



Kurzumtriebsplantagen in Bayern

Eine Möglichkeit der Diversifizierung landwirtschaftlicher Betriebe?

Abschlussbericht

Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Hauk

Prof. Dr. Stefan Wittkopf

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wissenschaftszentrum Straubing

Fachgebiet für Holzenergie

Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3, 85354 Freising und

Petersgasse 18, 94315 Straubing

April 2015

Inhalt

1	Kurzfassung	3
2	Einleitung.....	5
3	Material und Methoden	8
3.1	Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit KUP	8
3.2	Ökonomische Analyse von Kurzumtriebsplantagen und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen	10
3.2.1	Ökonomische Bewertung konventioneller landwirtschaftlicher Kulturen.....	11
3.2.2	Ökonomische Bewertung von KUP.....	14
3.3	Szenario Eigenverwertung der KUP-Hackschnitzel	17
3.4	Portfoliooptimierung landwirtschaftlicher Betriebe	18
4	Ergebnisse.....	20
4.1	Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit KUP	20
4.2	Ökonomische Analyse von Kurzumtriebsplantagen und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen	23
4.3	Szenario Eigenverwertung der KUP-Hackschnitzel	26
4.4	Ergebnisse der Portfoliooptimierung landwirtschaftlicher Betriebe.....	27
5	Diskussion	30
5.1	Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit KUP	30
5.2	Ökonomische Analyse von Kurzumtriebsplantagen und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen	31
5.3	Szenario Eigenverwertung der KUP-Hackschnitzel	32
5.4	Portfoliooptimierung landwirtschaftlicher Betriebe	33
6	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	36
7	Literaturverzeichnis	38

1 Kurzfassung

Die Nachfrