölzern wie beispielsweise Pappeln oder Weiden in Streifenform (sogenanntes „*Alley Cropping*“), auf derselben Fläche, kombiniert mit Ackerfrüchten (silvoarables System) oder Grünland (silvopastorales System), angebaut (vgl. Grünwald und Reeg 2009, S. 233f).

1.2 Zielsetzung

Ziel 1: Allokation von Eignungsflächen für KUP oder AFS anhand von Schlagmerkmalen:

In Abhängigkeit von Größe und Form werden die Schläge in Bezug auf die Bearbeitungseffizienz, technische Restriktionen durch Hangneigung und Naturschutzbelange hin analysiert. Anhand der ermittelten Ergebnisse werden auf Grundlage einer standortökologischen Eignungskarte für Pappeln Eignungsflächen für den Anbau von Energiehölzern im Kurzumtrieb dargestellt.

Ziel 2: Ermittlung von Flächen, auf denen KUP oder AFS eine erosionsmindernde Wirkung erzielen:

Anhand der als stark erosionsgefährdet klassifizierten Schläge und der Standorteignungskarte für Pappeln werden Synergieflächen identifiziert, auf denen der Anbau von KUP oder AFS einen Beitrag zur Erosionsminderung leisten kann.

1.3 Stand des Wissens

1.3.1 Indikatoren zur Beschreibung von Schlagformen

In der Landschaftsanalyse gibt es eine Fülle von Maßzahlen, mit denen sich Landschaften, Klassen von Patches¹ und Patches beschreiben lassen (vgl. Lang und Blaschke 2007, S. 222–247). Lang und Blaschke (ebd.) beschreiben formbezogene Maßzahlen aus dem Blickwinkel ökologischer Effekte und führen deshalb hierzu geeignete Indices wie beispielsweise Kernflächenindex und Kompaktheitsmaß auf.

Mit Blick auf landwirtschaftlich übliche Flächenformen, zeigt Oksanen (2007, S. 22) Indices zur Beschreibung von rechteckigen und konvexen Formen auf. Rosin (2003, S. 175f) dagegen legt eine Methode zur Beschreibung von dreieckigen Formen dar. Dieses Wissen aufgreifend entwickelt Machl (2012) eine Methode, wie über die Kombination dieser Indices landwirtschaftliche Formen beschrieben werden können.

¹ Patch: relativ homogene Fläche, die sich von ihrer Umgebung unterscheidet (vgl. Walz und Syrbe 2002, S. 14)

1.3.2 Einfluss der Schlagform und –größe auf den Arbeitszeitbedarf

Die Arbeits- und Kraftstoffkosten sind nach Jahns (1983, S. 88) nicht nur von der Größe, sondern auch von der Form einer landwirtschaftlichen Fläche abhängig. So steigt beispielsweise bei kleinen Flächen, ebenso wie bei Dreiecksformen, der relative Anteil von Vorgewendeflächen (vgl. Janinhoff 2000, S. 41f). Engelhardt (2004, S. 113) kommt in seinen praktischen Versuchen zu demselben Ergebnis und benennt die Vorteile von rechteckigen Schlägen im Gegensatz zu dreieckigen: Neben niedrigerem Bodendruck durch selteneres Wenden und exakterem Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln sind die Arbeiterledigungskosten auf rechteckigen Schlägen erheblich geringer (vgl. ebd.). Nach Janinhoff (2000, S. 41f) sinken die Erträge auf Vorgewenden wie auch auf Randstreifen um bis zu 30 %. Demnach sind, bezogen auf die Flächeneinheit, kleinflächige und ungünstig geschnittene Schläge nachteiliger als große, günstig geschnittene Schläge. Hinsichtlich der Schlaggröße ist eine Tendenz zu erkennen: Bis 5 ha steigt die Flächenleistung sehr deutlich, bis 10 ha deutlich, und bis 20 ha nur noch gering an (vgl. Engelhardt 2004, S. 84).

Der Arbeitszeitbedarf für Feldarbeiten hängt von vielen Faktoren ab. Das Geradeausfahren, die Wende- und Versorgungszeit ist in der Grundzeit zusammengefasst (vgl. KTBL 2009, S. 83f). Andere Faktoren, die den Gesamtarbeitszeitbedarf erheblich beeinflussen, wie die Rüst- und Wegzeiten, Wartezeiten, Nachladen, Entladen sowie Störungen oder das An- und Umhängen sind nicht berücksichtigt (vgl. ebd.). Zur Berechnung der Grundzeit stellt das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) ein Modul zur „*Berechnung der Grundzeit für unregelmäßige Schläge*“ zur Verfügung (KTBL 2014).

1.3.3 Naturschutzrechtlich und –fachlich restriktive Gebiete

Aus Sicht des Naturschutzes ist die Wahl der Fläche für den Energieholzanbau von großer Bedeutung (vgl. NABU und Bosch & Partner GmbH 2012, S. 7). So gibt es Standorte, auf denen Energiehölzer eine positive Wirkung auf Flora und Fauna erzielen können, aber auch Bereiche, innerhalb derer sie ausgeschlossen werden sollten (vgl. ebd.). Schmidt und Glaser (2009, S. 166f) entwickelten einen Entscheidungsalgorithmus, der eine Flächenauswahl nach Naturschutzkriterien ermöglicht. Ebenso benennen Feger et al. (2009, S. 101) Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Naturschutzes und deren Verträglichkeit mit dem Anbau von Energieholz. Feldwisch (2011, S. 32ff) greift diese Erkenntnisse auf und stellt sie anhand von Geodaten differenziert nach Synergie-, Risiko- und Ausschlussflächen dar.

1.3.4 Einfluss der Hangneigung auf die Flächenbewirtschaftung

Der Einsatz von Maschinen bei der Bewirtschaftung von Energieholzflächen beschränkt sich auf Flächenvorbereitung, Pflanzung, Ernte und Rekultivierung (Kröber et al. 2010, S. 7.1ff; Große 2010, S. 7.30f und Becker et al. 2010, S. 7.14f). Können bei den meisten Arbeitsvorgängen allgemein gebräuchliche landwirtschaftliche Maschinen eingesetzt werden, so muss für die Ernte meist auf die Nutzung von Spezialmaschinen zurückgegriffen werden. Automatisierte Ernteverfahren sind je nach Hangneigung, Witterung und Bodenbeschaffenheit nur

eingeschränkt möglich. Im Gegensatz zu forstlicher Erntetechnik sind landwirtschaftliche Erntemaschinen nur auf Flächen mit geringerer Inklination einsatzfähig. In einem Versuch von Schweier und Becker (2012, S. 295) wurde die Ernte von hangparallelen Reihen bei einer Hangneigung von 20 % mit einem Mähsmaler (Rutenernter) erfolgreich durchgeführt. Der Einsatz eines Gehölmähähäckslers ist bereits ab einer Flächenneigung von 10 bis 15 % nur noch eingeschränkt möglich (Schweier 2013). Dies liegt laut Reike (2008, S. 88) an dem möglichen seitlichen Wegrutschen der abfahrenden Gespanne. Selbiger empfiehlt deshalb, ab einer Flächenneigung von 10 % die Bäume in Richtung des Gefälles anzulegen (vgl. ebd.). Nach Schildbach et al. (2009, S. 64) sollte bei Hackschnitzelvollernteverfahren und hangparallelen Reihen die Hangneigung 5 % nicht übersteigen.

1.3.5 Erosionsschutz durch Energieholz

Die langjährigen mittleren Bodenverluste können durch die „Allgemeine Bodenabtragsgleichung“ (ABAG) prognostiziert werden (Schwertmann et al. 1987, S. 9ff). Wichtige Determinanten in der ABAG sind neben Bodenart, Niederschlag und Relief, Bearbeitungs- und Erosionsschutzmaßnahmen wie beispielsweise der Bedeckungsgrad (vgl. Kuntze et al. 1994, S. 361f). Feldwisch (2011, S. 33) bezeichnet den KUP-Anbau auf ackerbaulich genutzten, großen Schlägen mit einer hohen potenziellen Wassererosion als sehr vorteilhaft für den Bodenschutz. Feger et al. (2009, S. 118ff) untersuchen Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Bodenschutzes im Hinblick auf KUP, zeigen aber auch kritische Punkte, wie beispielsweise die erhöhte Erosionsgefährdung bei der Anlage oder dem Umbruch von Energieholzflächen auf KUP weisen als Pufferstreifen an Gewässern hinsichtlich des Erosionsschutzes deutliche Vorzüge gegenüber Ackerflächen auf (vgl. Bärwolff et al. 2013, S. 50).

1.3.6 Eignungsflächenanalyse für KUP mit Geoinformationssystemen

Eignungsflächenanalysen für KUP wurden bereits in verschiedensten Maßstäben und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kriterien vorgenommen. Aust (2012) ermittelte unter Verwendung von Geoinformationssystemen (GIS) nationale sowie regionale Biomassepotenziale. Für das Bundesland Sachsen analysierte Feldwisch (2011) potenzielle Anbauflächen von Energiepflanzen und KUP und deren Umweltauswirkungen. Dietz et al. (2013) legten den Fokus auf einen größeren Maßstab: Sie entwickelten ein auf Kommunen zugeschnittenes Instrument zur Standortsuche und Biomassepotenzialabschätzung für KUPS. Unter Berücksichtigung der Schutzgüter Grundwasser, Erosion, Lebens- und Naturraum analysierte Busch (2010) mit GIS den Umwelteinfluss von KUP auf kommunaler Ebene.

2 Material und Methoden

2.1 Das Untersuchungsgebiet – Der Landkreis Göttingen

Der Landkreis Göttingen liegt im südlichsten Teil Niedersachsens und grenzt im Osten an Thüringen sowie im Süden an Hessen. Die Landkreisfläche beträgt 1.117 km². Dabei wird etwa die Hälfte der Fläche landwirtschaftlich genutzt. Die andere Hälfte setzt sich mit einem Anteil von 34 % aus Wald, Siedlungs- und Verkehrsfläche (15 %) und Gewässern (1 %) zusammen (vgl. Göttinger Fachdienst Statistik und Wahlen 2010).

Der Landkreis Göttingen gehört zur naturräumlichen Region des Weser-Leineberglandes (vgl. NLWKN 2010). Er ist mit seinen vielen Acker- und Waldflächen verhältnismäßig strukturreich gegliedert. Prägend ist neben den größeren Wäldern im (Süd)Westen des Landkreises auch das Leinetal, welches sich zwischen der Dransfelder Hochfläche und der waldbedeckten Grabenschulter eingliedert. Im Osten anschließend befindet sich das Eichsfelder Becken (vgl. NLS und NIHR 2007, S. 44–46). Die Geologie des Untersuchungsraumes wird bestimmt von verschiedenen Gesteinen, darunter alle Gruppen des Muschelkalks, mittlerer und oberer Buntsandstein, sowie mittlerer Keuper und quartäre Löss-Ablagerungen (vgl. LBEG 2000).

Aus den unterschiedlichen Ausgangsgesteinen resultieren unterschiedlichste Bodenarten, darunter (Para-)Rendzinen, (Para-)Braunerden, sowie Pseudogley und Auenböden, Ranker und Gleye mit Ackerzahlen bis zu 100. Auffallend sind die fruchtbaren Lössböden im Leinetal und in den Niederungen der Hahle im Ostteil des Landkreises. Böden mit Ackerzahlen von 40 bis 60 sind im gesamten Landkreis zu finden. Eine geringere Ertragsfähigkeit (AZ < 40) weisen dagegen die Böden in den Berglagen westlich der Leine auf (vgl. LBEG 1999; Bauböck 2009, S. 20f).

Die Jahresmitteltemperaturen unterscheiden sich je nach Höhenlage und liegen in etwa zwischen 7,5 und 9° C. Auch die Niederschlagswerte differenzieren sich je nach Region: so beträgt beispielsweise die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge im Leinetalgraben zwischen 600 und 660 mm und in höheren Lagen 850 bis 970 mm (vgl. Bauböck 2009, S. 19).

Der Landkreis Göttingen ist geprägt durch eine Vielzahl von Schutzgebieten: Neben einem großen Naturpark im südlichen und westlichen Teil des Untersuchungsraumes sind dies sechs über den ganzen Landkreis verteilte Landschaftsschutzgebiete und etliche FFH-Gebiete. Ein EU-Vogelschutzgebiet erstreckt sich über den südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Des Weiteren verteilen sich acht Naturschutzgebiete auf die nördliche Landkreishälfte (vgl. MU 2013).

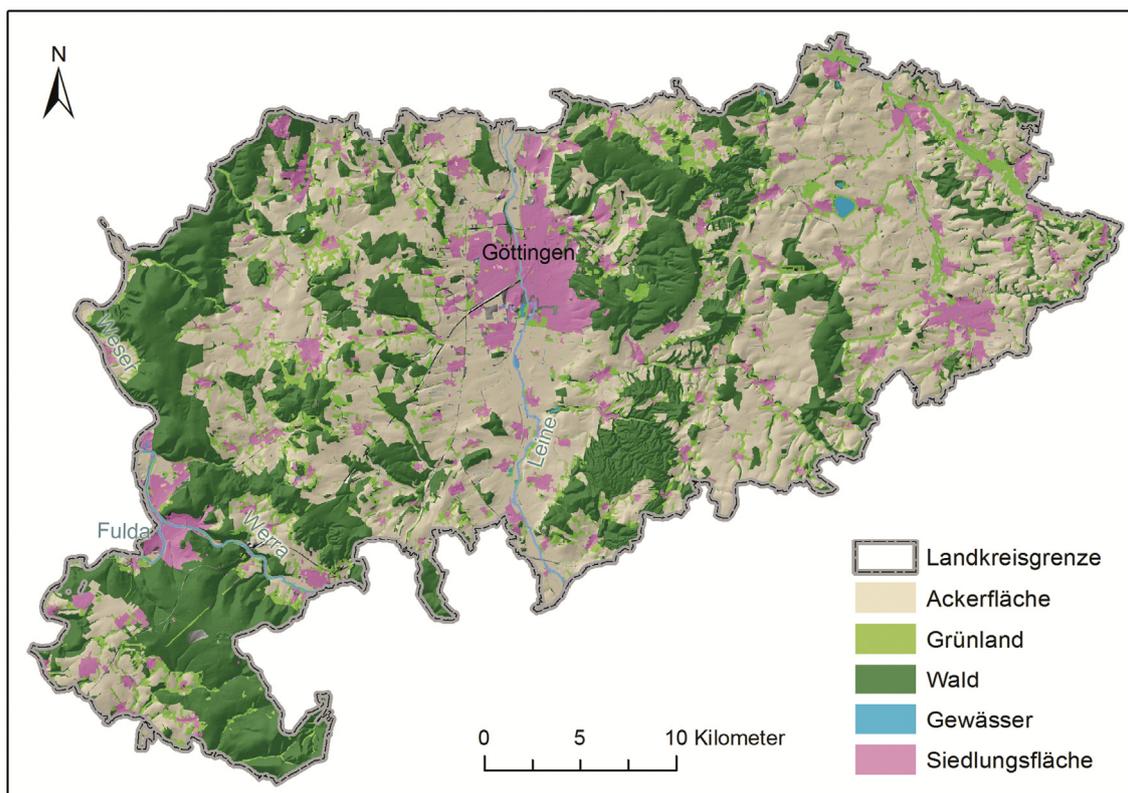


Abb. 1 – Räumliche Struktur des Landkreises Göttingen (Quellen: ATKIS Basis DLM 2009, DGM 25, eigene Darstellung)

Auf den Ackerflächen wurden im Jahr 2013 hauptsächlich Winterweizen (20.045 ha), gefolgt von Winterraps (8.417 ha) und Wintergerste (5.510 ha) angebaut. Der Anteil der Mais-Anbaufläche (Silo- & Körnermais) lag nach einem Anstieg von ca. 130 % in den vergangenen zehn Jahren 2013 bei 3.385 ha. Für den Zuckerrüben-Anbau wurde eine Fläche von 2.293 ha genutzt. Im Grünland dominierten Mähweiden (4899 ha), gefolgt von Wiesen (1.778 ha) und Ackergras (940 ha). Als Flächen für „Niederwald im Kurzumtrieb“ (Energieholz) waren knapp 15 ha gemeldet (alle Daten aus LWK 2013). Im Landkreis Göttingen waren im Jahr 2010 rund 780 landwirtschaftliche Betriebe mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße von ca. 70 ha gemeldet, drei von ihnen bauten Energieholz in Kurzumtriebsplantagen an (vgl. NLS 2010).

2.2 Schlagkartierung auf Basis von Feldblöcken, ATKIS-Daten und manueller Luftbildanalyse

Um eine möglichst aussagekräftige Analyse zu Eignungsflächen für Energiehölzer erstellen zu können, war eine Datenbasis notwendig, die die praxisgetreue Bearbeitungsstruktur abbildete. Die Grundlage bildeten die Feldblöcke aus dem Jahr 2012, welche auf dem LEA-

Portal¹ (LGLN und ML o.J.) frei zur Verfügung gestellt werden. Die Einheit „Feldblock“ definiert eine von topographischen Grenzen umgebene, zusammenhängende landwirtschaftliche Nutzfläche, die von mehreren Landwirten bewirtschaftet werden kann (vgl. § 3, InVeKoSV). Die landwirtschaftliche Fläche im Landkreis Göttingen ist in 13.732 Feldblöcke aufgeteilt (abzüglich Randsplitter), die Gesamtfläche beträgt 55.515 ha. Die Feldblöcke dienen als geometrischer Rahmen, welcher anhand einer manuellen Luftbildanalyse in Schläge unterteilt wurde. Ein Schlag ist eine zusammenhängende Ackerfläche, auf der nur eine Feldfrucht angebaut wird (vgl. Alsing 2002, S. 693).

Die Kartierung erfolgte für den ganzen Landkreis in einem Maßstab von 1:2000 bis 1:4000 auf Grundlage digitaler Orthophotos (LGN 2010), die für das BEST-Projekt („Bioenergie-Regionen stärken“) beschafft und für diese Arbeit bereitgestellt wurden. Der Aufnahmezeitpunkt variiert partiell, liegt jedoch für die meisten Orthophotos im April 2010. Als Gegenprobe fanden im zweiten Schritt Bilddaten aus der Open-Source Quelle „Bing“ (Digital Globe Foundation o.J.) Verwendung. Mit demselben Verfahren und im selben Maßstab wurde auch mit diesen Luftbildern durch Schlagkartierung die Bearbeitungsstruktur nachgebildet und die Hauptnutzung der Schläge (Ackerland/Dauergrünland) zugeteilt. Indizien für die Nutzungszuweisung waren Fahrspuren, Farbe und Struktur der Feldbedeckung sowie Ernteprodukte (z.B. Rundballen).

Um in der Frage nach der Nutzung eine weitere Entscheidungshilfe hinzuzuziehen, wurden ATKIS-Daten mit den Schlägen verknüpft. Der ATKIS-Datensatz besteht aus topographischen Karten, in denen Gelände und wesentliche Erscheinungsformen dargestellt sind. In dieser Arbeit wurde das Digitale Basis-Landschaftsmodell (DLM) mit dem Maßstab 1:10.000 – 1:25.000 verwendet; die Datenerhebung hierzu fand 2009 statt (AdV 2003).

Als Kontrolle wurde der Anteil an Dauergrünland an der Gesamtagrarfläche mit den Zahlen der Agrarstatistik für den Landkreis Göttingen abgeglichen.

Alle Analysen und Kartendarstellungen dieser Arbeit wurden mit ArcGIS 10.1 des Herstellers ESRI, die Berechnung und Diagrammdarstellungen mit Microsoft Excel 2007 durchgeführt.

2.3 Standortökologische Eignung für Energiehölzer

Für die Bewertung der Standorteignung wurde das Ertragsniveau von Pappel-KUP herangezogen. Die Berechnungen hierzu wurden im Rahmen des BEST-Projekts durchgeführt und vom Teilprojekt „Landschaftsökologische Bewertung“ (Projektleitung: Gerald Busch/Balsa) zur Verfügung gestellt. Die Zahlen zum Ertragsniveau resultieren aus einer multiplen linearen Regression ($r^2 = 0,95$) über die Variablen Transpirationswasserangebot (Niederschlag + nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum), Alter der KUP und Temperatursumme. Die Ertragsdaten für die statistische Ertragsmodellierung stammen von 3 Thüringer Pappel-Kurzumtriebsplantagen (Dornburg, Langwetzendorf, Bad Salzungen), für die 15-jährige Zeit-

¹ LEA: Landentwicklung und Agrarförderung (Geodatendienst)

reihen über Anlagen im 5-jährigen Umtrieb mit 11.000 Stecklingen vorliegen. Für die Ertragsmodellierung im Untersuchungsgebiet wurde auf Daten des Deutschen Wetterdienstes (Monatliche Temperatur- und Niederschlagswerte im 1km-Raster) und des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie – LBEG (Horizontdaten der Bodenübersichtskarte 50.000, Klassenzeichen und Texturinformationen der Reichsbodenschätzung) zurückgegriffen. Die Modellierung wurde auf knapp 80.000 Teilflächen im Landkreis durchgeführt und anschließend flächengewichtet auf Schlagkartierung übertragen. (Daten, sowie Beschreibung derer bereitgestellt von Gerald Busch)

Da für diese Arbeit lediglich die standortökologische Eignung der Pappel vorliegt, wird der Begriff „Energieholz“ synonym zu „Pappel“ verwendet.

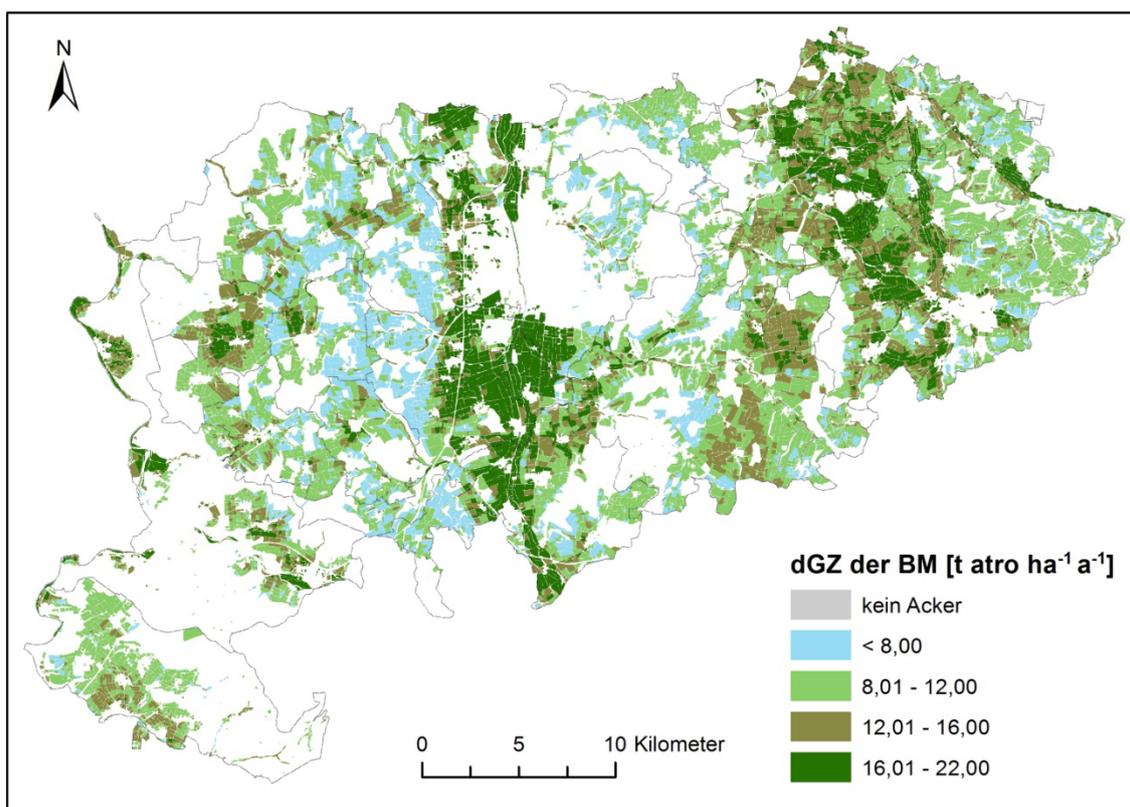


Abb. 2 – Standörtliches Ertragspotenzial in durchschnittlichem Gesamtwuchs in $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für Pappeln (Sorte Max 1) im fünfjährigen Umtrieb auf 20 Jahre gemittelt (eigene Darstellung auf Basis der Daten von Busch (2014, unveröffentlicht))

2.4 Ausweisung von naturschutzrechtlich und -fachlich restriktiven Gebieten

2.4.1 Datengrundlage

Zwar gelten Energieholzflächen als landwirtschaftliche Kultur und unterliegen deshalb den Bestimmungen der „Guten fachlichen Praxis“ (vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 1, BWaldG), doch können

sie aus naturschutzfachlicher Sicht in bestimmten Gebieten Konflikte hervorrufen. Beispielsweise besteht das Risiko, gefährdete Arten oder schützenswerte Habitats zu bedrohen, da durch die Bäume Veränderungen des Wasser- und/oder Lichtregimes hervorgerufen werden (vgl. Feger et al. 2009, S. 102).

Wie bereits in Abschnitt 2.1 erläutert, gibt es eine Reihe von Schutzgebieten im Landkreis Göttingen, die sich flächenmäßig allerdings teilweise überdecken. Um die Prüfbestimmungen der verschiedenen Schutzgebiete hinsichtlich eines möglichen Energieholzanbaus zu verdeutlichen, werden in folgendem Abschnitt die im Untersuchungsgebiet ermittelten Schutzgebiete tabellarisch aufgeführt.

Tab. 1 – Übersicht über Restriktionen des Naturschutzes auf den Energieholzanbau (verändert und ergänzt nach Schmidt und Glaser 2009, S. 167)

Kategorie	Bemerkung
Ausschlussflächen	
FFH-Gebiete	Prüfung, ob Erhaltungsziele der FFH-Richtlinie erreicht werden und Lebensraumtypen nach Anhang I sowie Habitats nach Anhang II durch Energieholzanbau erheblich beeinträchtigt werden.
Nach § 30 BNatSchG besonders geschützte Biotope	Prüfung, ob Energieholzflächen ungünstige Auswirkungen auf unmittelbar angrenzende oder im näheren Umfeld gelegene besonders geschützte Biotope haben.
NSG	Prüfung, ob Energieholzanbau im Widerspruch zum Schutzzweck/-ziel steht.
Gewässerrandstreifen	Nach Bestimmungen des § 38 Abs. 3 und 4, WHG ist das Entfernen von Bäumen im Bereich des Gewässerrandstreifens (5 m Breite im Außenbereich) verboten. Laut § 58 Abs. 1, NWG bestehen in Niedersachsen an Gewässern dritter Ordnung keine Gewässerrandstreifen, und damit keine Bewirtschaftungsrestriktionen für die Landwirtschaft. Für Gewässer erster und zweiter Ordnung gilt diese Ausnahme nicht.
Fläche mit Präferenz für AFS	
EU-Vogelschutzgebiete	Prüfung, ob Erhaltungsziele der EU-Vogelschutz-Richtlinie erreicht werden und Vogelarten nach Anhang I der Vogelschutz-Richtlinie beeinträchtigt werden.

Fortsetzung auf folgender Seite

Kategorie	Bemerkung
Flächen ohne Einschränkungen	
LSG	Prüfung, ob Energieholzflächen der Erfüllung der Schutzziele entgegenstehen.
NP	Prüfung, ob Energieholzflächen der Erfüllung der Schutzziele widersprechen; Liegt ein LSG innerhalb eines NP, sind dessen Bestimmungen zu berücksichtigen.

Die genannten Ausschlussflächen stellen für den Energieholzanbau keine generellen Tabu-Flächen dar, bedürfen jedoch meist einer Einzelfallprüfung, was im Rahmen dieser Arbeit nicht zu leisten war.

In den *Empfehlungen des BfN zum Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen* (vgl. BfN 2012, S. 9) werden Abstände von KUP zu Schutzgebieten und Naturschutzflächen gefordert, allerdings nicht weiter konkretisiert. Vor diesem Hintergrund wird in dieser Analyse auf die Empfehlung von Feldwisch (2011, S. 32) zurückgegriffen, der einen naturschutzfachlich begründeten Pufferabstand zwischen KUP und NSG von 20 m vorschlägt, innerhalb dessen kraft einer Einzelfallentscheidung die Anlage einer KUP beurteilt werden soll. Dadurch sollen beispielsweise negative Veränderungen des Lichtregimes und des Wasserhaushalts in sensiblen Bereichen verhindert werden. Dieser Abstand wird zudem als Puffer für FFH-Gebiete und nach § 30 BNatSchG besonders geschützte Biotope angewandt. Aufgrund fehlender Richtwerte ist letztlich in Kooperation mit der zuständigen Naturschutzbehörde im Einzelfall zu prüfen, ob durch die Anlage von Energieholzflächen in diesen Bereichen negative Veränderungen hervorgerufen werden (vgl. Glaser und Schmidt 2010b, S. 3.20).

Bezüglich der Gewässerrandstreifen wurden auf Basis der rechtlichen Lage für Gewässer erster und zweiter Ordnung Puffer von 5 m Breite angelegt. Für Gewässer dritter Ordnung sind diese Bestimmungen nicht einschlägig.

Das EU-Vogelschutzgebiet im Landkreis Göttingen dient vorwiegend dem Schutz des Mittelspechts (*Dendrocopos medius*) und des Rotmilans (*Milvus milvus*). Der Lebensraum des Mittelspechts beschränkt sich auf Wälder und wird folglich hier nicht weiter behandelt (vgl. LfU 2013). Das Verbreitungsgebiet des Rotmilans ist auf Europa beschränkt, wobei über die Hälfte des europäischen Brutbestandes auf Deutschland entfällt. Gelpke und Hormann (2010, S. 34f) untersuchten Brutplätze in verschiedene Nutzungsumgebungen und kommen zu dem Schluss, dass ein Mosaik aus oft gemähten Silagewiesen und beweideten Flächen optimale Bedingungen für den Bruterfolg von Rotmilanen darstellt. In dieser Arbeit wird der Anbau von Energieholz lediglich auf Ackerstandorten untersucht. Auf dieser Basis hält die

zuständige Naturschutzbehörde die Anlage von KUP im Vogelschutzgebiet für grundsätzlich möglich (vgl. Preuschhof 2014). Der Betreuer des Rotmilan-Projektes im Landkreis Göttingen sieht in der Anlage von AFS eine Bereicherung des Rotmilan-Habitats, für KUP dagegen schließt er positive Effekte aus (vgl. Gottschalk 2013). Resultierend aus diesen Stellungnahmen wird das EU-Vogelschutzgebiet als Präferenzfläche für AFS eingestuft, KUP in dieser Zone aber nicht ausgeschlossen.

Eine Prüfung der Schutzgebietsverordnungen der LSG und des NP ergab keine Beeinträchtigung der Schutzziele durch einen Energieholzanbau.

Die Daten zu naturschutzrechtlich besonders geschützten Teilen von Natur und Landschaft in Niedersachsen wurden frei über die Internetpräsenz des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz bezogen (NLWKN 2013). Die den Gewässerrandstreifen zugrundeliegenden Gewässerdaten lagen als ATKIS-Datensatz vor, welcher vom BEST-Projekt zur Verfügung gestellt wurde (AdV 2003).

2.4.2 Analyse

Nach der Überprüfung der Schutzkategorien der verschiedenen Schutzgebiete wurden diese mit der standortökologischen Eignungskarte (s. Abschnitt 2.3) verschnitten. Die Ausschlussgebiete für Energieholz wurden mit einem 20 m – Puffer versehen und von der potenziellen Anbaufläche für Energieholz ausgeschlossen. Um Gewässer erster und zweiter Ordnung wurde ein Pufferstreifen von 5 m an beiden Uferseiten angelegt. Im EU-Vogelschutzgebiet wird im vorliegenden Untersuchungsgebiet KUP zwar nicht ausgeschlossen, präferiert werden allerdings AFS. Dieses Areal wurde entsprechend gekennzeichnet.

2.5 Einfluss der Hangneigung auf die Flächenbewirtschaftung

2.5.1 Datengrundlage

Bei Flächen mit zu hoher Inklination kann es sein, dass eine vollmechanisierte Ernte mittels landwirtschaftlicher Erntemaschinen technisch nicht realisierbar ist. Auf Grundlage der zitierten Werte (s. Abschnitt 1.3.4) und in Anlehnung an Aust (2012, S. 48f) findet folgende Klassifizierung in der Bestimmung der geeigneten Hangneigungen Verwendung:

Tab. 2 – Klassifikation der Hangneigungen und deren erntetechnischer Eignung, leicht verändert nach Aust (2012, S. 48f)

Klasse	Beschreibung	Hangneigung
1	für Energieholz geeignet	< 10 %
2	für Energieholz eingeschränkt möglich	10 – 20 %
3	für Energieholz ausgeschlossen	> 20 %

2.5.2 Analyse

Die Hangneigung wurde aus dem DGM5 (Raster 5 m x 5 m) abgeleitet, und anhand eines flächengewichteten Mittels für alle Schläge erzeugt. Die Hangneigungswerte wurden vom BEST-Projekt bereit gestellt.

Durch die Verschneidung der Hangneigungsklassen mit der standortökologischen Eignungskarte in GIS (s. Abschnitt 2.3) konnten die technisch Möglichen, als auch aus Produktivitätsgründen realisierbaren Energieholzflächen identifiziert und in den drei Klassen dargestellt werden.

2.6 Indikatorbasierte Analyse von Schlagformen

2.6.1 Datengrundlage

Um eine deskriptive Analyse von Patches durchzuführen, bietet sich die Verwendung verschiedener Indikatoren an. Am Beispiel von Modellschlägen mit landwirtschaftlichem Charakter (s. Abb. 3) wurde die Aussagekraft unterschiedlicher Indices getestet. Unter den vielen verfügbaren Maßzahlen (s. Abschnitt 1.3.1) wurden geeignete ausgewählt: Indices, die die Unterschiede zwischen optimalen zu ungünstigen landwirtschaftlichen Nutzflächen hinsichtlich ihrer technologischen Eignung am deutlichsten aufzeigen. Dies war der Grund, warum beispielsweise der Index „Kompaktheit“ nicht verwendet wurde (s. Abb. 3). Flächen mit Dauergrünlandstatus, welche verhältnismäßig oft eine unregelmäßige Form aufweisen, wurde in dieser Arbeit berücksichtigt (vgl. Machl 2012, S. 34 – 38).

Schlagformen					Bewertung nach Aussagekraft
Indikatoren					
Rechteckigkeit	0,99	0,94	0,79	0,53	<input checked="" type="checkbox"/>
Kompaktheit	0,25	0,41	0,71	0,41	<input checked="" type="checkbox"/>
Konvexität	1	1	0,99	0,90	<input checked="" type="checkbox"/>
Bewirtschaftungs-eignung	 optimal - - - - - ungünstig				

Abb. 3 – Auswahlprozess geeigneter Indices zur Beschreibung landwirtschaftlicher Flächenformen – exemplarisch dargestellt für drei Indices und vier Schläge (eigene Darstellung)

Angelehnt an Machl (2012, S. 15 – 18) wurden für diese Analyse folgende vier Indices ausgewählt:

Tab. 3 – Überblick über die verwendeten Indices zur Ermittlung der Schlaggeometrie

$\text{RECHTECKIGKEIT} = \frac{A_{\text{POLY}}}{A_{\text{RE}}}$	Verhältnis der Polygonfläche (A_{POLY}) zu der Fläche des flächenkleinsten Rechtecks (A_{RE}) (vgl. Rosin 2003, S. 174f)
$\text{KONVEXITÄT} = \frac{A_{\text{POLY}}}{A_{\text{KO}}}$	Verhältnis der Polygonfläche (A_{POLY}) zu der Fläche der konvexen Hülle (A_{KO}) (vgl. Oksanen 2007, S. 21)
$\text{DREIECKIGKEIT} = \frac{A_{\text{KO}}}{A_{\text{RE-BR}}}$	Verhältnis von Fläche der konvexen Hülle (A_{KO}) zu der Fläche des Rechtecks, was das Polygon nach der kleinsten Breite umschließt ($A_{\text{RE-BREITE}}$) (vgl. Machl 2012, S. 18)
Länge: Breite – Verhältnis (Bearbeitungsrichtung)	Verhältnis aus den Seitenlängen des Rechtecks, was das Polygon nach der Fläche (A_{RE}) umschließt. („LBV“)

2.6.2 Analyse

Im ersten Schritt wurden für jedes Objekt die aufgeführten Hüllpolygone gebildet. Im zweiten Schritt wurde über den Quotient aus langer und kurzer Seite des umgebenden Rechtecks nach der Fläche das Seitenverhältnis ermittelt. Anschließend wurden diese Informationen

zusammengefügt und so verrechnet, dass die zuvor erläuterten Indices für alle Schläge vorlagen.

Der nächste Schritt bestand darin, die verschiedenen Formen in Klassen abzubilden. Hierzu war es notwendig, das Untersuchungsgebiet nach vorliegenden Formen zu analysieren und anhand dessen die Grenzwerte zu setzen. Um dem Ziel nachzukommen, die verschiedenen Schlagformen in ihrer Bearbeitungseffizienz zu differenzieren, fanden neben Literaturangaben (s. Abschnitt 1.3.2) auch Werte aus eigenen Tests beispielhafter Flächen über das Modul zur *Berechnung unregelmäßiger Schläge* Eingang (detaillierte Erläuterung s. Abschnitt 2.7). Zudem wurden die Werte der Indices statistisch (Minimum, Maximum, Median) analysiert. Nach dieser Voruntersuchung wurden die Schläge in einem mehrstufigen Auswahlverfahren unterschiedlichen Formtypen zugeteilt. Die Zuweisung der Grenzwerte für die zuvor beschriebenen Indices erfolgte durch eine visuelle Kalibrierung und Validierung (vgl. Machl 2012, S. 42).

Die Formen wurden zunächst drei Hauptgruppen zugeteilt und anhand von Indices beschrieben:

Vierecke

Die Gruppe der Vierecke besteht aus Objekten, die optimale Rechtecke, aber auch Objekte eingeschränkt rechteckiger Formen darstellen. Je nach Rechteckigkeit, Konvexität und dem Verhältnis aus Länge zu Breite sind diese in acht Typen untergliedert. Verwendet wurden die Indices Rechteckigkeit, Konvexität und LBV.

Dreiecke

Ist die konvexe Hülle eines Objektes halb so groß wie die Fläche des kleinsten umgebenden Rechtecks nach der Breite, und ist das Polygon durch eine hohe Konvexität gekennzeichnet, so handelt es sich in der Regel um ein Dreieck (s. Abb. A 1, Anhang). Über Grenzwerte nach oben und unten lassen sich dreieckige Formen identifizieren. Unterteilt werden die Dreiecke anhand des LBV in kompakte und langgestreckte Objekte.

Vielecke

Schläge, die unter einer bestimmten Rechteckigkeit liegen, werden als *unregelmäßige Formen* klassifiziert. Diese Klasse wird lediglich anhand des LBV in kompakte und langgestreckte Formtypen unterteilt.

Anhand der Klassenzuteilung wurden 3 Gruppen (Vier-, Drei- und Vieleck), 6 Klassen (ohne LBV) und 12 Typen gebildet (mit LBV, unterteilt in „a“ und „b“). In Abb. 4 ist diese Untergliederung grafisch dargestellt. Die statistische Auswertung der Indices Rechteckigkeit und Konvexität ist in Form von Boxplots dem Anhang zu entnehmen (s. Abbildungen A 4 und A 5).

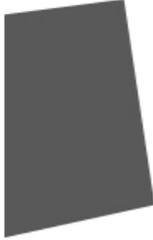
VIERECKE	1a	1b	2a	2b
				
	3a	3b	4a	4b
				
DREIECKE/ VIELECKE	5a	5b	6a	6b
				

Abb. 4 – Einteilung der Formen in verschiedene Typen (eigene Darstellung)

2.7 Ermittlung der Grundzeit für verschiedene Schlagformen und -größen

2.7.1 Datengrundlage

Anhand des KTBL-Moduls zur *Berechnung unregelmäßiger Schläge* wurden die sogenannten Grundzeiten für die zuvor klassifizierten Schlagformen in verschiedenen Größen berechnet. Das Modul verwendet die „Gauß'sche Flächenformel“: Es konnten bis zu 8 Eckpunkte in Form von Koordinaten angegeben werden, anhand derer anschließend die Fläche berechnet wurde. Als Eingabegrößen mussten Vorgewende-, sowie Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit und Wendezeit angegeben werden; daraus wurde anschließend die Leistung in der Grundzeit [ha/h] berechnet. Zu den Arbeits- und Vorgewendebreiten wurde die für den Landkreis Göttingen zuständige Außenstelle der Landwirtschaftskammer Niedersachsen nach typischen Werten für die Region befragt (vgl. LWK, Bezirksstelle Northeim 2014). Die Werte für Wendezeit und Vorfahrtsgeschwindigkeit stehen für das Arbeitsgerät Grubber (Mittelwerte)

und sind dem KTBL-Werk *Faustzahlen für die Landwirtschaft* entnommen (vgl. KTBL 2009, S. 124).

Arbeitsbreite:	6 m
Vorgewende:	12 m
Vorfahrtsgeschwindigkeit:	7 km/h
Wendezeit:	0,4 min.

Ist in der Folge von Flächenleistung die Rede, so bezieht sich das stets auf den Arbeitszeitbedarf, die Grundzeit und die Zeiteinheit [ha/h] (s. Abschnitt 1.3.2.).

2.7.2 Analyse

Um für jeden Flächentyp einen repräsentativen Modellschlag bilden zu können, wurden die Median-Werte der Indices der zuvor erfassten Schlagtypen verwendet. Je nach LBV, Rechteckigkeit und Konvexität wurden klassenspezifische Flächen konstruiert. Anhand eines eigens hierfür entwickelten Excel-Berechnungstools konnten durch Eingabe der Zielflächengröße die entsprechenden Koordinaten ermittelt werden, die anschließend in das Online-Modul zur *Berechnung der Grundzeit für unregelmäßige Schläge* eingingen. Auf diese Weise wurde der Grundzeitbedarf 12 typischer Schlagformen für die Größen 0,5 ha, 1 ha, 2 ha, 5 ha, 10 ha, 20 ha errechnet, miteinander verglichen und anschließend in Excel als logarithmische Funktion aufgetragen. Als Resultat konnte somit jedem Flächentyp eine spezifische Funktion zugeteilt werden, die den Grundzeitbedarf für verschiedene Größen dieser Formen wiedergibt. Anschließend wurden diese Funktionen auf alle Schläge eines Typs angewendet, wodurch für jeden Schlag, abhängig von Form und Größe, eine eigene Grundarbeitszeit errechnet werden konnte. Dies schuf die Grundlage für die Präferenzbildung für KUP oder AFS auf Basis der schlagspezifischen Flächenleistungswerte, welche im folgenden Abschnitt behandelt wird.

2.8 Analyse von Anbaupräferenzen für KUP oder AFS mit Fokus auf Schlagform und Schlaggröße

2.8.1 Präferenzen auf Grundlage geringer Flächenleistung

Auf Basis der ermittelten Ergebnisse wurde die Anbaupräferenz von KUP oder AFS ausgewertet: Als Annahme lag zugrunde, dass Landwirte primär auf den Schlägen mehrjährige Kulturen anbauen werden, auf denen eine vergleichsweise geringe Flächenleistung zu erzielen ist. Um einen Grenzwert zwischen geringer und hoher Flächenleistung ziehen zu können, wurde das Schaubild mit den logarithmischen Trendlinien, die die Abhängigkeit der Flächenleistung von der Schlaggröße darstellen, herangezogen (s. Abb. 16). Nach diesem Beispiel wurde eine Funktion aus dem arithmetischen Mittelwert aller Formtypen erzeugt. Durch Bildung der ersten Ableitung konnten die Steigungen der Trendlinie miteinander verglichen werden; ab einem bestimmten Punkt steigt diese nur noch geringfügig an. Der Wert für die-

sen Punkt wurde, vereinfacht für die Funktionen aller Formtypen, auf 0,1 ha/h festgesetzt. Auf Basis dieses Steigungsschwellenwertes konnte der Grenzwert des Merkmals „Leistung in der GZ“ errechnet werden, der die Schläge in günstig oder ungünstig für eine Bewirtschaftung mit häufigen Flächenbefahrungen und somit für annuelle Kulturen zuteilt. In der Frage nach dem geeigneten System (KUP/AFS-O), wird auf den Abschnitt 2.8.3 verwiesen.

2.8.2 Präferenzen aufgrund einer Schlagformoptimierung

Wenn für die Bewirtschaftung eines Schlages verhältnismäßig viel Zeit benötigt wird, kann der flächenmäßige Anbau von Energieholz von Vorteil sein. Ist allerdings die Flächenleistung eines Schlages durch die Teilbepflanzung mit Energiehölzern steigerbar, ist diese Anbauvariante möglicherweise geeigneter. Auf Grundlage dieses Ansatzes ließen sich durch die Kenntnis der Schlaggeometrien Flächenformen mit Optimierungspotenzial analysieren. Durch die Anlage von Energieholz-Teilflächen und eine damit verbundene Begradigung könnte auf nicht-konvexen rechteckigen Schlägen die Flächenleistungen gesteigert werden. Je geringer die Rechteckigkeit eines Schlages, desto höher ist der Flächenanteil, der für eine Begradigung mit mehrjährigen Kulturen bestockt werden muss. Dementsprechend verringert sich bei komplexen unregelmäßigen Schlägen der Anteil, der für annuelle Kulturen optimal in Form eines Rechtecks genutzt werden kann.

Für diesen Analyseabschnitt wurden aus Gründen der Vereinfachung lediglich die sechs Formklassen (ohne LBV) berücksichtigt. Als Annahme wurde anhand der bereits erwähnten Modellschläge der Energieholzanteil bestimmt, der notwendig ist, um eine optimale Form zu erreichen (konvexes Rechteck). Für die Vierecke ergab sich der arithmetische Mittelwert von 15 % Anteil der Begradigungsfläche (s. Abb. 5). Bei *Dreiecken* kann der Anteil der Begradigungsflächen sehr stark variieren, weshalb diese Form in der Analyse nicht berücksichtigt wurde. *Unregelmäßige Objekte* haben äußerst diverse Ausprägungen, weshalb auch hier keine konkreten Aussagen zum Optimierungspotenzial getroffen werden konnten.

In Abb. 5 ist, auf Grundlage der Modellschläge (s. Abb. 13), die Gruppe der Vierecke dargestellt. Links (1) ist das *konvexe Rechteck* zu sehen, welches als Optimalform gilt. Der Modellschlag weicht allerdings von einem klassischen Rechteck mit vier rechten Winkeln ab, da die als *konvexes Rechteck* klassifizierten Schläge im geometrischen Mittel eine Rechteckigkeit von 0,92 aufweisen (s. Abb. 13). Die drei optimierungsfähigen Formklassen (2), (3), (4) wurden insofern optimiert, als dass die optimierte, für annuelle Kulturen nutzbare Fläche, die Formwerte (Indices Rechteckigkeit und Konvexität) eines *konvexen Rechtecks* aufwies. Die Energieholzteilflächen wurden so konstruiert, dass nur die langen Seiten begradigt wurden. Im Gegensatz zu den Stirnseiten haben diese eine höhere Relevanz bezogen auf die Flächenleistung.

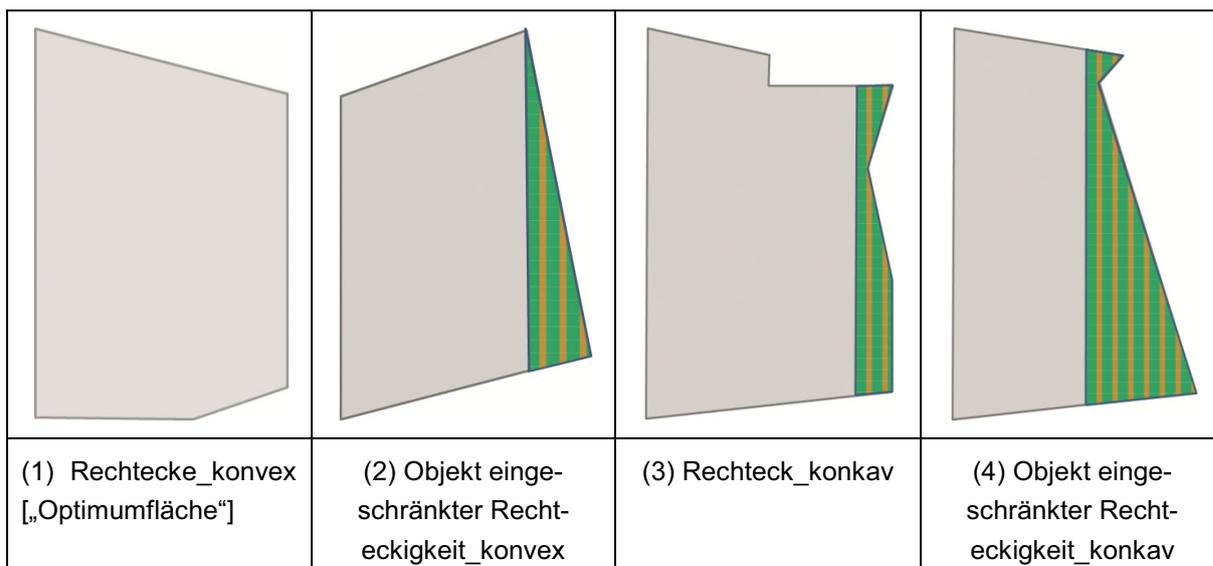


Abb. 5 – Die Gruppe der Vierecke und deren Optimierungspotenzial durch den Anbau von Energieholz auf Teilbereichen

Um nun das Optimierungspotenzial der drei Flächenklassen zu ermitteln, wurde die Flächenleistung eines Schlages verglichen mit einem um 15 % kleineren *konvexen Rechtecks*, der „Optimumfläche“ (1). Diese Fläche errechnet sich aus der Größe des Schlages abzüglich der Begradigungsfläche. Zur Berechnung der Schlaggrößen wurden die in Abschnitt 2.7 erzeugten logarithmischen Funktionen verwendet (s. Tabelle T 3, Anhang). Anschließend wurde die Differenz der jeweiligen schlagbezogenen Flächenleistung ermittelt. Somit konnten für die drei Formklassen spezifische Optimierungspotenziale aufgezeigt werden.

Energieholzflächen, die als Teil eines mit annuellen Kulturen bewirtschafteten Schlages zur Steigerung deren technologischer Eignung beitragen, werden in dieser Arbeit als „AFS zur Schlagoptimierung“ definiert („AFS-O“). Dies fußt auf den verhältnismäßig kleinen Schlägen im Untersuchungsgebiet und einem dementsprechend geringen Ausmaß der Energieholz-Teilflächen. Unter Einbezug der benachbarten Schläge ist somit die agroforst-typische Kombination von Bäumen und annuellen Kulturen auf einer Fläche gegeben.

2.8.3 Klassifizierung der Anbaupräferenzen

In der Frage nach dem geeigneten System, ob AFS, AFS-O oder KUP, ist ein Hinweis auf die förderrechtlichen Bestimmungen vonnöten: Als Vorgabe gilt, dass jede Teilfläche mit Dauerkulturen (z.B. Energieholz) als eigene Parzelle definiert ist und somit, will der Landwirt eine Flächenprämie erhalten, mindestens 0,3 ha groß sein muss (§ 4 Abs. 1, § 8 Abs. 1, InVeKoSV). Zudem muss die Gesamtfläche, deren Teil ein AFS-O oder AFS wäre, mindestens eine Flächengröße von einem Hektar aufweisen (ebd.). Aus der zuvor erläuterten Annahme heraus, dass eine Teilfläche zur Optimierung einen Anteil von 15 % eines Schlages ausmacht und diese mindestens 0,3 ha groß sein muss, errechnet sich die Mindestschlaggröße von 2 ha.

Knapp 90 % der Ackerschläge im Untersuchungsgebiet haben eine Größe von < 5 ha (s. Abschnitt 3.1). Mit Rücksicht auf die Landschaftsstruktur wurde für KUP die maximale Größe auf 5 ha festgesetzt. Da AFS-O nur eine Teilfläche eines Schrages einnehmen, wurde der Grenzwert für dieses Anbausystem auf 10 ha festgelegt. AFS sind aus Sicht der Bearbeitungseffizienz erst ab einer Größe sinnvoll, ab der einer Verkleinerung des annuellen Teilschlags keine relevante Bedeutung mehr zukommt. Dies betrifft Schläge, die nach Abzug der AF-Streifen eine Größe von > 10 ha aufweisen (s. Abb. 14). Da im Untersuchungsgebiet nur 2,5 % der Schläge > 10 ha sind (s. Abschnitt 3.1), wurden AFS in Feldstreifenform an dieser Stelle nicht weiter behandelt.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten förderrechtlichen und landschaftsstrukturellen Grenzwerte, wurden die Präferenzen nach dem geeigneten Anbausystem festgelegt. War ein Schlag aufgrund seiner Form und Größe optimierungsfähig, wurde das System AFS-O bevorzugt. Lag die Schlaggröße unterhalb von 2 ha oder war ein Schlag nicht optimierungsfähig, entschied der Flächenleistungsgrenzwert (s.o.), ob annuelle Kulturen oder KUP als bevorzugt angesehen wurden (s. Abschnitt 2.8.1). Für die Formklassen *Dreiecke* und *unregelmäßige Objekte* konnte aufgrund der großen Unterschiedlichkeiten in der Praxis kein Optimierungspotenzial ermittelt werden. Aufgrund dessen wurden die Objekte, die eine Größe von 2 – 5 ha aufwiesen, in einer eigenen Klasse („AFS-O oder KUP“) erfasst; Schläge > 5 ha werden der Klasse „AFS-O“ zugeordnet.

Als Resultat wurden die ermittelten Präferenzflächen mit der standortökologischen Eignungskarte für Pappeln (s. Abschnitt 2.3) abzüglich der Restriktionen Naturschutz und Hangneigung (s. Abschnitt 2.4 & 2.5) verschnitten und dargestellt.

2.9 Ermittlung der potenziellen Erosionsgefährdung und schlagbezogenen Minderungspotenzialen

2.9.1 Datengrundlage

In folgender Analyse wurden Schläge ermittelt, auf denen der Anbau von Energieholz einen Beitrag zur Erosionsminderung leisten kann. Da die Winderosion im Landkreis Göttingen nur eine geringe Relevanz aufweist, beschränkte sich die Untersuchung auf die Erosion durch Wasser.

Landwirte sind seit 2004 gesetzlich dazu verpflichtet, auf Flächen, für die Direktzahlungen beantragt wurden, in angemessener Art und Weise für den Schutz des Bodens vor Erosion zu sorgen (vgl. § 2 Abs. 1, DirektZahlVerpflG). Je nach Erosionsgefährdung einer Fläche gelten Einschränkungen in der Bodenbearbeitung oder der Bearbeitungsrichtung (vgl. § 2, DirektZahlVerpflV). Bei Nichtbefolgung dieser Standards sind Kürzungen der EU-Direktzahlungen möglich (Cross Compliance, „CC“) (vgl. ebd.).

Nachfolgende Methodik bezieht sich auf Schäfer et al. (2010, S. 3f). Die Klassifizierung der Wassererosionsgefährdung landwirtschaftlicher Flächen wird in Niedersachsen auf Feldblockebene und auf Basis der Einzelfaktoren K, S und R der „Allgemeinen Bodenabtragsgleichung“ (ABAG) durchgeführt. Die Faktoren setzen sich wie folgt zusammen:

- K: Bodenart (Erosionsanfälligkeit, Erodierbarkeit des Bodens)
- S: Hangneigung und Relief
- R: Regenerosivität

Anhand von Bodenart, Humusgehalt und Skelettanteil des obersten Mineralbodenhorizonts lässt sich der **Bodenerodierbarkeitsfaktor** (K) bestimmen. Als Basis werden Daten aus der amtlichen Bodenschätzung verwendet. Liegen diese nicht vor, wird auf die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1: 50.000 zurückgegriffen.

Die **Hangneigung** wird auf Basis des digitalen Höhenmodells (DGM 5) mit einer Rasterauflösung von 12,5 m ermittelt. Der S-Faktor wird entsprechend der DIN 19708¹ jeder Hangneigung zugeteilt. Bezüglich der Hanglänge geht man pauschal von 100 m aus, welche als Hanglängenfaktor 2 in die Bestimmung der Wassererosion eingeht.

Der **Regenerosivität** liegen die mittleren Jahresniederschlagssummen von 45 Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zugrunde. Ergänzend hierzu wird der R-Faktor aus der Ableitung einer Regressionsgleichung für Niedersachsen bestimmt. Die Werte liegen in einer räumlichen Auflösung von 200 m x 200 m vor (vgl. Schäfer et al. 2010).

Die potenzielle Wassererosion wird durch die Multiplikation der K-, S-, und R-Faktoren ($K \times S \times R \times 2$) für jede Rasterzelle (12,5 m x 12,5 m) berechnet. Über das arithmetische Mittel der mit ihrem Mittelpunkt in einem Feldblock liegenden Rasterzellen wird der Wert auf Feldblockebene ermittelt. Je nach potenzieller Erosionsgefährdung werden auf dieser Basis Wassererosionsgefährdungsklassen gebildet (s. Tab. 4)

¹ DIN 19708: Norm zur Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG

Tab. 4 - Stufen der potenziellen Wassererosionsgefährdung (nach DIN 19708) und Wassererosionsgefährdungsklasse (entnommen aus Schäfer et al. 2010, S. 6)

Stufe nach DIN 19708	Bezeichnung	$K * S * R * 2$ (mit $R = 50$)	Wassererosions-Gefährdungsklasse nach CC
E_{nat0}	keine bis sehr geringe Erosionsgefährdung	< 1	CC 0
E_{nat1}	sehr geringe Erosionsgefährdung	1 - < 5	
E_{nat2}	geringe Erosionsgefährdung	5 - < 10	
E_{nat3}	mittlere Erosionsgefährdung	10 - < 15	CC 0
E_{nat4}	hohe Erosionsgefährdung	15 - < 30	
$E_{nat5.1}$	sehr hohe Erosionsgefährdung	30 - < 55	$CC_{Wasser1}$
$E_{nat5.2}$	sehr hohe Erosionsgefährdung	≥ 55	$CC_{Wasser2}$

Das Resultat der potenziellen Wassererosion ($K \times S \times R \times 2$) entspricht dem potenziellen Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar und Jahr (vgl. Schäfer und Thiermann 2006, S. 71). Feldblöcke bis zu einer potenziellen Erosionsgefährdung von 30 t Boden pro ha und Jahr (E_{nat0} bis E_{nat4}) unterliegen keinen besonderen Bewirtschaftungsbeschränkungen (CC 0). Ab einer sehr hohen Erosionsgefährdung (E_{nat5}) sind auf Beihilfelflächen die gesetzlich verordneten Erosionsschutzmaßnahmen anzuwenden. Diese untergliedern sich je nach Gefährdungsgrad in $CC_{Wasser1}$ und $CC_{Wasser2}$. Die nachfolgende Analyse behandelt aufgrund der förderrechtlichen Relevanz ausschließlich die Flächen mit einer sehr hohen Erosionsgefährdung.

Für die Berechnung der potenziellen Erosionsgefährdung wurden die Daten aus dem NIBIS® (Niedersächsisches Bodeninformationssystem) verwendet. Der Datensatz wurde für die Anfertigung dieser Bachelorarbeit vom LBEG Hannover freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Anders als die auf Feldblockebene gemittelte Einstufung der Wassererosionsgefährdungsklassen, steht für diese Arbeit das differenzierte 12,5 m x 12,5 m – Raster (als Vektordatei) zur Verfügung. Die Unterteilung der Enat-Stufe 5 wurde lediglich im Rahmen der Cross-Compliance-Regelungen (Feldblock-Ebene) vorgenommen und liegt aufgrund dessen für diese Untersuchung nicht vor.

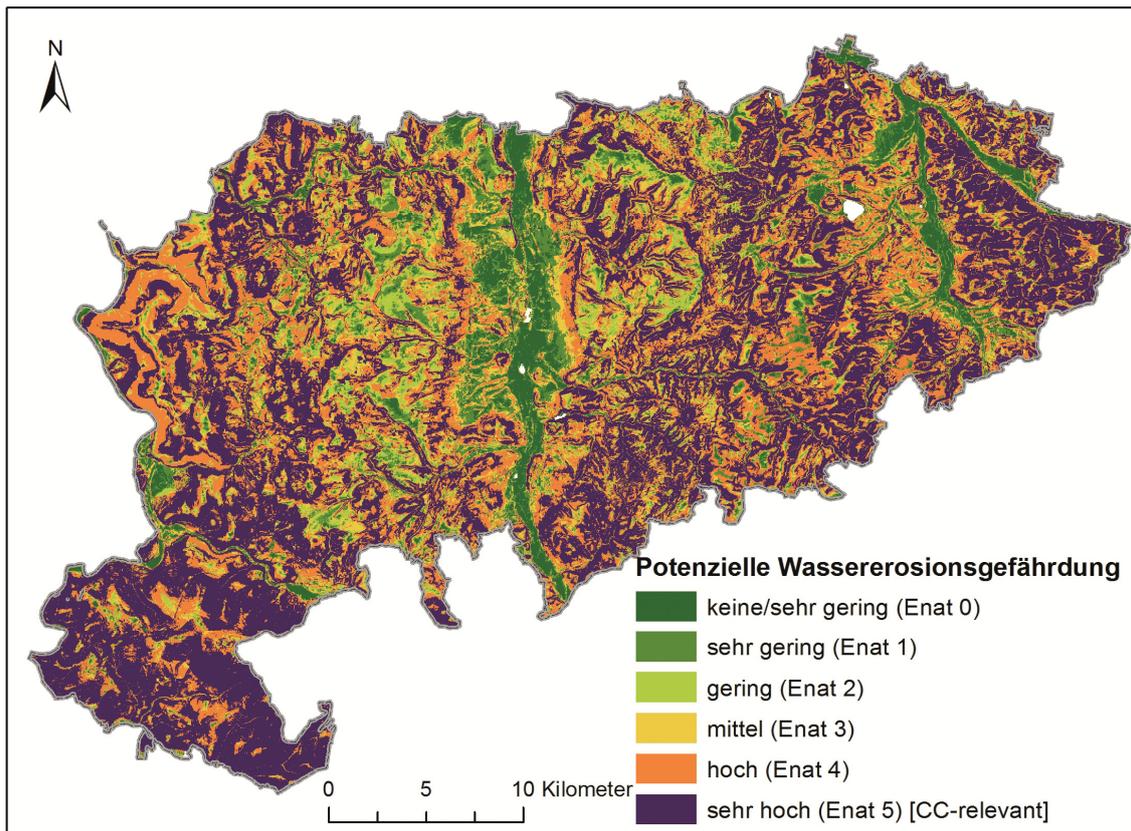


Abb. 6 – Potenzielle Wassererosionsgefährdung im Landkreis Göttingen nach DIN19708. (Quelle: LBEG Hannover; eigene Darstellung)

2.9.2 Analyse

Im ersten Schritt wurden die vorliegenden Vektordaten zurück in Rasterdaten (12,5 m x 12,5 m) umgewandelt. Die Informationen zur potenziellen Erosionsgefährdungsstufe (Enat) wurden anschließend mit den Schlägen der standortökologischen Eignungskarte für Pappeln (s. Abschnitt 2.3), abzüglich der Restriktionen Naturschutz und Hangneigung (s. Abschnitt 2.4 & 2.5) verknüpft. Auf diese Weise konnten die schlagspezifischen Mittelwerte der Enat-Stufen abgeleitet werden. Demnach wurde ein Schlag als potenziell sehr hoch erosionsgefährdet eingestuft, wenn der Mittelwert, abgeleitet aus allen im Schlag liegenden Rastern, bei Enat > 4 liegt. Anhand der Flächenneigung wurden daraufhin die Schläge mit der Option zum Erosionsschutz durch Energieholz nach den Einschränkungen für die Erntetechnik ($\geq 10\%$ Flächenneigung) differenziert (s. Tab. 5).

Tab. 5 – Optionen zur Erosionsminderung durch Energieholz

Energieholz als Erosionsschutz	Stufe	Hangneigung
Uneingeschränkt geeignet	Enat5	< 10 %
Eingeschränkt geeignet	Enat5	10 – 20 %
Nicht notwendig*	Enat0 – Enat4	0 – 20 %

* aus rechtlicher Sicht

2.10 Zusammenfassung der Eignungs- und Ausschlussgebiete

In diesem letzten Teil wurden alle erzeugten Teilergebnisse miteinander verschnitten und dargestellt. Beginnend mit den Flächen, die sich aus den behandelten Gründen nicht für den Energieholzanbau eignen, bis hin zu den Schlägen, die sich aus Sicht der Bearbeitungseffizienz und dem Erosionsschutz besonders anbieten, wurden an dieser Stelle die generierten Werte in konzentrierter Form aufgeführt. Als Resümee wurden die Präferenz-Schläge aus Sicht der Flächenleistung und des Erosionsschutzes zusammengeführt und veranschaulicht.

3 Ergebnisse

3.1 Schlagkartierung auf Basis von Feldblöcken, ATKIS-Daten und manueller Luftbildanalyse

Die Schlagkartierung bestand aus der Unterteilung der Feldblöcke in Schläge. Die anfangs 13.732 Feldblöcke (ohne Randsplitter) wurden in 27.932 Schläge unterteilt. Demnach besteht ein Feldblock aus durchschnittlich zwei Schlägen. Das Ziel der Schlagkartierung war unter anderem die Differenzierung von Acker- und Dauergrünland. Die landwirtschaftliche Nutzfläche beträgt nach Informationen des LEA-Portals (LGLN und ML o.J.) 556.28 ha, wovon 15,5 % als Dauergrünland (8.572 ha) kartiert wurden. Der Statistik aus dem Jahr 2010 zufolge bewirtschaften die im Landkreis Göttingen gemeldeten Betriebe 7.488 ha Dauergrünland (vgl. NLS 2010). Das arithmetische Mittel der Ackerschlaggröße liegt bei 2,4 ha (Median: 1,5 ha), das des Dauergrünlandes bei 1,0 ha (Median: 0,7 ha). Konkret bedeutet das: 60 % der Schläge sind kleiner als 2 ha, 89 % kleiner als 5 ha und lediglich 2 % sind über 10 ha groß (Werte siehe Tabelle T 1, Anhang). In folgender Abbildung (Abb. 7) ist die Verteilung der Schlaggrößen in Abhängigkeit der Schlaganzahl dargestellt.

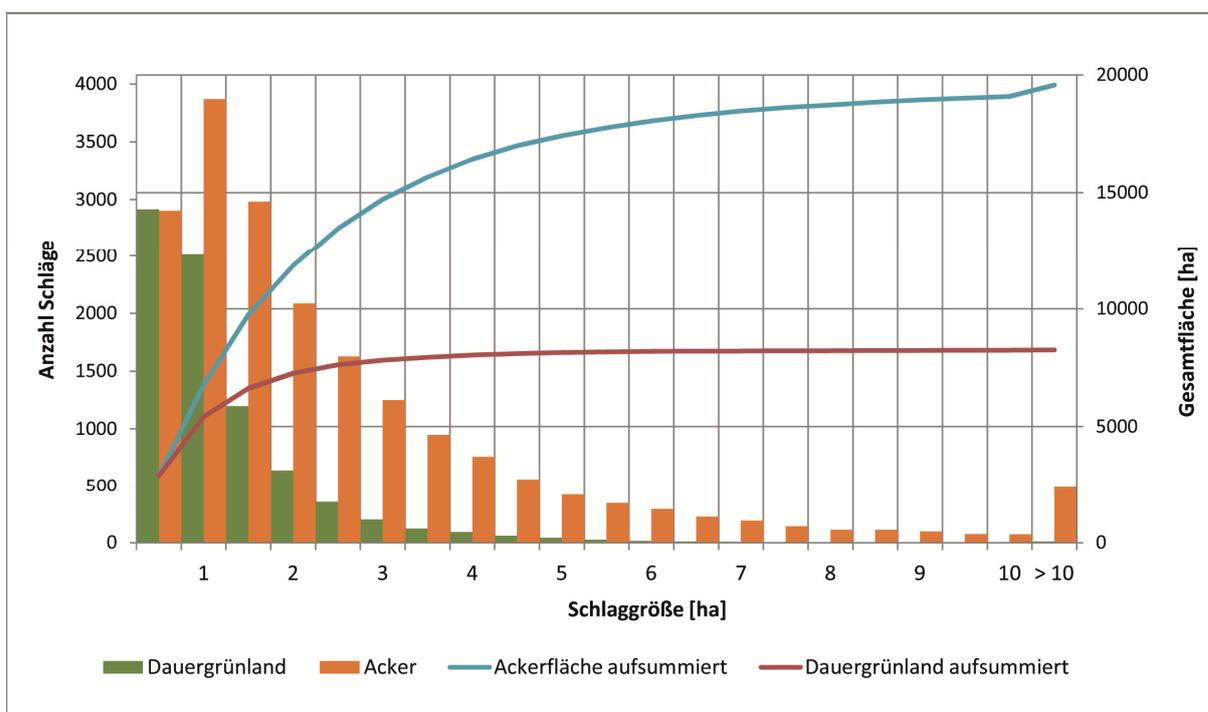


Abb. 7 – Schlaggrößen im Landkreis Göttingen, differenziert nach Acker- und Dauergrünlandschlägen (eigene Darstellung auf Basis der Kartierung)

3.2 Ausweisung von naturschutzrechtlich und -fachlich restriktiven Gebieten

Zu der Frage nach Eignungsflächen für Energiehölzer zählt auch die Prüfung der Auswirkungen auf Naturschutz-relevante Gebiete. Demnach gelten für das Untersuchungsgebiet FFH-Gebiete, Naturschutzgebiete und nach § 30 BNatSchG besonders geschützte Biotope als Ausschlusskriterium für den Anbau von Energiehölzern. Als Puffer werden 20 m um die Schutzgebiete gelegt. Zusätzlich zu den Ausschlussflächen bestehen Einschränkungen an Gewässerrändern erster und zweiter Ordnung in Form von 5 m Pufferstreifen. Die Summe der dadurch betroffenen Schlagflächen liegt insgesamt bei geringen 25 ha. Die Fläche der aufgeführten Ausschlussgebiete, abzüglich der Überlagerungen, beträgt 16.549 ha. Bezogen auf die Standorteignungsflächen für Energieholz (s. Abschnitt 2.3) entspricht dies 17,2 %, dementsprechend 38.975 ha. Im EU-Vogelschutzgebiet liegen 6492 ha der Eignungsflächen, was bedeutet, dass auf diesen 16,3 % der Eignungsflächen zwar KUP angebaut werden können, die Präferenz allerdings aufgrund des vorkommenden Rotmilans auf AFS liegt.

Auf nachfolgender Karte sind die Verteilung der verschiedenen Schutzgebiete und die Ausschlussflächen zu sehen. Schwarz markiert sind die Bereiche, in denen die meisten Ausschlussflächen liegen.

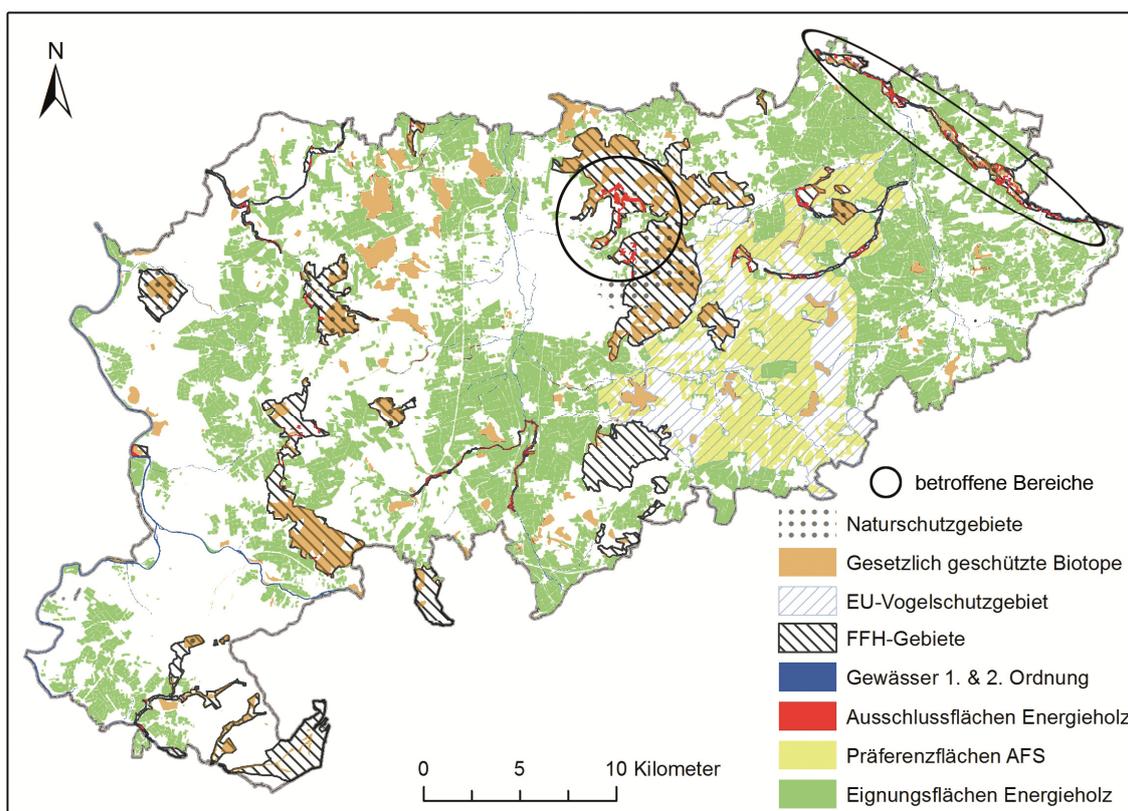


Abb. 8 – Übersicht der relevanten Schutzgebiete und deren Auswirkungen auf die Eignungsflächen für Energieholz (eigene Darstellung auf Basis der Daten des NLWKN)

3.3 Einfluss der Hangneigung auf die Flächenbewirtschaftung

Wie aus

Abb. 9 deutlich hervorgeht, ist der Anteil der Flächen, die sich aus Gründen der Hangneigung für den Anbau von Energieholz als ungeeignet darstellen, verschwindend gering. Lediglich 0,2 % der standortgeeigneten Energieholzfläche muss aufgrund einer Hangneigung $> 20\%$ ausgeschlossen werden. Hinsichtlich der eingeschränkt nutzbaren Flächen (10 – 20 % Hangneigung) liegt die Zahl bei 12,9 %. Demzufolge ist der Anbau von Energieholz aus Sicht der Erntetechnik auf 86,9 % der standörtlich geeigneten Schläge ohne Einschränkungen möglich. Die Lage der nur eingeschränkt nutzbaren Schläge liegt hauptsächlich im östlichen Teil des Landkreises. Der Zentralbereich ausgenommen, wo kaum Schläge eine Neigung von $> 10\%$ aufweisen, sind im südlichen und östlichen Randbereich, an der östlichen Grabenschulter und teilweise im Norden des Untersuchungsgebietes Schläge stärker als das geeignete Maß geneigt.

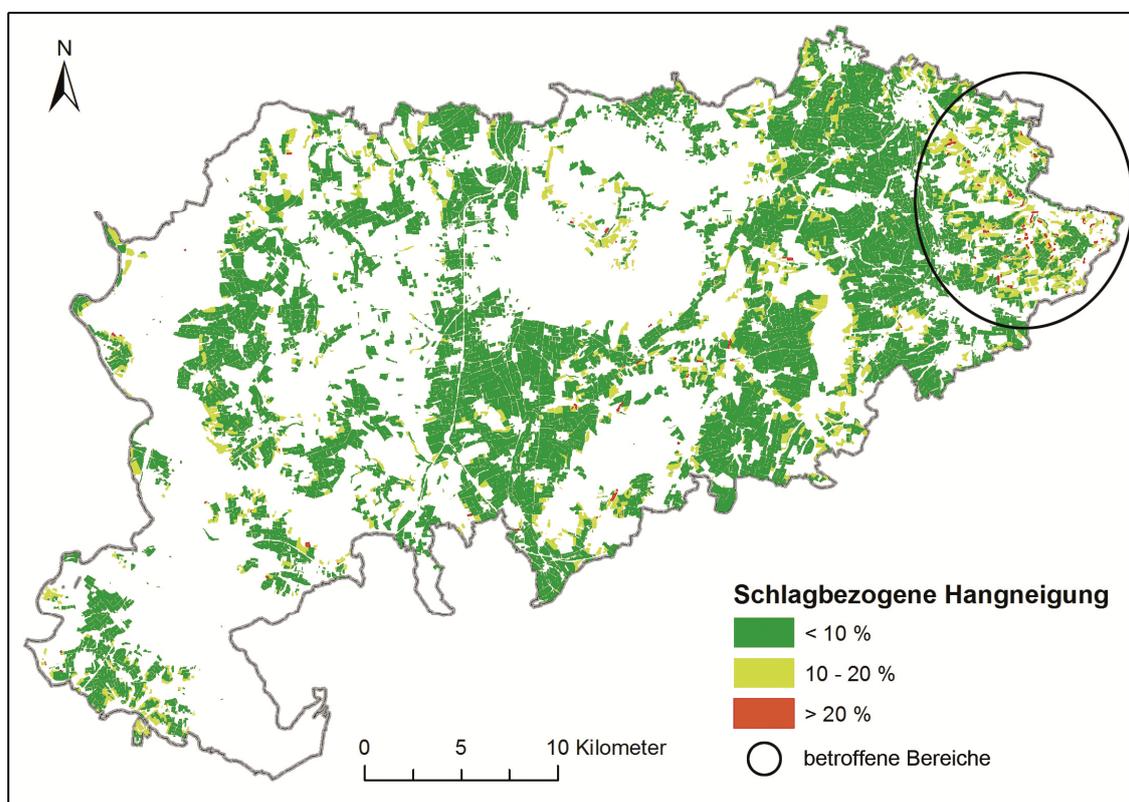


Abb. 9 – Darstellung der schlagbezogenen Hangneigung für die potenziell für Energieholz geeigneten Ackerschläge im Landkreis Göttingen (eigene Darstellung auf Basis des DGM 5)

3.4 Indikatorbasierte Analyse von Schlagformen

3.4.1 Beschreibung der Feldstücke anhand der angewandten Indices

Die Analyse der Schlagformen erfolgte anhand der in Abschnitt 2.3 erläuterten Indices. In Abb. 10 ist die Anwendung der Indices $\text{Rechteckigkeit}_{\text{FLÄCHE}}$, $\text{Rechteckigkeit}_{\text{BREITE}}$ und Konvexität zu sehen.



Abb. 10 – Anwendung der Indices an exemplarisch ausgewählten Schlägen

Zusätzlich zu den Indices Rechteckigkeit und Konvexität wurde die Länglichkeit der Objekte über das Verhältnis von Länge zu Breite (LBV) beschrieben, dreieckige Formen konnten über den Index Dreieckigkeit erfasst werden. In nachfolgender Tabelle (Tab. 6) sind die anhand der visuellen Kalibrierung und Validierung zugeteilten Grenzwerte abgebildet. Alle existierenden Formen wurden auf diese Weise in sechs Klassen unterteilt. Die kleinste Ziffer beschreibt den optimalsten Flächenzuschnitt: ein *konvexes Rechteck* (1). Die Ziffern 2 – 4 stehen zwar für Rechtecke, doch wird die Bearbeitung mit landwirtschaftlichen Maschinen mit ansteigender Zahl aufgrund von zunehmenden Einschränkungen wie beispielsweise ungerade Seiten ungünstiger. Des Weiteren nimmt der Grad an Rechteckigkeit und Konvexität ab. Die Klasse der *dreieckigen Formen* (5) wird als einzige zusätzlich unter Verwendung des Index „Dreieckigkeit“ beschrieben. *Unregelmäßige Formen* (6) sind aufgrund ihrer geringen

Rechteckigkeit nicht mehr als Viereck zu bezeichnen; als einzige Klasse findet hier der Index „Konvexität“ keine Anwendung. Die Buchstaben „a“ und „b“ unterteilen die sechs Klassen jeweils in zwei Typen, in langgestreckte und kompakte Formen. Hieraus ergeben sich im Gesamten 12 Formtypen.

Tab. 6 – Grenzwerte und Ergebnisse der Klassifikation

Bezeichnung	Rechteckigkeit	Konvexität	Dreieckigkeit	Länge: Breite-Verhältnis (LBV)	Typ	Klasse	Relativer Flächenanteil an der Ackerfläche
Rechteck - konvex	$\geq 0,8$	$\geq 0,98$	-	≥ 2	a	1	42,1%
				< 2	b		
Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit - konvex	$\geq 0,66; < 0,8$	$\geq 0,98$	-	≥ 2	a	2	10,3%
				< 2	b		
Rechteck - konkav	$\geq 0,8$	$< 0,98$	-	≥ 2	a	3	10,9%
				< 2	b		
Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit - konkav	$\geq 0,66; < 0,8$	$< 0,98$	-	≥ 2	a	4	19,7%
				< 2	b		
Dreieck	$\geq 0,4; < 0,66$	$> 0,75$	$\geq 0,5; \leq 0,61$	≥ 2	a	5	3,1%
				< 2	b		
unregelmäßiges Objekt	$< 0,66$	-	-	≥ 2	a	6	13,8%
				< 2	b		

Anhand dieser Werte wurden alle Flächen einer der 12 Typen zugeordnet. Auf dem nachstehend abgebildeten Ausschnitt sind die verschiedenen Typen zu erkennen. Die Schriftzeichen zeigen an, ob die Fläche kompakt ($LBV < 2$) oder gestreckt ist ($LBV \geq 2$).

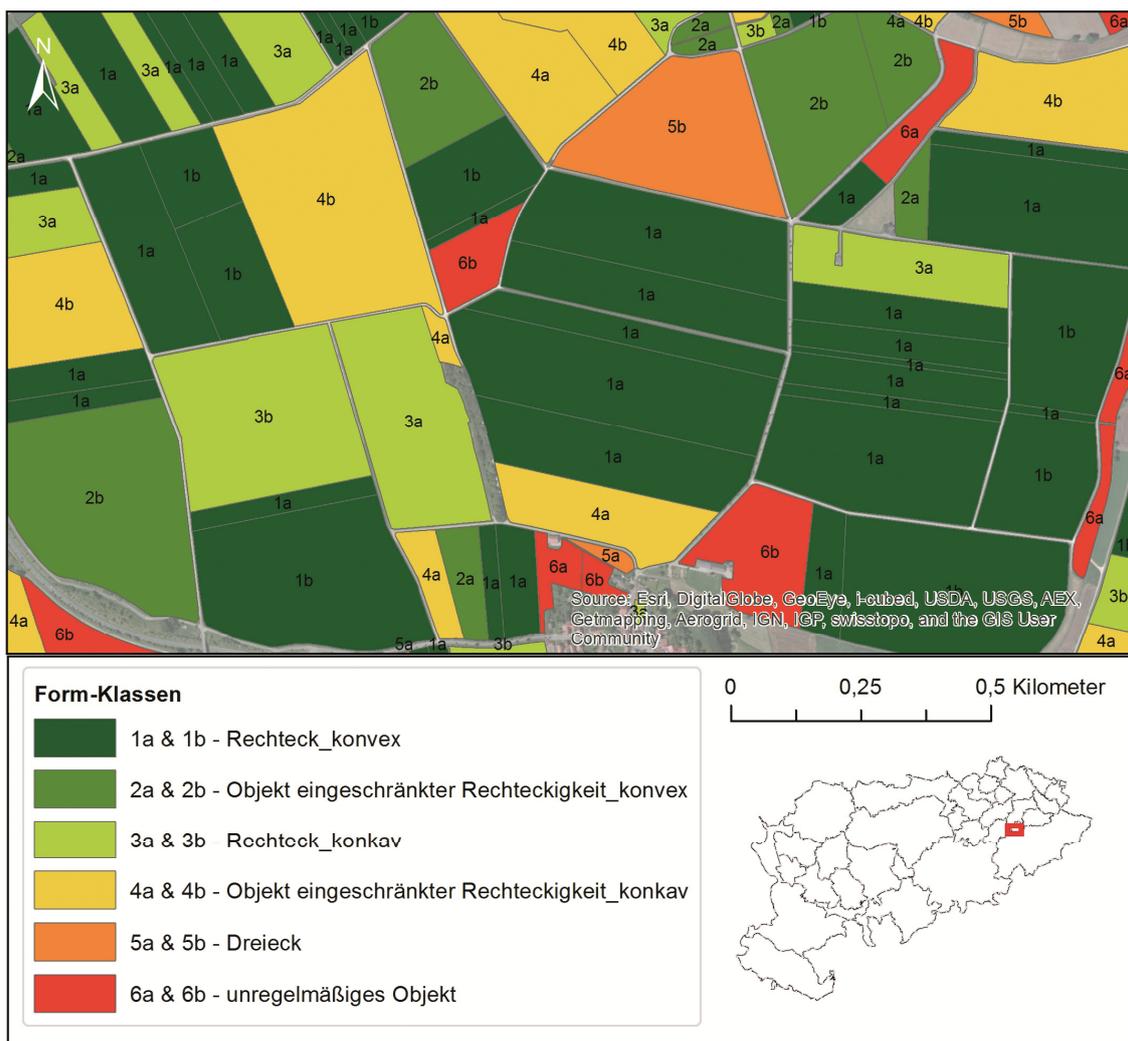


Abb. 11 – Ausschnitt aus dem Resultat der Flächenklassifikation (a - gestreckt; b – kompakt)

Wie aus Abb. 12 hervorgeht, wird der mit Abstand höchste Anteil der Ackerfläche im Landkreis Göttingen aus *konvexen Rechtecken* gebildet. Knapp ein Fünftel besteht aus *konkaven Objekten eingeschränkter Rechteckigkeit*, gefolgt von *unregelmäßigen Objekten*, *konkaven Rechtecken* und *konvexen Objekten eingeschränkter Rechteckigkeit*. Den kleinsten Anteil machen die *Dreiecke* aus.

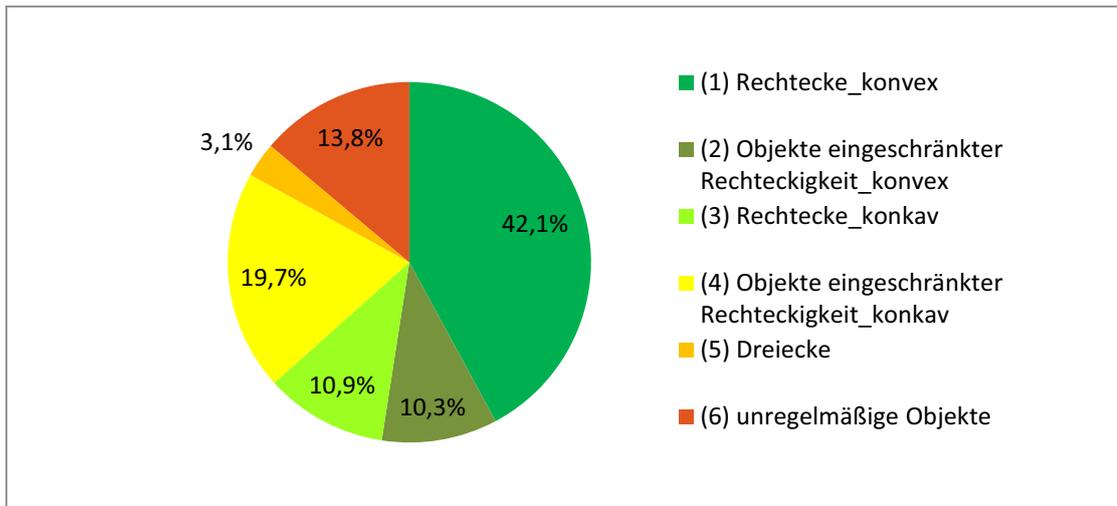


Abb. 12 – Anteil der Schlagformen an der Ackerfläche

3.5 Ermittlung der Grundzeit für verschiedene Schlagformen und -größen

Um herauszufinden, wie hoch die Flächenleistung für eine bestimmte Flächenform ist, wurden aus den Medianwerten der Indices formtypenspezifische Modellschläge konstruiert. In folgender Abbildung sind diese 12 Modelle mit den entsprechenden Index-Werten abgebildet.

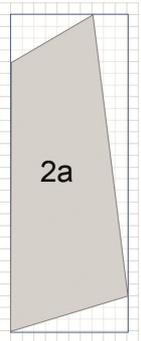
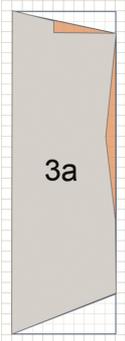
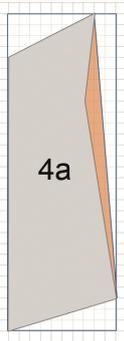
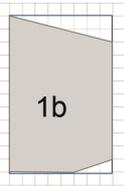
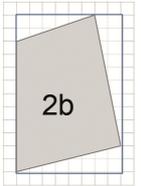
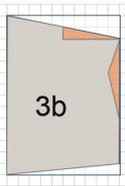
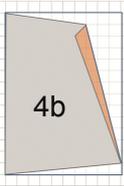
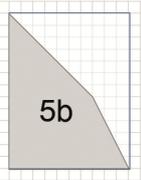
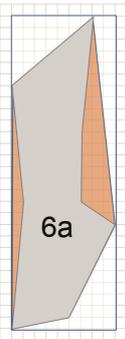
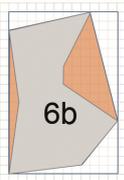
Indices	Schlagtypen			
				
Rechteckigkeit	0,92	0,76	0,86	0,73
Konvexität	1	1	0,96	0,91
LBV	3,5	2,7	3,1	2,9
				
Rechteckigkeit	0,9	0,75	0,85	0,73
Konvexität	1	1	0,95	0,93
LBV	1,5	1,5	1,4	1,4
				
Rechteckigkeit	0,53	0,57	0,58	0,6
Konvexität	0,96	0,98	0,79	0,85
LBV	2,5	1,3	3,0	1,5
Dreieckigkeit	0,6	0,6	-	-

Abb. 13 – Darstellung der 12 Modellschläge, welche anhand der Medianwerte der Indices gebildet wurden und alle Schlagtypen repräsentieren

Auffallend sind die großen Differenzen der Verhältnisse von Länge zu Breite der gestreckten Formklassen: Der Median der *Objekte eingeschränkter Rechteckigkeit_konvex (2a)* liegt bei $LBV = 2,7$, wogegen er bei den *Rechtecken_konvex (1a)* einen Wert von 3,9 aufweist.

Anhand der Modellschläge ließen sich die Flächenleistungen aller Formtypen für unterschiedliche Schlaggrößen ermitteln. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist der Vergleich der einzelnen Formen, statt in den 12 Formtypen, lediglich in den 6 Formklassen dargestellt (ohne Berücksichtigung des LBV) (Abb. 14).

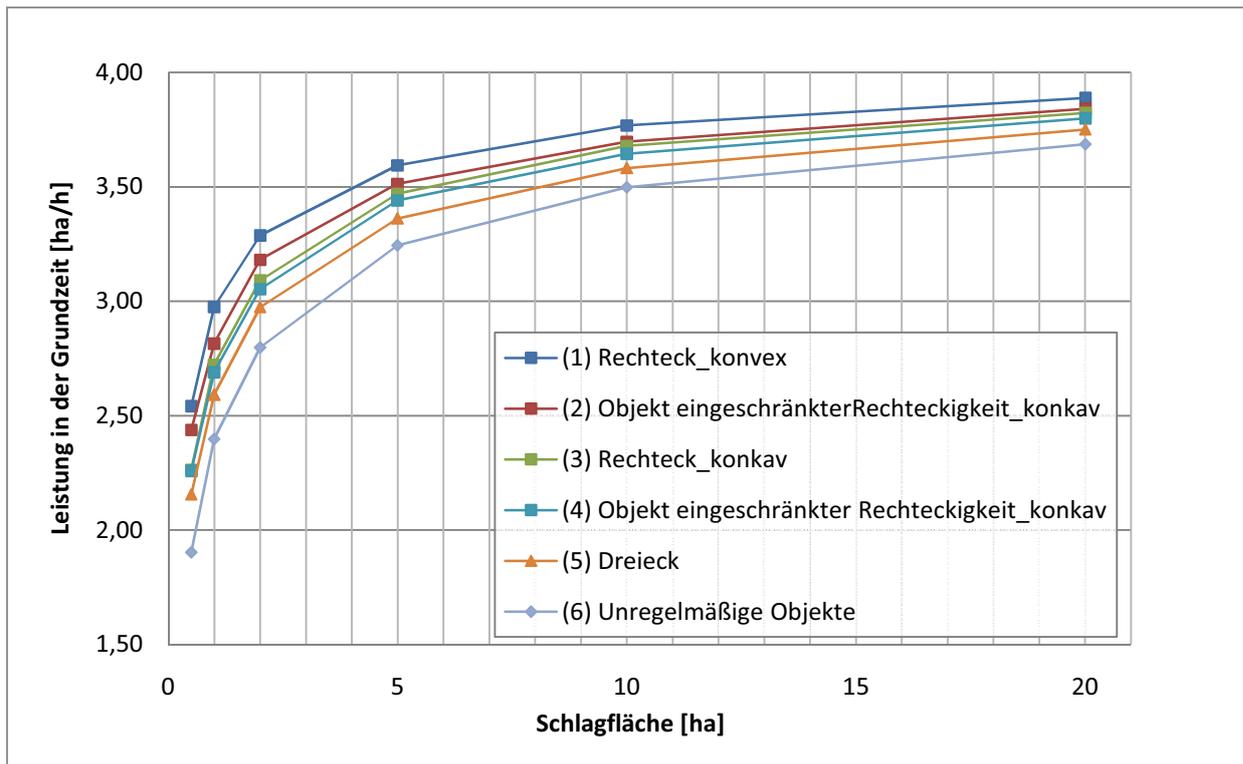


Abb. 14 – Effekte der Schlagform und -größe auf die Leistung der Grundzeit

Die höchste Steigerung der Flächenleistung liegt im Bereich von 0,5 bis 2 ha und etwas geringer von 2 bis 5 ha; anschließend flacht die Kurve ab. Demnach benötigen kleine Schläge, genauso wie ungünstige Geometrien, einen höheren Zeitbedarf. So ist aus der Grafik beispielsweise ablesbar, dass für ein *unregelmäßiges Objekt (6)* in einer Größe von 5 ha in etwa die gleiche Grundzeit benötigt wird wie für ein 2 ha großes *Rechteck_konvex (1)*. Mit abnehmender Schlaggröße vergrößert sich Spanne zwischen höchster und niedrigster Flächenleistung (s. Abbildung A 3, Anhang).

Wie bereits erwähnt, sind die 6 Formklassen je nach Ausdehnung des Objekts in 12 Typen unterteilt. Um den Zeitbedarf für landwirtschaftliche Tätigkeiten auf Schlagebene zu ermitteln, ist der hierbei berücksichtigte Faktor LBV von wesentlicher Bedeutung. Dessen Einfluss auf die Grundzeit ist exemplarisch für die Typen *Rechteck_konvex (1)* und *Objekte eingeschränkter Rechteckigkeit_konkav (4)* in Abb. 15 dargestellt.

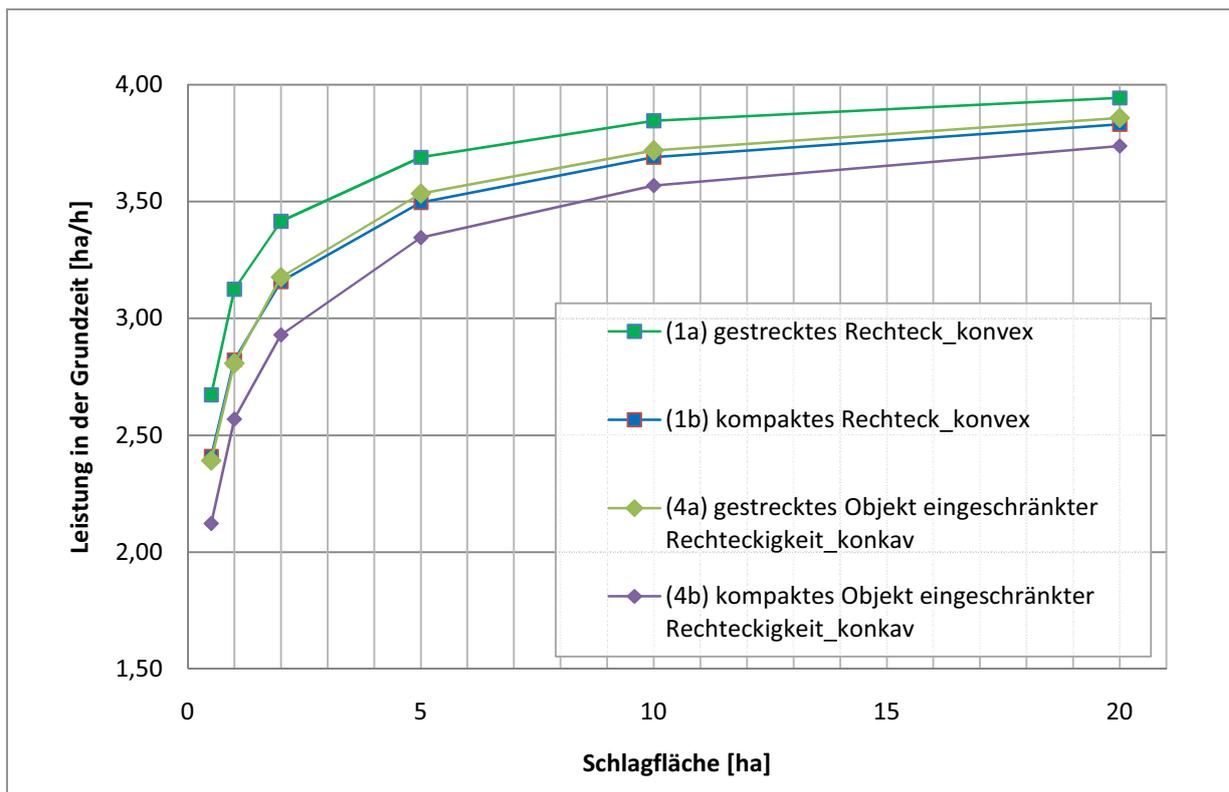


Abb. 15 – Vergleich der Schlagformen *Rechteck_konvex* und *Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit_konkav* in gestreckter (a) und kompakter Form (b)

Die Abbildung zeigt, dass selbst ein *Rechteck_konvex* (1a) (optimalste Form), welches ein LBV von 1,5 hat, eine geringere Flächenleistung aufweist, als ein *Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit_konkav* (4b) mit einem LBV von 2,9. In der Größe von 1 ha ist die Flächenleistung des Typ 4b im Vergleich zu Typ 1a um knapp 18 % geringer. Aus den gemessenen Werten geht zudem hervor, dass ein *kompaktes unregelmäßiges Objekt* Typ (6b), verglichen mit dem Typ 1a, bei 1 ha Größe eine um 30 % höhere Flächenleistung aufweist (Werte siehe Tabelle T 2, Anhang).

Die ermittelten Werte zur Flächenleistung konnten klassenspezifisch durch logarithmische Funktionen beschrieben werden. Das Bestimmtheitsmaß liegt zwischen 0,943 und 0,982, dementsprechend besteht eine relativ hohe Übereinstimmung der Funktionen mit den ermittelten Daten. Alle zwölf Trendlinien haben eine sehr ähnliche Figur, weshalb aus Gründen der Übersichtlichkeit lediglich die Graphen von vier Typen veranschaulicht wurden (Abb. 16). Die Abbildung der Funktionen und Trendlinien aller Klassen sind dem Anhang zu entnehmen (Tabelle T 3, Abbildung A 2, Anhang).

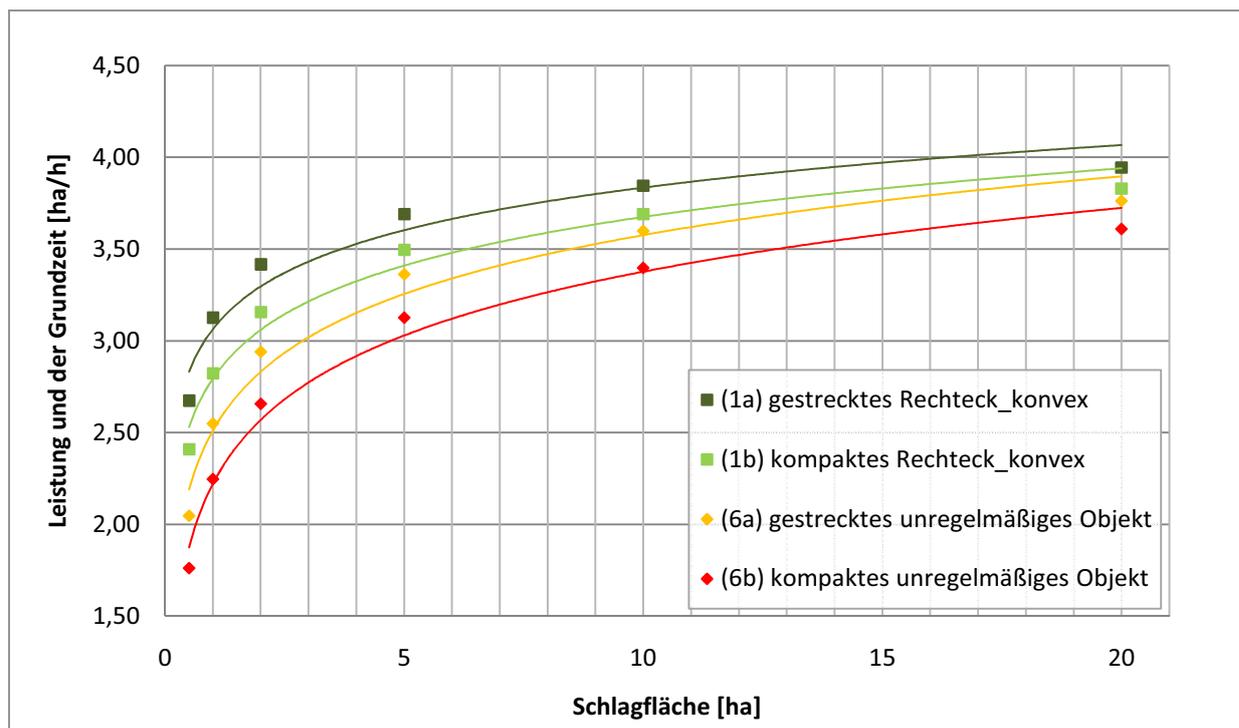


Abb. 16 – Trendlinien logarithmischer Funktionen exemplarisch aufgezeigt für vier Formtypen im Vergleich zu den gemessenen Werten

Die Trendlinien liegen im Bereich von < 1 ha und > 10 ha über den ermittelten Werten; zwischen 1 und 10 ha liegen sie, wenn auch nur gering, darunter. Nicht ersichtlich ist, inwiefern die Kurve im Bereich > 20 ha über den Messwerten liegt. Da jedoch alle Trendlinien eine sehr ähnliche Figur aufweisen, ist die Vergleichbarkeit zwischen den Formtypen, wenn auch geringfügig eingeschränkt, gegeben.

Über die schlagspezifischen Flächenleistungswerte lassen sich die Schläge miteinander vergleichen. Dies ermöglicht die Analyse von unterschiedlich effizienten Formen und Größen der im Untersuchungsgebiet existierenden Schläge. Der folgende Abschnitt baut auf die hier gewonnen Ergebnisse auf und untersucht mögliche Präferenzschläge für Energieholz.

3.6 Analyse von Anbaupräferenzen für KUP oder AFS mit Fokus auf Flächenform und –größe

3.6.1 Präferenzen auf Grundlage geringer Flächenleistung

Die vorangegangenen Ergebnisse ermöglichen die Beantwortung der ursprünglichen Fragestellung: Auf welchen Schlägen sind aus Sicht der Bearbeitungseffizienz primär annuelle Kulturen, KUP oder AFS-O geeignet? Zunächst gilt es, Schläge mit Priorität für den Energieholzanbau zu definieren: Als Vorteilsflächen gelten Schläge, die eine verhältnismäßig geringe Flächenleistung aufweisen und somit für annuelle Kulturen als relativ ungünstig ein-

zustufen sind. Hierfür müssen die Flächenleistungswerte nach günstig oder ungünstig für annuelle Kulturen differenziert werden:

In Abb. 17 ist die Trendlinie der logarithmischen Funktion, basierend auf dem arithmetischen Mittelwert aller Formtypen dargestellt. Zudem ist die Stelle gekennzeichnet, an der der Steigungsschwellenwert von 0,1 ha/h unterschritten wird. Dementsprechend liegt der Grenzwert für die Leistung in der GZ bei 3,00 ha/h. Daraus folgt, dass für alle Schläge mit einer Flächenleistung < 3,00 ha/h der flächenhafte Anbau von Energieholz (KUP) als prädestiniert angesehen wird (grün). Gemessen an der standortökologischen Eignungsfläche für Energiehölzer (abzüglich Restriktionen des Naturschutzes und der Hangneigung) weisen 46,3 % der Schläge eine Flächenleistung < 3,00 ha/h auf; bezogen auf die Schlagflächen entspricht dies 18,4 %. Diese Zuweisung von KUP-Flächen steht unter dem Vorbehalt, dass suboptimale Schlagformen möglicherweise durch Energieholzteilflächen optimiert werden können, was im folgenden Abschnitt behandelt wird.

Vergleicht man die Formtypen und Schlaggrößen hinsichtlich des Grenzwertes (3,00 ha/h), ergibt sich ein differenziertes Bild: Gilt ein *gestrecktes Rechteck_konvex* bereits ab einer Größe von 0,9 ha als günstig zu bewirtschaften, ist dies bei *kompakten unregelmäßigen Objekten* erst ab einer Größe von 4,8 ha der Fall (s. Abb. 16).

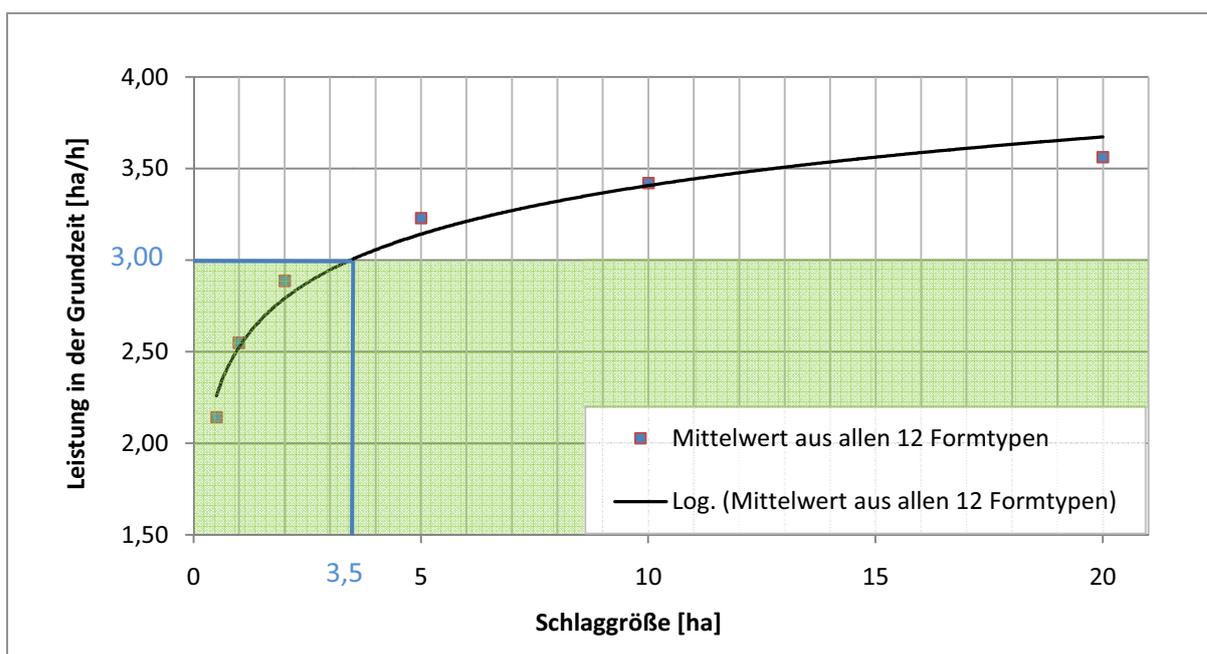


Abb. 17 – Zuteilung der Flächenleistung über einen Steigungsschwellenwert (blau) auf Basis der logarithmischen Funktion des arithmetischen Mittelwerts aller 12 Formtypen

3.6.2 Präferenzen durch Schlagoptimierung

Neben der rein arbeitszeitlichen Betrachtung lassen sich anhand der Daten zur Flächenleistung in der GZ auch Schläge identifizieren, die durch eine Schlagoptimierung eine höhere Flächenleistung erzielen. Als Schlagoptimierung gilt in dieser Arbeit der Anbau von Energie-

hölzern auf Teilflächen eines Schlages mit dem Ziel der Flächenbegradigung („AFS-O“). Da *dreieckige Formen* und *unregelmäßige Objekte* in der Praxis in unterschiedlichsten Ausprägungen vorliegen, wurden sie in die Analyse nicht mit einbezogen. Von den verbleibenden vier Formklassen weisen die *konvexen Rechtecke* die höchste Flächenleistung auf, weshalb sie als „Optimumflächen“ gelten. Demnach kann ein suboptimales Viereck durch eine Schlagformoptimierung zu dieser Form verändert werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das bereits bekannte Schaubild (in dieser Version, aus Gründen der Übersichtlichkeit, exemplarisch für die Gruppe der Vierecke die Formklassen *Rechteck_konvex* (1) und *Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit_konkav* (4)). Die skizzierten Linien (rot) kennzeichnen beispielhaft für einen 5 ha Schlag der Klasse 4 das Optimierungspotenzial: Zwar verringert sich in der Annahme die Schlaggröße durch den Energieholzanbau um 15 %, doch ändert sich die verbleibende Form zu einem *konvexen Rechteck*. Auf diesem können durch die Begradigung annuelle Kulturen in einer höheren Flächenleistung bewirtschaftet werden. Für das abgebildete Beispiel bedeutet dies eine Steigerung der Flächenleistung um 3,2 %.

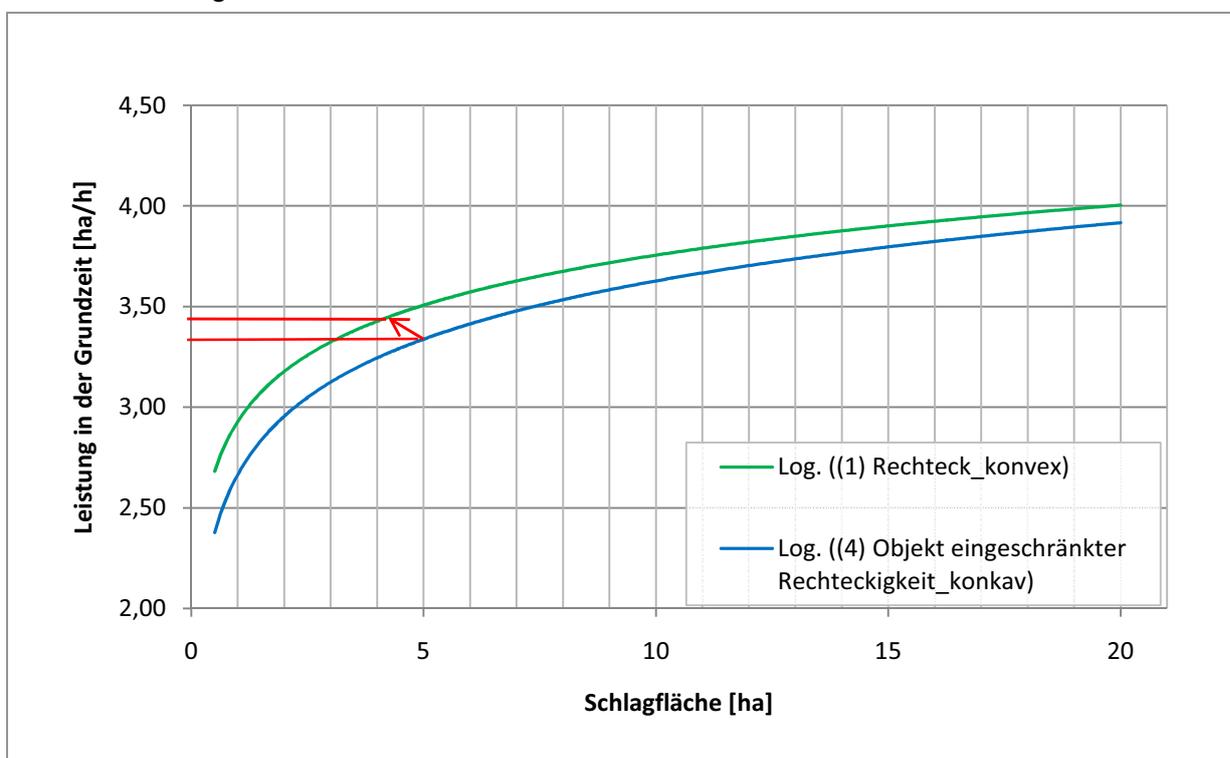


Abb. 18 – Effekt der Schlagoptimierung beispielhaft dargestellt an den Klassen 1 und 4 und für die Schlaggröße von 5 ha

Für die drei zu optimierenden Formklassen (2, 3, 4) ist in Abb. 19 die Differenz zwischen der eigenen Flächenleistung und der einer um 15 % kleineren „Optimumfläche“ dargestellt. Hieraus lässt sich das Optimierungspotenzial aller drei Klassen ablesen. *Konkave Objekte eingeschränkter Rechteckigkeit* (4) haben, in der Annahme, dass durch einen Begradigungsflächenanteil von 15 % ein konvexes Rechteck (1) erzeugt werden kann, das im Vergleich zu den Formklassen 2 und 3 höchste Optimierungspotenzial. *Konkave Rechtecke* (3) liegen mit

geringem Abstand darunter. Die Optimierung eines *konvexen Objektes eingeschränkter Rechteckigkeit* (2) hat den mit Abstand geringsten Effekt auf eine Steigerung der Flächenleistung. Für alle drei Typen gilt, dass mit zunehmender Flächengröße das Optimierungspotenzial abnimmt. Bei den Typen 2 und 3 wirkt sich eine Optimierung ab einer Flächengröße von ca. 17 ha negativ aus.

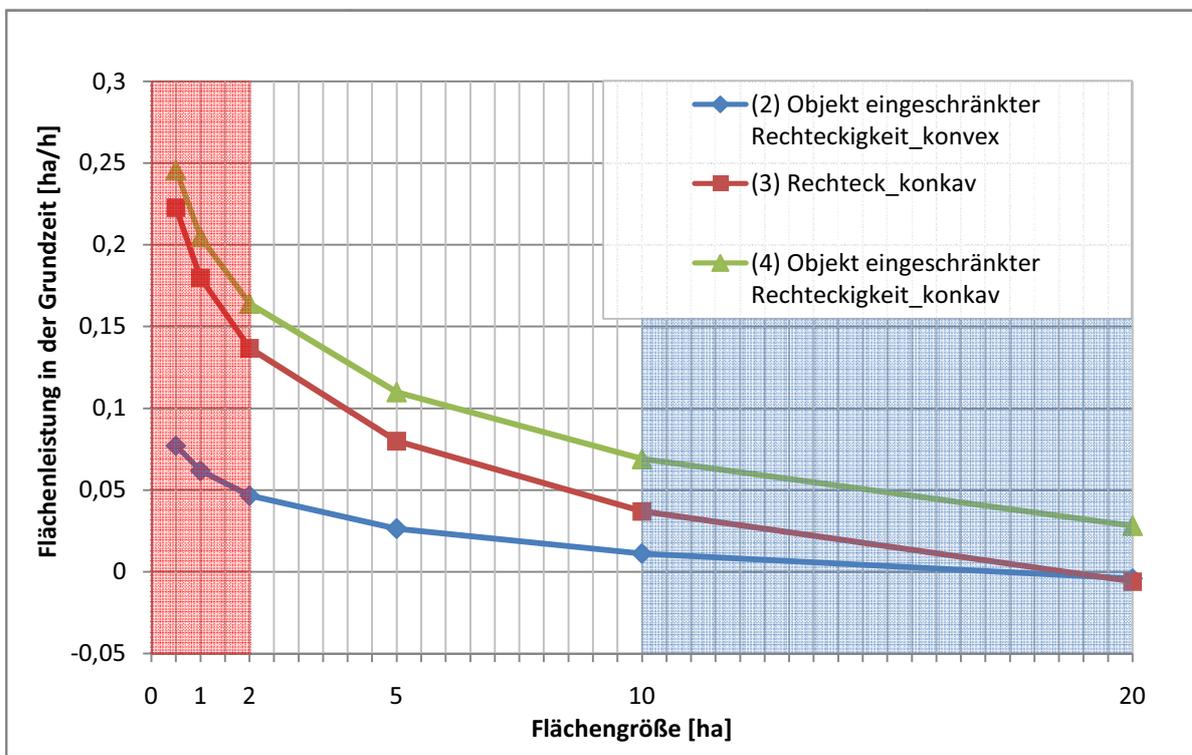


Abb. 19 – Differenz zwischen der Flächenleistung eines zu optimierenden Schlages und der Flächenleistung der „Optimumfläche“ (*Rechteck_konvex*)

Auf Basis dieser Werte könnten alle drei Formklassen bis zu einer Flächengröße von 17 ha (2), 18 ha (3) oder > 20 ha (4) als optimierungsfähig eingestuft werden. Allerdings werden nur die Formklassen 3 und 4 als optimierungsfähig klassifiziert, Formklasse 2 dagegen aufgrund des deutlich geringeren Potenzials nicht.

Im Bereich von < 2 ha (rot) ist eine Optimierung aufgrund zu kleiner Energieholzteilflächen förderrechtlich nicht sinnvoll (s. Abschnitt 2.8.2). Der blau hinterlegte Bereich kennzeichnet die Schlaggrößen, die aus Sicht der Landschaftstruktur als nachteilig für eine Bestockung mit Energiehölzern angesehen wird.

In Tab. 7 sind die Klassifikationskriterien, betroffene Formtypen und deren Flächenanteile zusammengefasst. Die Zahlen, wie auch die daran anschließende Abbildung, beziehen sich auf die Standorteignungskarte für Pappeln (s. Abschnitt 2.3) abzüglich der Restriktionen durch Naturschutz und Hangneigung (s. Abschnitt 3.2 & 3.3). Demnach sind 22,7 % der Eignungsfläche für die Optimierung durch AFS-O geeignet. Auf 13,5 % der Fläche bietet sich

aufgrund geringer Flächenleistungen der Anbau von KUP an. Die Formtypen *Dreiecke* und *unregelmäßige Objekte* in der Klasse „AFS-O oder KUP“ werden auf 4,6 % der Fläche als vorteilhaft gegenüber annuellen Kulturen angesehen. Zusammengefasst entspricht die Summe von 15.860 ha, die als vorteilhaft für den Energieholzanbau angesehen wird, einem Anteil von 40,8 % an der Eignungsfläche. Bezogen auf den Ertrag erreichen über 50 % der Präferenzschläge mehr als $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Tab. 7 – Klassifikation der Anbaupräferenzen

Anbausystem	Formtypen	Kriterien	Fläche	Flächenanteil an der Eignungsfläche
AFS-O	3, 4	2 – 10 ha	8.821 ha	22,7 %
	5, 6	5 – 10 ha		
AFS-O / KUP	5, 6	2 – 5 ha	1.795 ha	4,6 %
KUP	1 – 6	< 5 ha < 3,00 ha/h	5.242 ha	13,5 %
SUMME			15.860 ha	40,8 %

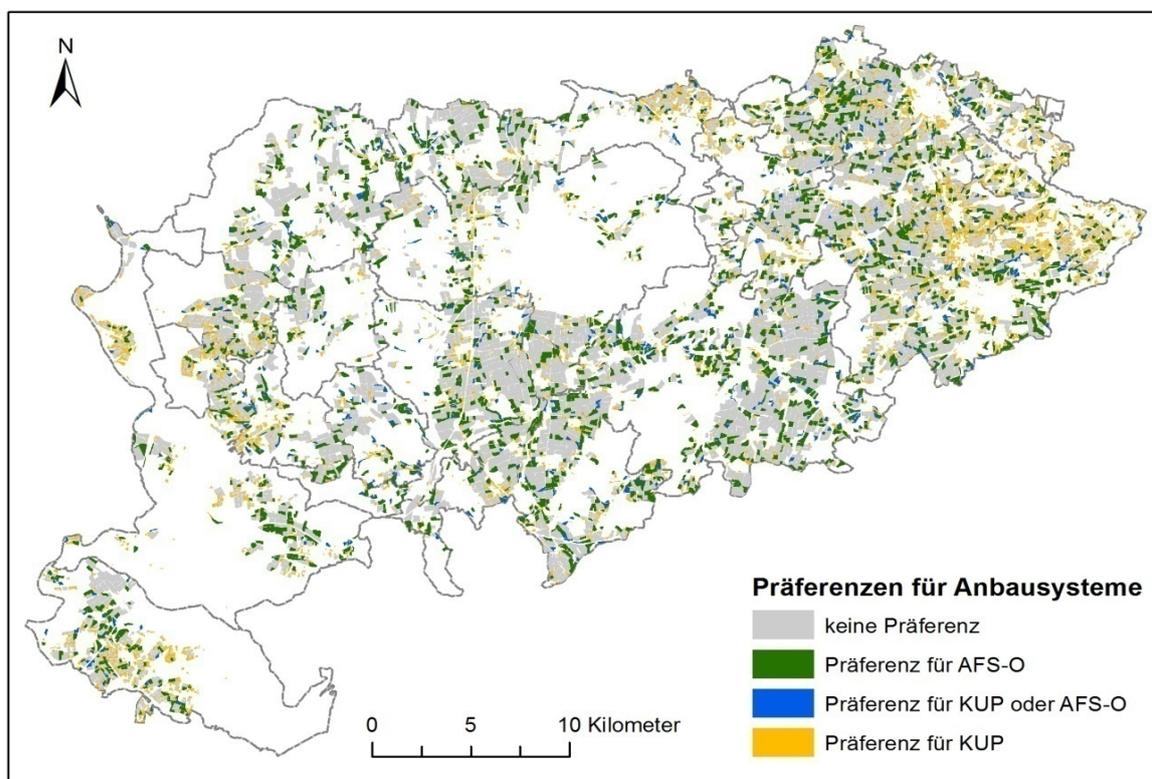


Abb. 20 – Anbaupräferenzen für KUP oder AFS-O unter Berücksichtigung der Flächenleistung

3.7 Ermittlung der potenziellen Erosionsgefährdung und schlagbezogenen Minderungspotenzialen

Die größten Schutzeffekte lassen sich auf Standorten mit einer sehr hohen potenziellen Erosionsgefährdung (Enat5) erzielen. Als Einschränkung ist auch hier die Hangneigungen > 10 % zu beachten (s. Abschnitt 2.5). In nachstehender Tabelle (Tab. 8) sind die Schläge nach der Stufe der potenziellen Erosionsgefährdung und Hangneigung eingeteilt. Die Flächenanteile beziehen sich auf die standortökologische Eignung (s. Abschnitt 2.3) abzüglich der Restriktionen durch Naturschutz und Hangneigung (s. Abschnitt 3.2 & 3.3).

Tab. 8 – Optionen für Erosionsminderung durch Energieholz

Energieholz als Erosionsschutz	Erosionsstufe	Hangneigung	Fläche	Flächenanteil an der Eignungsfläche	
Uneingeschränkt geeignet	Enat5	< 10 %	15.470 ha	39,8 %	52,3 %
Eingeschränkt geeignet	Enat5	10 – 20 %	4.850 ha	12,5 %	
Nicht notwendig*	Enat0 – 4	0 – 20 %	18.590 ha	47,8 %	

*aus rechtlicher Sicht

Der Anteil der potenziell sehr hoch erosionsgefährdeten Schläge an der Eignungsfläche für Energiehölzer liegt bei über 50 %. Knapp 40 % haben eine Hangneigung < 10 %, was bedeutet, dass auf diesen Schlägen die Ernte von Energiehölzern mit vergleichbar geringen Einschränkungen möglich wäre (s. Abschnitt 2.5). Zusammengefasst bedeutet dies ein Erosionsminderungspotenzial auf über der Hälfte der Schläge, die sich für den Anbau von Energiehölzern eignen.

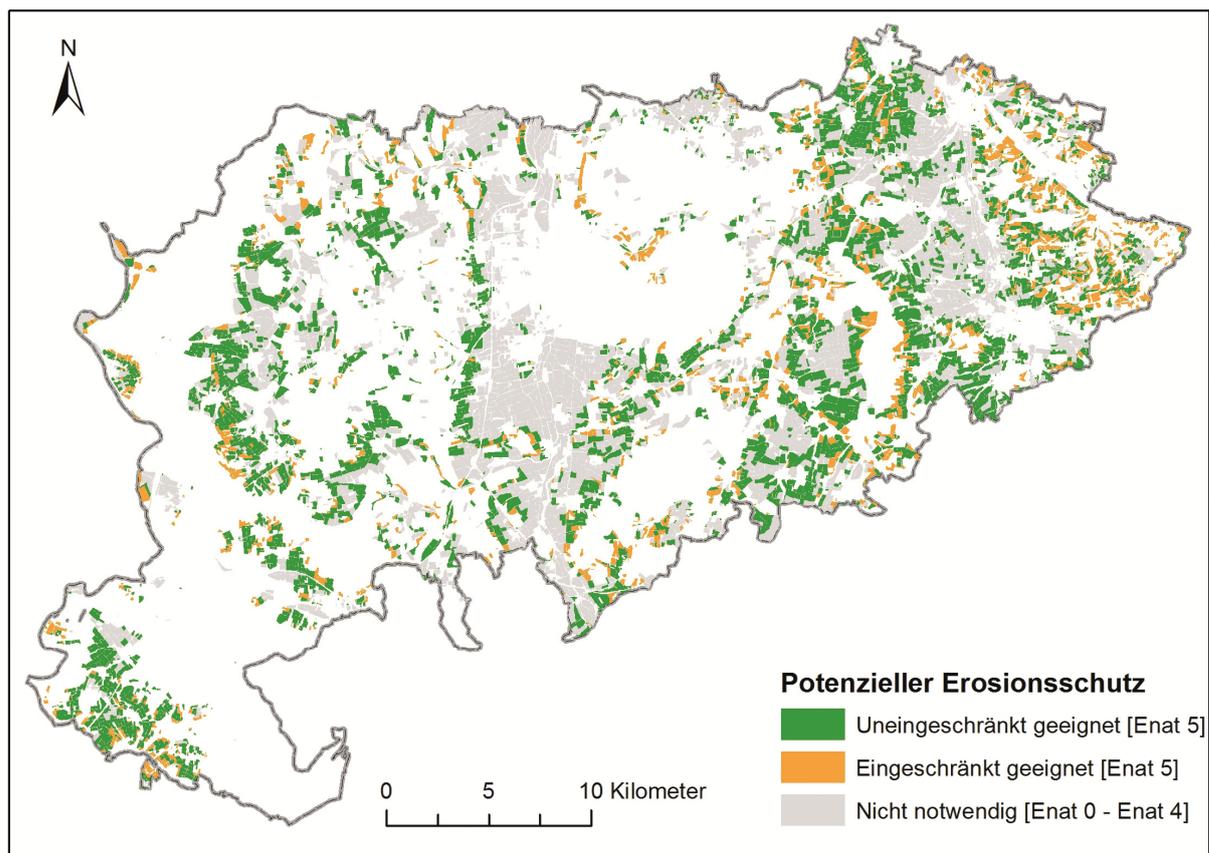


Abb. 21 – Übersicht über die Schläge, auf denen der Anbau von Energieholz als Erosionsschutz geeignet ist, differenziert nach Einschränkungen durch die Hangneigung

3.8 Zusammenfassung der Ausschluss-, Eignungs- und Präferenzschläge

Von der ursprünglichen Gesamt-Ackerfläche (47.020 ha) eignen sich 84,6 % für den Pappel-anbau (39.780 ha). Abzüglich der betroffenen Schläge auf Ausschlussflächen des Naturschutzes (810 ha) und mit einer Hangneigung über 20 % (80 ha) ergibt das ohne Flächen-doppelungen eine Summe von 38.900 ha. Demzufolge ist auf 82,7 % der Ackerfläche im Landkreis Göttingen der Anbau von Energieholz grundsätzlich möglich. Auf Flächen mit einer Hangneigung von 10 – 20 % ist der Anbau nur eingeschränkt realisierbar. Diese Flächen nehmen 12,8 % der verbleibenden Eignungsfläche ein. Hinzu kommt noch die Präferenz für AFS im Vogelschutzgebiet. Diese machen 6.492 ha und damit 16,7 % der Eignungsflächen aus.

Schläge, auf denen der Energieholzanbau vorteilhaft sein kann, wurden unter dem Aspekt der Flächenleistung und des Erosionsschutzes betrachtet. Auf Grundlage dieser Untersuchung sind, bezogen auf die potenzielle Eignungsfläche, 40,8 % aus Sicht der Bearbeitungseffizienz und 52,3 % entsprechend der Erosionsminderung prädestiniert für die Anlage von Energiehölzern (s. Abschnitt 3.6 & 3.7). Der Anteil der Erosionsminderung, bezogen auf die

Präferenzschläge aus Sicht der Bearbeitungseffizienz, ergibt einen Flächenanteil von 58,4 %. In nachfolgender Abbildung ist das Zustandekommen dieser Werte veranschaulicht. Der Anteil der Eignungsfläche, welcher aus Sicht der Bearbeitungseffizienz als günstig gilt („mit Präferenz“), ist hier aufgeteilt in Schläge, auf denen durch Anbau von Energieholz zusätzlichen Erosionsschutz betrieben werden kann und in Schläge, auf die keine sehr hohe potentielle Erosionsgefährdung aufweisen.

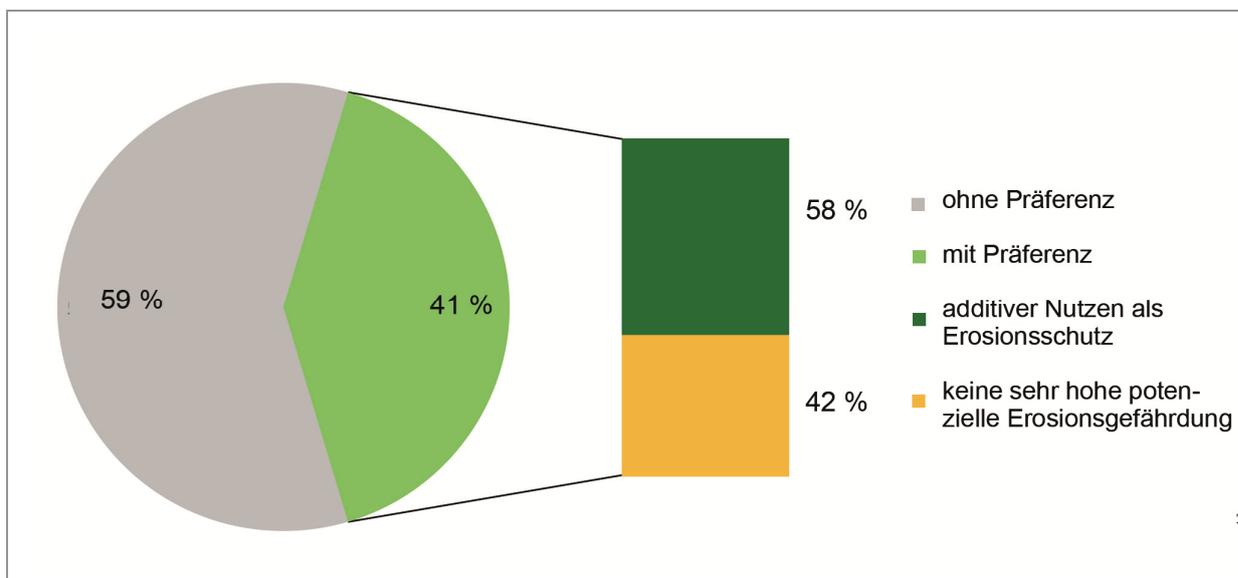


Abb. 22 – Flächenanteile der Präferenzschläge (Bearbeitungseffizienz), kombiniert mit der Fläche der Schläge, auf denen ein additiver Nutzen als Erosionsschutz möglich wäre

Nachfolgende Tabelle differenziert die in Abb. 22 aufgezeigten Anteile bezüglich der Einschränkungen durch die Hangneigung.

Tab. 9 – Anteile der Schläge mit additivem Nutzen als Erosionsschutz an der Präferenzfläche aus Sicht der Bearbeitungseffizienz; differenziert nach Einschränkungen durch die Hangneigung

Erntetechnologische Eignung	Hangneigung	Fläche	Flächenanteil an der Präferenzfläche (Bearbeitungseffizienz)
Uneingeschränkt	≤ 10 %	6.261 ha	39,5 %
Eingeschränkt	> 10 %	2.996 ha	18,9 %
Summe		9.257 ha	58,4 %

Schläge mit Synergien aus Sicht der Flächenleistung und des Erosionsschutzes ergeben einen Flächenanteil von 23,8 % an der Eignungsfläche für den Energieholzanbau.

Über die standortökologische Eignungskarte sind Aussagen über den schlagspezifischen Ertrag möglich. Bezogen auf die Schläge mit Synergien weisen mehr als 40 % einen höheren Ertrag als $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf.

In nachfolgender Abbildung sind die ermittelten Ergebnisse räumlich veranschaulicht. Als Beispiel ist ein Ausschnitt vergrößert dargestellt. Auf eine differenzierte Kennzeichnung der aus Gründen der Hangneigung nur eingeschränkt nutzbaren Schläge wurde hier verzichtet.

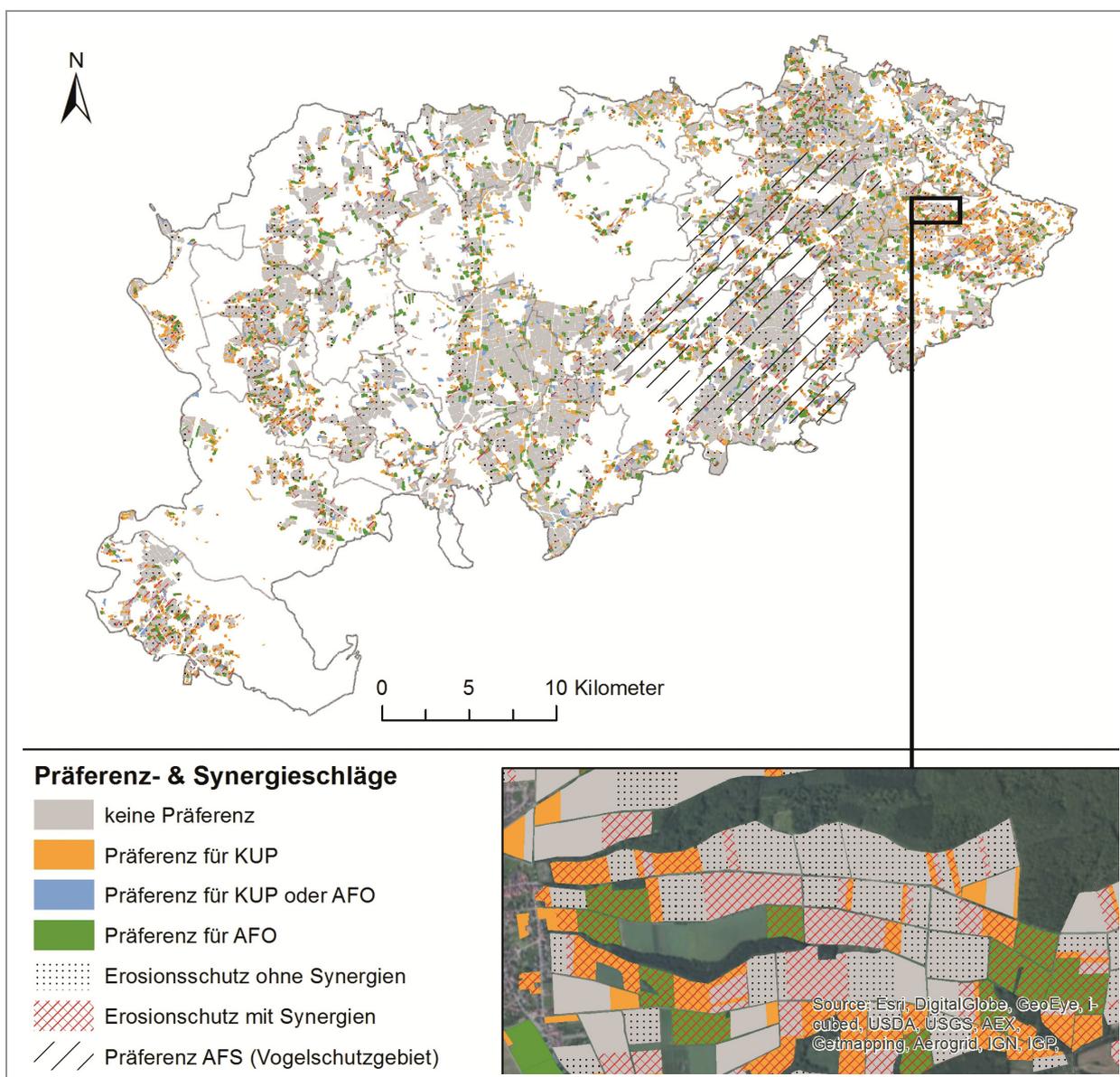


Abb. 23 – Darstellung aller Eignungs-, Einschränkungs- und Ausschlussflächen

4 Diskussion

4.1 Material und Methoden

Um Eignungsflächen für KUP oder AFS zu identifizieren, bedarf es einer Datenbasis, die die tatsächliche Bearbeitungsstruktur der aktuellen landwirtschaftlichen Bodennutzung abbildet. Die Grundlage besteht in dieser Arbeit aus einer Kartierung von Orthophotos und ATKIS-Daten, die jedoch eine sehr große Maßstabsdifferenz aufweisen. Die verwendeten Luftbilder wurden im Frühjahr aufgenommen, einem Zeitpunkt, zu dem sich landwirtschaftlichen Kulturen aus der Luft nur schwierig unterscheiden lassen. Zur Bewältigung dieser Aufgabe wäre diesbezüglich die Verwendung von beispielsweise multi-saisonalen Luftbildern hilfreich. Weitere Unsicherheiten, bezogen auf die Eignungsfläche für Energieholz, entstanden durch den Ausschluss der Naturschutz-relevanten Flächen. Insbesondere in der Auswahl der Ausschlussgebiete und in punkto Pufferabstand zu KUP gibt es verschiedenste Annahmen: Für Feuchtbiotope empfehlen Tröger et al. (2014, S. 35f) einen Mindestabstand von 10 m, Busch (Busch 2010, S. 63) dagegen wählt einen Abstand von 200 m. Auch für den Gewässerrand existieren aus naturschutzfachlicher und gewässerökologischer Sicht unterschiedliche Annahmen zu Sinnhaftigkeit von KUP-Streifen (vgl. Bärwolff et al. 2013, S. 50; Tröger et al. 2014, S. 35f; Feldwisch 2011, S. 18). Glaser und Schmidt (2010b, S. 3.20) weisen darauf hin, dass es bezüglich der Abstände noch keine Richtwerte gibt und deshalb, können erhebliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden, die untere Naturschutzbehörde in die Entscheidung über die Anbaueignung mit einzubeziehen ist.

Die Schlaggeometrien sind durch Indices und entsprechende Grenzwerte beschrieben. Verglichen mit Machl (2012) kam zwar dieselbe Methode mit den größtenteils deckungsgleichen Indices zum Einsatz, die Analyse ergab jedoch abweichende Grenzwerte und entsprechend andere Klassen. Zurückzuführen ist dies auf den abweichenden Untersuchungsraum und die als relativ subjektiv einzustufende Methode der visuellen Kalibrierung und Validierung. Eine Vereinheitlichung gelänge möglicherweise über eine Clusteranalyse der Indices. Aufgrund des beschränkten Umfangs der Arbeit war diese nicht durchführbar.

Die Anbaupräferenzen für KUP oder AFS wurden unter anderem anhand der Flächenleistung durch suboptimale Schlaggeometrien und – größen analysiert. Untersucht wurde dabei die sich verändernde Flächenleistung in der Grundzeit. Die Wahl dieser Ebene ist aus Gründen der Vergleichbarkeit sinnvoll (Engelhardt 2004, S. 110), doch spielen bezüglich der Gesamtzeit, die für die Bearbeitung eines Schlages benötigt wird, weitere nicht zu unterschätzende Faktoren eine Rolle (s. Abschnitt 1.3.2). So wird in Befragungen von Landwirten beispielsweise die Entfernung von Feld zu Hof (Wegezeit) als ein entscheidendes Kriterium für den potenziellen Energieholzanbau genannt (vgl. Wirkner 2010, S. 192). Es ist also davon auszugehen, dass dieser Faktor eine größere Auswirkung auf die Gesamtarbeitszeit hat als

die Schlaggeometrie und in bestimmtem Maße auch die Schlaggröße. Folglich wäre die Betrachtung der relativ zum betrieblichen Durchschnitt als ungünstig geltender Schläge für eine Eignungsflächenanalyse aus landwirtschaftlicher Sicht eine optimalere Ebene um Eignungsflächen zu identifizieren. Allerdings könnte sich eine solche Untersuchung aufgrund aufwändig zu beziehenden Daten als schwierig erweisen.

Die Annahmen, unter denen die Grundzeit berechnet wurde, sind bezüglich der Maschinen und der Schlaggrößen auf die kleinteiligen Strukturen des Untersuchungsgebietes adaptiert und deshalb nicht ohne Weiteres auf andere Regionen übertragbar. Für Regionen mit einer höheren durchschnittlichen Schlaggröße wäre demnach auch eine Verschiebung des Steigungsschwellenwertes (s. Abschnitt 3.6.1), anhand dessen die Schläge aufgrund ihrer Flächenleistung in günstig/ungünstig für annuelle Kulturen eingestuft werden, vorstellbar. Die Festlegung des unteren Grenzwertes für Schlaggrößen der AFS-O basiert auf der förderrechtlichen Mindestgröße für einen Schlag von 0,3 ha. Der obere Grenzwert für AFS-O und KUP wurde unter dem Gesichtspunkt der kleinteiligen Struktur des Untersuchungsgebietes festgelegt. Ersterer kann sich durch politische Rahmenbedingungen ändern, der zweite ist von der Struktur der jeweiligen Region abhängig.

Die Einteilung der potenziellen Erosionsgefährdung wurde auf Basis der zur Verfügung gestellten Klassen vorgenommen. Dies war notwendig, um die Informationen schlagspezifisch differenzieren zu können. Allerdings ist die Klassifizierung von bestehenden Klassen als ungünstig zu betrachten, da infolgedessen die Ursprungsinformationen weiter reduziert werden. Demnach ist die vorgenommene Einteilung auf Basis des Mittelwertes der Erosionsstufen auf Schlagebene lediglich eine Vereinfachung.

Die Schläge mit Erosionsminderungspotenzial sind nicht nach den Anbausystemen (KUP/AFS) differenziert. Dies wäre durch die Kenntnis über die Lage der Schläge zum Hang und die Bearbeitungsrichtung (hangparallel/orthogonal zum Hang) möglich. Eine Analyse ist anhand von GIS realisierbar, hätte das Ausmaß dieser Bachelorarbeit jedoch überschritten. In weitergehenden Untersuchungen zu Erosionsminderung durch Energieholz sollte dies berücksichtigt werden, da die Anlage zu diesem Zweck in hangparalleler Richtung erfolgen sollte (vgl. Schildbach et al. 2010, S. 67).

4.2 Ergebnisse

In der vorliegenden Analyse wird aufgezeigt, dass der Energieholzanbau insbesondere in kleinstrukturierten Regionen wie dem Landkreis Göttingen Vorteile bieten kann. Die Ursache liegt in erster Linie in der Flächenleistung (Grundzeit), welche mit abnehmender Schlaggröße und zunehmender Entfernung von der technologischen „Optimalform“ deutlich abnimmt (s. Abb. 14). Folglich steigen für diese vergleichsweise ineffizient zu bewirtschaftenden Schläge die Produktionskosten, wodurch sich hier für den Anbau von mehrjährigen Kulturen ökonomische Vorteile ergeben. Ein Resultat dieser Arbeit ist dementsprechend, dass für die Identifizierung von Eignungsflächen im Bereich < 5 ha neben der Schlaggröße auch der Schlagform eine große Bedeutung zukommt.

Auf über der Hälfte der Prioritätsflächen hinsichtlich der Bearbeitungseffizienz wird der Energieholzanbau zur Schlagoptimierung als vorteilhaft angesehen. Dieses Anbausystem wird in vorliegender Untersuchung aufgrund der kleinteiligen Schlagstruktur als Agroforstsystem zur Schlagoptimierung („AFS-O“) definiert. Bezogen auf die positiven Eigenschaften eines *Alley Cropping Systems* sind bei AFS-O ähnliche ökologische Effekte zu erwarten (vgl. Quinkensstein et al. 2008, S. 324; Röhricht et al. 2011, S. 50). Ein großer Vorteil gegenüber Kurzumtriebsplantagen und annuellen Kulturen bieten AFS-O auf suboptimalen Schlaggeometrien: Energieholz und annuelle Kulturen werden zeitgleich auf einem Schlag angebaut, letztere sogar mit einer höheren Flächenleistung. Hierbei gilt, je entfernter der Schlag von der „Optimalform“ und je geringer der Anteil, der nötig ist, um durch Anbau von Energieholz auf Teilflächen eine optimale Form herzustellen, desto größer ist das Optimierungspotenzial (s. Abschnitt 3.6). Je kleiner die Schläge, desto größer ist der Effekt (s. Abb. 19). Die Steigerung der Flächenleistung liegt allerdings im unteren 5 % Bereich. Folglich ergeben sich durch AFS-O für den annuellen Teilschlag bis zu einer bestimmten Schlaggröße zwar Vorteile, doch sind die zeitlichen Einsparungen als nicht praxisrelevant anzusehen. Die unterschiedlichen Schlaggrößen dagegen haben einen höheren Einfluss auf die Flächenleistung (s. Abb. 14). Neben der Grundzeit steigt, je kleiner der Schlag, auch die Wege- und Rüstzeit (vgl. KTBL 2009, S. 84).

Allerdings muss bedacht werden, dass bei kleineren Energieholzflächen die Erträge volatiler und die Erntekosten höher sind (vgl. FNR 2012, S. 23f). So empfehlen Unseld et al. (2010, S. 13) hinsichtlich der Pflanz- und Erntekosten eine Flächengröße von mindesten 2 – 3 ha. Landgraf (Landgraf 2014) dagegen hält Flächen für KUP in Mini-Rotation erst ab einer Mindestgröße von 5 ha für ökonomisch sinnvoll und empfiehlt auf kleineren Standorten längere Rotationszeiten. Faktoren, die Einfluss auf die Mindestschlaggröße haben, sind Vorgehende, Nachbarschaftsabstand und je nach Ernteverfahren ein seitlicher Streifen für abfahrende Gespanne (vgl. ebd.; § 50 Abs. 1, § 52 Abs. 2, NNachbG). Die erwähnten Kostensteigerungen bei kleineren Flächen lassen sich durch Flächenverbünde abmildern. Hier bietet diese Arbeit einen Lösungsansatz: Durch die Kenntnis von geeigneten Schlägen und deren Lage kann der Zusammenschluss von betroffenen Akteuren erleichtert werden.

Die standörtliche Eignung von Energieholz liegt im Untersuchungsgebiet mit 82,7 % an der Ackerfläche im Vergleich zu dem Ergebnis der Potenzialanalyse von Aust (17,7 % der Gesamtackerfläche Deutschlands) relativ hoch. Dies kann unter anderem daran liegen, dass vorliegender Untersuchung ein anderes Ertragsmodell zugrunde liegt (s. Abschnitt 2.3).

Dietz et al. (2013, S. 497) und Aust (2012, S. 51) schränken in ihren Potenzialanalysen die KUP-Eignungsflächen anhand von Obergrenzen für Ackerzahlen ein. So setzen Dietz et al. (2013, S. 497) $AZ > 50$ und Aust (2012, S. 51) $AZ > 60$ als Ausschluss-Grenzwert für KUP. In dieser Arbeit wurde ein anderer Ansatz verfolgt: Statt hochproduktive Standorte von vornherein auszuschließen, wird eine Grundlage geschaffen, um die Konkurrenzfähigkeit von Energieholz zu annuellen Kulturen zu vergleichen. Dies geschieht mit der Eignungsflächenanalyse auf Schlagebene, wo gezeigt wird, dass sich Schläge in ihrer Flächenleistung und damit in den Produktionskosten für annuelle Kulturen erheblich unterscheiden können. Auf

solchen vergleichsweise ineffizienten Flächen mit hoher Produktivität kann der KUP-Anbau konkurrenzfähig zu annuellen Kulturen sein.

Als besonders erosionsgefährdete Region (s. Abschnitt 1.1) ist der Erosionsschutz im Landkreis Göttingen von hoher Relevanz. Es gelang, das Erosionsminderungspotenzial durch Energieholzanbau anhand der sehr hoch erosionsgefährdeten Schläge und der potenziellen standortökologischen Eignung für Pappeln schlaggenau zu ermitteln. Demnach sind Energiehölzer auf ca. 50 % der Eignungsfläche dazu geeignet, die Bodenerosion durch Wasser zu mindern (s. Tab. 8). Verknüpft mit den Schlägen, die aus Sicht der Flächenleistung als prioritär gelten, ist auf knapp 60 % von ihnen eine Erosionsminderung durch Energieholzanbau gegeben. Diese Synergieflächen entsprechen knapp 20 % der gesamten Ackerfläche im Landkreis Göttingen (s. Abschnitt 3.8).

Unter Beachtung der genannten Einschränkungen befähigt der vorliegende Ansatz Landwirte, hochproduktive Standorte mit fehlender Effizienz für annuelle Kulturen zu identifizieren. Zudem kann er dazu beitragen, die Schläge nach ihren flächenleistungsbasierten Kosten zu differenzieren und Empfehlungen zu geeigneten Energieholz-Anbausystemen zu geben. Die räumliche Darstellung der Eignungsflächen ermöglicht die Bildung von Flächenzusammenschlüssen und somit die Senkung von Maschinenkosten.

4.3 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Untersuchung verdeutlicht das Potenzial für Energieholz in Mini-Rotation für kleinstrukturierte Regionen. Der dargestellte Ansatz zeigt zum Einen auf, wie Schläge mittels Indices auf ihre technologische Eignung hin klassifizierbar sind. Zum Anderen veranschaulicht er, dass die Ermittlung von Eignungsflächen für Schläge < 5 ha nicht auf Basis von Schlaggrößen sondern anhand der Flächenleistung sinnvoll ist. Aus den generierten Ergebnissen zu Flächenleistung und Anbauoptionen sind unter anderem folgende Schlüsse ableitbar:

- Kleine Schläge zeigen bei einer Optimierung mit Energieholz-Teilflächen hinsichtlich der Flächenleistung einen größeren Effekt als große Schläge (> 5 ha). Da aufgrund der förderrechtlichen Bestimmungen eine Energieholz-Teilfläche als eigene Parzelle gilt, muss diese mindestens 0,3 ha groß sein. Eine Änderung dieser Regelung könnte den bürokratischen Aufwand und somit die Hemmschwelle für den Anbau von AFS-O auf kleinen Schlägen senken.
- Schnellwachsende Gehölzen in Mini-Rotation werden alle 3 – 5 Jahre geerntet. Auf kleinen Schlägen sind die Erntekosten verhältnismäßig hoch, können aber durch Zusammenschlüsse gering gehalten werden. Um Erntekosten einzusparen, bietet sich auf Kleinstflächen (< 1 ha) der Anbau von Gehölzen mit einer höheren Umtriebszeit (Midi-, Maxi-Rotation) an. Hierüber können weitere Analysen Aufschluss geben.
- Da die Ernte von Energieholz in hängigen Lagen nur eingeschränkt möglich ist, empfiehlt sich eine eingehendere Beschäftigung mit Erntemaschinen, die in diesen Bereichen einsetzbar sind, beispielsweise dem Mähsmäher (s. Abschnitt 1.3.4). Der Einsatz des Mähsmähers bringt einen weiteren Effekt mit sich: Statt die Bäume zu häckseln, werden sie geerntet und in Stammform getrocknet. Auf diese Weise kön-

nen Masseverluste durch mikrobiellen Abbau der Hackschnitzel (Wassergehalt bei der Ernte: 50 – 60 %) verringert werden (vgl. Bärwolff und Hering 2012, S. 9–11).

Abschließend lässt sich urteilen, dass Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme (zur Schlagoptimierung) selbst in kleinstrukturierten Regionen einen Beitrag zur Schließung der drohenden Holzlücke leisten können. Verhältnismäßig ineffiziente und erosionsgefährdete Schläge sind demnach prädestiniert für den Anbau von Energieholz.

Quellenverzeichnis

- AdV - Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland** (2003): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem- ATKIS - Objektartenkatalog Basis DLM. Online verfügbar unter http://www.atkis.de/dstinfo/dstinfo.dst_start4?dst_oar=1000&inf_sprache=deu&c1=1&dst_typ=25&dst_ver=dst&dst_land=ADV, zuletzt geprüft am 09.04.2014.
- Alsing I.** (2002): Lexikon Landwirtschaft. Pflanzliche Erzeugung, tierische Erzeugung, Landtechnik, Bauwesen, ökologischer Landbau, Betriebslehre, landwirtschaftliches Recht. 4. Aufl. Stuttgart (Hohenheim).
- Aust C.** (2012): Abschätzung der nationalen und regionalen Biomassepotentiale von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland. Dissertation. Albert-Ludwig-Universität, Freiburg. Online verfügbar unter <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/8630/>, zuletzt geprüft am 10.12.2013.
- Bärwolff M., Hering T.** (2012): Fremdenergiefreie Trocknungsvarianten für Holz aus Kurzumtriebsplantagen. Trocknungsversuch mit 4 Varianten im Rahmen des Projektes AgroForstEnergie. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL). Online verfügbar unter <http://www.tll.de/ainfo/pdf/holz0212.pdf>, zuletzt geprüft am 12.04.2014.
- Bärwolff M., Reinhold G., Fürstenau C., Graf T., Jung L., Vetter A.** (2013): Gewässer- randstreifen als Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsysteme. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) (Hg.) (94). Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_94_2013_gewaesserrandstreifen_als_kurzumtriebsplantagen_1.pdf, zuletzt geprüft am 25.01.2014.
- Bauböck R.** (2009): Bioenergie im Landkreis Göttingen. GIS-gestützte Biomassepotential- abschätzung anhand ausgewählter Kulturen, Triticale und Mais. Stuttgart.
- Becker R., Reike J., Kröber M.** (2010): Ernte und Aufbereitung. In: Skodawessely C., Pretzsch J. und Bemann A. (Hg.): Beratungshandbuch zu Kurzumtriebsplantagen. Entscheidungsgrundlagen zur Etablierung von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland. 1. Aufl. Dresden, S. 7.14 - 7.19.
- Bemann A.** (2012): Dresdner Erklärung. Mit Bäumen den Wald retten - Holz aus Kurzumtriebsplantagen für eine energetische Nutzung. Dresden. Online verfügbar unter http://www.energieholz-portal.de/files/dresdner_erklaerung.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2014.
- Bemann A., Gerold D., Mantau U.** (2010): Perspektiven von Kurzumtriebsplantagen für den Holzmarkt. In: Bemann A. und Knust C. (Hg.): AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin (Ökologie), S. 243–255.
- BfN - Bundesamt für Naturschutz** (Hg.) (2012): Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen. Auswirkungen von KUP auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Anbauanforderungen und Empfehlungen des BfN. Leipzig.
- BMELV - Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz** (2012): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Kirsten Tackmann, Karin Binder, Kornelia Möller, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. Zwei Jahre nach der Novellierung des Bundeswaldgesetzes. Drucksache 17/11498. Berlin. Online verfügbar unter <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/114/1711498.pdf>, zuletzt geprüft am 21.04.2014.

- Busch G.** (2010): Landschaftsökologische Bewertung - Projektergebnisse am Beispiel der Samtgemeinden Suderburg und Rosche im Landkreis Uelzen. In: Kurzumtriebsplantagen. Handlungsempfehlungen zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft. Ergebnisse des Projektes Novalis, S. 54–73.
- Deutscher Bundestag:** Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz), BWaldG vom 31.07.2010. In: BGBl. I, S. 1050.
- Deutscher Bundestag:** Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz), WHG vom 24.02.2012. In: BGBl. I, S. 212.
- Deutscher Bundestag:** Gesetz zur Regelung der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen durch Landwirte im Rahmen gemeinschaftsrechtlicher Vorschriften über Direktzahlungen (Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz), DirektzahlVerpflG vom 28.04.2010. In: BGBl. I, S. 588.
- Deutscher Bundestag:** Verordnung über die Durchführung von Stützungsregelungen und des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems, InVeKoSV vom 03.12.2004. In: BGBl. I, S. 3194.
- Deutscher Bundestag:** Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung), DirektZahlVerpflV vom 04.11.2004. In: BGBl. I, S. 2778.
- Dietz E., Klausmann K., Burger F., Schumann C., Gister F.** (2013): KUP-Scout I – Instrument zur GIS-basierten Standortsuche für Kurzumtriebsplantagen (KUP). AGIT 2013 – Symposium und Fachmesse Angewandte Geoinformatik. In: *Angewandte Geoinformatik 2013*, S. 496–499.
- Digital Globe Foundation** (o.J.): BING. Digital Globe, Longmont, CO, USA.
- Engelhardt H.** (2004): Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeitserledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau. Dissertation. Justus – Liebig – Universität, Gießen. Online verfügbar unter <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2005/2254/>, zuletzt geprüft am 01.12.2013.
- Feger K.-H., Petzold R., Schmidt P.A., Glaser T., Schroiff A., Döring N., Feldwisch N., Friedrich C., Peters W., Schmelter H.** (2009): Biomasse-Dauerkulturen - Natur- und Bodenschutz. Standortpotenziale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen. Verbundvorhaben-TP-Natur- und Bodenschutz-Abschlussbericht. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/23730.htm>, zuletzt geprüft am 04.03.2014.
- Feldwisch N.** (2011): Umweltgerechter Anbau von Energiepflanzen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hg.). Dresden (43). Online verfügbar unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm>, zuletzt geprüft am 26.03.2014.
- FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.** (2011): 2050: 23 Prozent unserer Primärenergie aus heimischer Biomasse möglich. Online verfügbar unter <http://www.fnr.de/de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/article/2050-23-prozent-unserer-primaeerenergie-aus-heimischer-biomasse-moeglich/>, zuletzt geprüft am 13.04.2014.
- FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.** (Hg.) (2012): Energieholz aus der Landwirtschaft. 5. vollständig überarbeitete Auflage. Rostock.

- Gelpke C., Hormann M.** (2010): Artenhilfskonzept Rotmilan (*Milvus milvus*) in Hessen. Gutachten im Auftrag der Staatlichen Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. Echzell.
- Glaser T., Schmidt P.A.** (2010a): Naturschutzfachliche Bewertung von Kurzumtriebsplantagen. In: Bemann A. und Knust C. (Hg.): AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin (Ökologie), S. 162–169.
- Glaser T., Schmidt P.A.** (2010b): Naturschutzrechtliche und -fachliche Eignung. In: Skodawessely C., Pretzsch J. und Bemann A. (Hg.): Beratungshandbuch zu Kurzumtriebsplantagen. Entscheidungsgrundlagen zur Etablierung von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland. 1. Aufl. Dresden, S. 3.17 - 3.24.
- Göttinger Fachdienst Statistik und Wahlen, Oberbürgermeister der Stadt Göttingen** (Hg.) (2010): Göttingen Statistik Journal. Göttingen (Vierteljährlicher Berichtsdienst, 3). Online verfügbar unter www.goesis.goettingen.de, zuletzt geprüft am 06.03.2014.
- Gottschalk E.** (Universität Göttingen "Rotmilanprojekt Landkreis Göttingen") (11.12.13): Vet-räglichkeit von Kurzumtriebsplantagen für Rotmilane. persönliche Mitteilung.
- Große W.** (2010): Rückwandlung. In: Skodawessely C., Pretzsch J. und Bemann A. (Hg.): Beratungshandbuch zu Kurzumtriebsplantagen. Entscheidungsgrundlagen zur Etablie-rung von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland. 1. Aufl. Dresden, S. 7.30-7.33.
- Grünewald H., Reeg T.** (2009): Überblick über den Stand der Forschung zu Agroforstsystemen in Deutschland. In: Reeg T., Bemann A., Konold W., Murach D. und Spiecker H. (Hg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim, S. 233–239.
- Jahns G., Steinkampf H., Olfe G., Schön H.** (1983): Einfluß landwirtschaftlicher Parameter auf Zeit- und Energiebedarf bei Schlepperarbeiten. In: *Grundlagen der Landtechnik* (4), S. 85–90.
- Janinhoff A.** (2000): Die Feldparzellen vergrößern und Bestelleinheiten bilden. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* 190 (40), S. 41–43.
- Kröber M., Schildbach M., Wolf H.** (2010): Verfahren zur Anlage. In: Skodawessely C., Pretzsch J. und Bemann A. (Hg.): Beratungshandbuch zu Kurzumtriebsplantagen. Ent-scheidungsgrundlagen zur Etablierung von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland. 1. Aufl. Dresden, S. 7.1-7.6.
- KTBL -Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.** (Hg.) (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Aufl. Darmstadt.
- KTBL -Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.** (2014): Be-rechnung der Schlaggröße und Grundzeit für Feldarbeiten. Online verfügbar unter <https://www.ktbl.de/inhalte/unregelmassige-schlaege/>, zuletzt geprüft am 20.04.2014.
- Kuntze H., Roeschmann G., Schwerdtfeger G.** (1994): Bodenkunde. 188 Tabellen. 5. Aufl. Stuttgart.
- Landgraf D.** (08.01.2014): KUP-Anbau - Erfahrungen aus der Praxis. persönliche Mitteilung.
- Lang S., Blaschke T.** (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. Stuttgart.
- LBEG - Landesamt für Bergbau Energie und Geologie** (1999): NIBIS® - Kartenserver. Bodenkundliche Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500 000 (BÜK500). Online verfügbar unter <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=2ppPE6x7>, zuletzt ge-prüft am 15.04.2014.

- LBEG - Landesamt für Bergbau Energie und Geologie** (2000): NIBIS® - Kartenserver. Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000. Online verfügbar unter <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=YaGqhTN>, zuletzt geprüft am 15.04.2014.
- LBEG - Landesamt für Bergbau Energie und Geologie** (2010): NIBIS® - Kartenserver. Abschätzung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser gemäß Anlage 1 der Direktzahlungen Verpflichtungenverordnung (Cross Compliance) - Basisraster. Revision: 2014.
- LfU - Bayerisches Landesamt für Umwelt** (2011): Mittelspecht (*Dendrocopos medius*). Online verfügbar unter <http://www.lfu.bayern.de/natur/sap/arteninformationen/steckbrief/zeige/126966>, zuletzt geprüft am 12.04.2014.
- LGLN - Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen; ML - Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und Landesentwicklung** (o.J.): LEA-Portal Niedersachsen. Servicezentrum Landentwicklung und Agrarförderung Niedersachsen. Online verfügbar unter <http://sla.niedersachsen.de/landentwicklung/LEA/>, zuletzt geprüft am 09.04.2014.
- LGN - Landesbetrieb Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen** (2010): Orthophotos.
- LWK - Landwirtschaftskammer Niedersachsen** (2013): Agrarstrukturdaten und Flächennutzung im Landkreis Göttingen (GAP-Statistik). Informationsfreigabe nach eigener Anfrage.
- LWK - Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Northeim** (2014): Durchschnittliche Arbeitsbreiten im Landkreis Göttingen. Informationsfreigabe nach eigener Nachfrage.
- Machl T.** (2012): Indikatorbasierte Analyse von Feldstücksform und Feldstücksgeometrie auf Grundlage von InVeKoS-Daten. Masterarbeit. Online verfügbar unter <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1106561/1106561.pdf>, zuletzt geprüft am 28.01.2014.
- Mantau U.** (2010): Is there enough wood for Europe? In: EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg, S. 19–34.
- MU - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz** (2013): Naturschutzrechtlich besonders geschützte Teile von Natur und Landschaft. Online verfügbar unter http://www.umwelt.niedersachsen.de/service/umweltkarten/natur_landschaft/besonders_geschuetzte_teile_von_natur_und_landschaft/9065.html, zuletzt geprüft am 12.04.2014.
- Mühlenhoff J.** (2013): Anbau von Energiepflanzen. Umweltauswirkungen, Nutzungskonkurrenzen und Potenziale. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hg.) (Renews Spezial, 65).
- NABU; Bosch & Partner GmbH** (Hg.) (2012): Naturschutzfachliche Anforderungen für Kurzumtriebsplantagen. Praktische Umsetzung von Maßnahmen bei der Neuanlage und Bewirtschaftung von Energieholzflächen (Voruntersuchung).
- Niedersächsischer Landtag:** Niedersächsisches Nachbarrechtsgesetz, NNachbG vom 31.03.1967. In: Nds.GVBl., S. 91.
- Niedersächsischer Landtag:** Niedersächsisches Wassergesetz, NWG vom 19.02.2010. In: Nds.GVBl., S. 64.
- NLS - Niedersächsisches Landesamt für Statistik** (2010): Landwirtschaftszählung 2010 - Hauptnutzungs- und Kulturarten. Informationsfreigabe nach eigener Anfrage.

- NLS - Niedersächsisches Landesamt für Statistik; NIHR - Niedersächsisches Institut für Historische Regionalforschung e.V.** (2007): Niedersachsen - Das Land und seine Regionen. Online verfügbar unter <http://www.statistik.niedersachsen.de/download/49177>, zuletzt geprüft am 12.04.2014.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz** (2010): Naturräumliche Regionen Niedersachsens. Online verfügbar unter http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=27437&article_id=93476&_psmand=26, zuletzt geprüft am 22.04.2014.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz** (2013): Naturschutzrechtlich besonders geschützte Teile von Natur und Landschaft. Online verfügbar unter http://www.umwelt.niedersachsen.de/service/umweltkarten/natur_landschaft/besonders_geschuetzte_teile_von_natur_und_landschaft/naturschutzrechtlich-besonders-geschuetzte-teile-von-natur-und-landschaft-9065.html, zuletzt geprüft am 01.04.2014.
- Oksanen T.** (2007): Path Planning Algorithms for Agricultural Field Machines. Dissertation. University of Technology, Helsinki.
- Preuschhof B.** (Untere Naturschutzbehörde Landkreis Göttingen) (02.01.2014): KUP im Vogelschutzgebiet V19? persönliche Mitteilung.
- Quinkenstein A., Schultze B., Grünewald H., Wöllecke J., Schneider B.-U., Jochheim H., Hüttl R.** (2008): Landschaftsökologische Aspekte der Dendromasseproduktion – Analyse und Bewertung von Risiken und Vorteilswirkungen. In: Murach D., Knur L. und Schultze M. (Hg.): DENDROM - Zukunftsrohstoff Dendromasse. Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwendung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz. Endbericht. Remagen, S. 317–344.
- Reike J.** (2008): Charakterisierung und Optimierung des Ernte- und Logistiksystems bei Kurzumtriebsplantagen mit dem Ziel einer energetischen Nutzung von Holz. Diplomarbeit. Technische Universität, Dresden.
- Röhrich C., Grunert M., Ruscher K.** (2011): Feldstreifenanbau schnellwachsender Baumarten. Demonstrationsanbau von schnellwachsenden Baumarten auf großen Acker-schlägen als Feldstreifen unter Praxisbedingungen des mitteldeutschen Trockengebietes. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hg.). Dresden (29). Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15041>, zuletzt geprüft am 22.12.2013.
- Rosin P.** (2003): Measuring shape: ellipticity, rectangularity, and triangularity. An International Journal. In: *Machine Vision and Applications* 14 (1), S. 172–184.
- Schäfer W., Sbresny J., Thiermann A.** (2010): Methodik zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser gemäß § 2 Abs. 1 der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung in Niedersachsen. Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Geozentrum Hannover. Hannover.
- Schäfer W., Thiermann A.** (2006): Niedersachsen. In: Feldwisch N. und Mollenhauer K. (Hg.): Bodenerosion durch Wasser. Bewertungsmethodik und Instrumente der deutschen Bundesländer, Bd. 14. Berlin (BVB-Materialien, 14), S. 60–78.
- Schildbach M., Grünewald H., Wolf H., Schneider B.-U.** (2009): Begründung von Kurzumtriebsplantagen: Baumartenwahl und Anlageverfahren. In: Reeg T., Bemmann A., Konold W., Murach D. und Spiecker H. (Hg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim, S. 57–71.

- Schildbach M., Hofmann M., Wolf H.** (2010): Anlage und Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. In: Bemann A. und Knust C. (Hg.): AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin (Ökologie), S. 65–73.
- Schmidt P.A., Glaser T.** (2009): Kurzumtriebsplantagen aus Sicht des Naturschutzes. In: Reeg T., Bemann A., Konold W., Murach D. und Spiecker H. (Hg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim, S. 161–170.
- Schulte M., Michalk K., Glaser T., Knust C., Lohner P., Bemann A.** (2010): Rechtliche Rahmenbedingungen für Kurzumtriebsplantagen. In: Bemann A. und Knust C. (Hg.): AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin (Ökologie), S. 15–29.
- Schweier J.** (Universität Freiburg) (10.12.2013): Maximal mögliche Hangneigung für die Ernte von Kurzumtriebsplantagen. persönliche Mitteilung.
- Schweier J., Becker G.** (2012): Harvesting of Short Rotation Coppice – Harvesting Trials with a Cut and Storage System in Germany. In: *Silva Fennica* (46(2)), S. 287–299, zuletzt geprüft am 08.01.2014.
- Schwertmann U., Vogl W., Kainz M.** (1987): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart.
- Tröger M., Denner M., Glaser T.** (2014): Kurzumtriebsplantagen im Einklang mit dem Naturschutz. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hg.). Dresden (7). Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/12193>, zuletzt geprüft am 26.03.2014.
- UBA - Umweltbundesamt** (Hg.) (2010): Daten zur Umwelt - Ausgabe 2011. Umwelt und Landwirtschaft. Dessau-Roßlau.
- Unselde R., Möndel A., Textor B., Seidl F., Steinfatt K., Kaiser S., Thiel M., Karopka M., Nahm M.** (2010): Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebswäldern in Baden-Württemberg. Eine praxisorientierte Handreichung. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (Hg.). Online verfügbar unter <http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/bro/Kurzumtriebsflaechen.pdf>, zuletzt geprüft am 07.03.2014.
- Walz U., Syrbe R.-U.** (2002): Glossar Landschaftsstruktur. Online verfügbar unter http://www.iale.de/fileadmin/user_upload/ag/landschaftsstruktur/PDF/glossar.pdf, zuletzt geprüft am 22.04.2014.
- WBA - Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik** (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung. Empfehlungen an die Politik.
- Wirkner R.** (2010): Energieholzproduktion im Kurzumtrieb– Chancen und Probleme bei ihrer Umsetzung. Eine Analyseunter Einbeziehung von Experteninterview. Dissertation. Technische Universität, Cottbus. Online verfügbar unter opus.kobv.de/btu/volltexte/2010/2042/pdf/Druckfassung_Wirkner_05.12.10_1.pdf, zuletzt geprüft am 03.01.2014.
- Wurbs D., Steininger M.** (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden. Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) (Hg.). Dessau-Roßlau (16).

Anhang

Abbildungen

A 1: Indices zur Ermittlung dreieckiger Objekte.....	55
A 2 – Logarithmische Funktionen aller 12 Formtypen auf Basis der Messwerte, in Form von Trendlinien.....	57
A 3 – Spannweiten zwischen den unterschiedlichen 12 Form-Klassen gleicher Größe.....	58
A 4 - Rechteckigkeit der Formklassen.....	59
A 5 - Konvexität der Formklassen	59
A 6 – Histogramm der schlagbezogenen Flächenleistung in der Grundzeit.....	60

Tabellen

T 1 – Schlaggrößenverteilung im Landkreis Göttingen differenziert nach Acker und Dauergrünland (DGL).....	55
T 2 – Anhand des <i>Moduls zur Berechnung von unregelmäßigen Schlägen</i> ermittelte Werte.....	55
T 3 - Logarithmische Funktionen der Formtypen.....	56



A 1 - Indices zur Ermittlung dreieckiger Objekte

T 1 – Schlaggrößenverteilung im Landkreis Göttingen differenziert nach Acker und Dauergrünland (DGL)

Schlaggröße [ha]	Acker [ha]	Acker kumuliert [%]	DGL [ha]	DGL kumuliert [%]
0,5	2904	14,84%	2916	35,34%
1	3871	34,62%	2513	65,80%
1,5	2982	49,85%	1198	80,32%
2	2085	60,50%	640	88,07%
2,5	1628	68,82%	355	92,38%
3	1250	75,21%	201	94,81%
3,5	948	80,05%	122	96,29%
4	760	83,94%	94	97,43%
4,5	562	86,81%	61	98,17%
5	420	88,95%	44	98,70%
5,5	344	90,71%	28	99,04%
6	294	92,21%	18	99,26%
6,5	227	93,37%	11	99,39%
7	193	94,36%	10	99,52%
7,5	144	95,10%	5	99,58%
8	113	95,67%	7	99,66%
8,5	114	96,25%	6	99,73%
9	99	96,76%	5	99,79%
9,5	75	97,14%	3	99,83%
10	74	97,52%	3	99,87%
> 10	485	100,00%	11	100,00%
Summe	19572		8251	
Mittelwert	2,40		1,04	
Median	1,51		0,70	

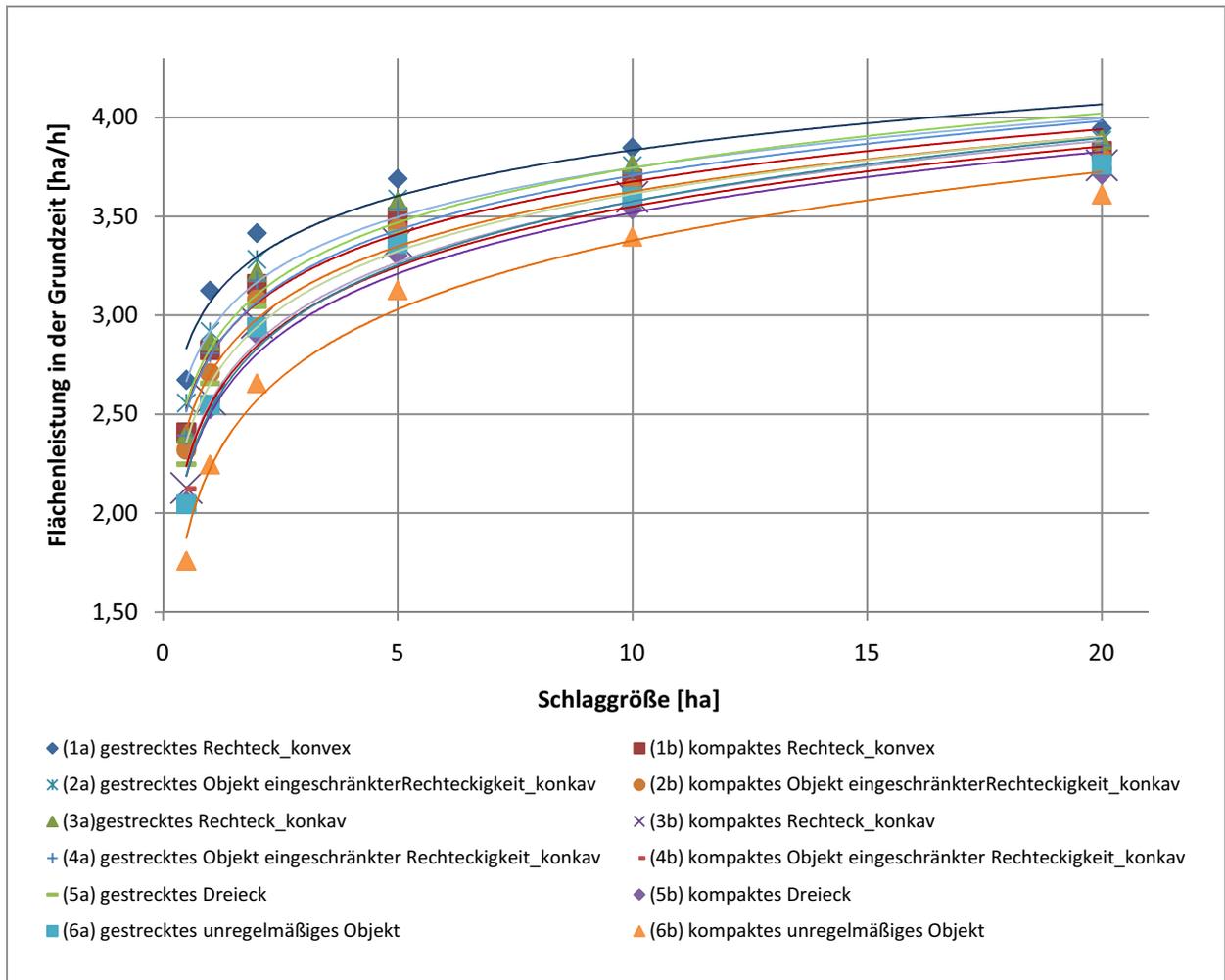
T 2 – Anhand des Moduls zur Berechnung von unregelmäßigen Schlägen ermittelte Werte

Schlaggröße \ Formen	1a	1b	2a	2b	3a	3b
0,5 ha	2,67	2,41	2,56	2,32	2,40	2,13
1 ha	3,13	2,82	2,92	2,71	2,87	2,57
2 ha	3,42	3,16	3,28	3,08	3,22	2,96
5 ha	3,69	3,50	3,59	3,44	3,58	3,37

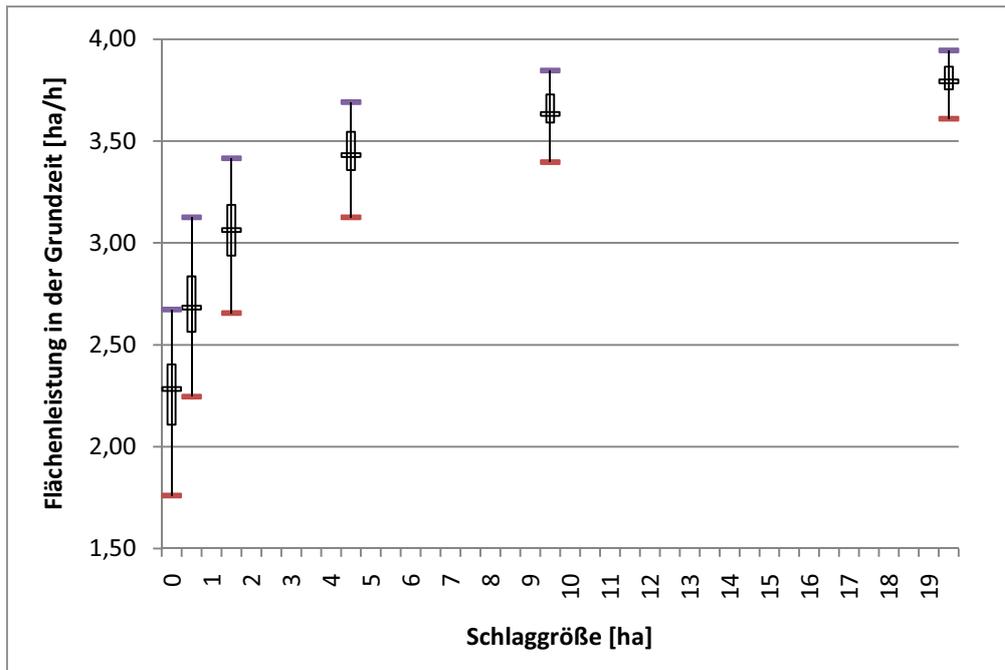
10 ha	3,85	3,69	3,76	3,64	3,76	3,60
20 ha	3,95	3,83	3,89	3,80	3,89	3,76
Schlaggröße \ Formen	4a	4b	5a	5b	6a	6b
0,5 ha	2,39	2,12	2,25	2,06	2,05	1,76
1 ha	2,81	2,57	2,66	2,53	2,55	2,25
2 ha	3,18	2,93	3,05	2,90	2,94	2,66
5 ha	3,54	3,35	3,42	3,30	3,36	3,13
10 ha	3,72	3,57	3,63	3,54	3,60	3,40
20 ha	3,86	3,74	3,79	3,71	3,76	3,61

T 3 - Logarithmische Funktionen der Formtypen

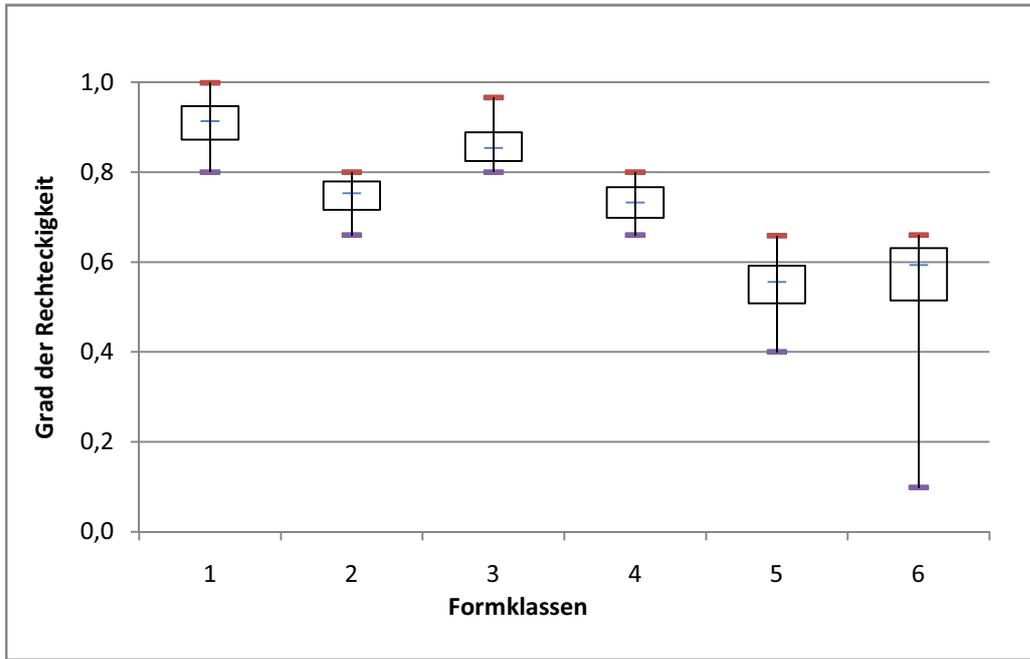
Bezeichnung	Nr.	Logarithmische Funktion	Bestimmtheitsmaß
Rechteck - konvex	1a	$y=0,334\ln(x)+3,064$	$R^2 = 0,943$
	1b	$y=0,382\ln(x)+2,794$	$R^2 = 0,969$
Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit - konvex	2a	$y=0,359\ln(x)+2,917$	$R^2 = 0,965$
	2b	$y=0,400\ln(x)+2,702$	$R^2 = 0,974$
Rechteck - konkav	3a	$y=0,397\ln(x)+2,827$	$R^2 = 0,958$
	3b	$y=0,442\ln(x)+2,554$	$R^2 = 0,974$
Objekt eingeschränkter Rechteckigkeit - konkav	4a	$y=0,396\ln(x)+2,791$	$R^2 = 0,966$
	4b	$y=0,437\ln(x)+2,542$	$R^2 = 0,976$
Dreieck	5a	$y=0,418\ln(x)+2,649$	$R^2 = 0,973$
	5b	$y=0,444\ln(x)+2,494$	$R^2 = 0,976$
unregelmäßiges Objekt	6a	$y=0,462\ln(x)+2,510$	$R^2 = 0,970$
	6b	$y=0,501\ln(x)+2,221$	$R^2 = 0,982$



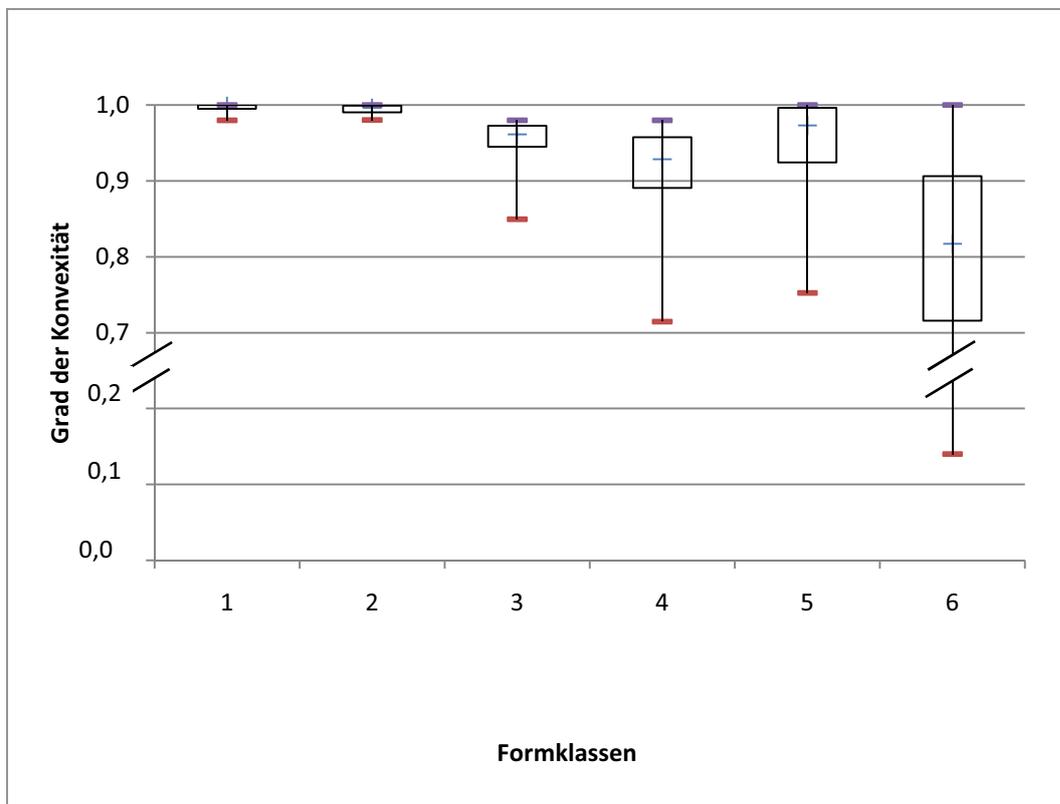
A 2 – Logarithmische Funktionen aller 12 Formtypen auf Basis der Messwerte, in Form von Trendlinien



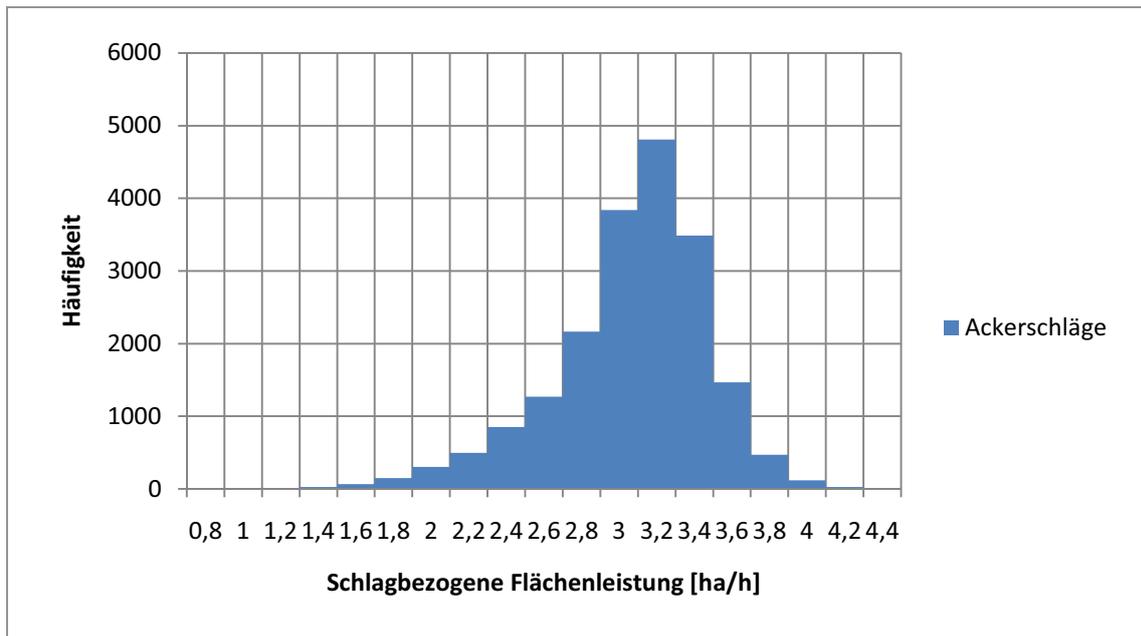
A 3 – Spannweiten zwischen den unterschiedlichen 12 Form-Klassen gleicher Größe



A 4 - Rechteckigkeit der Formklassen



A 5 - Konvexität der Formklassen



A 6 – Histogramm der schlagbezogenen Flächenleistung in der Grundzeit; Der Mittelwert beträgt 2,97 ha/h, der Median 3,02 ha/h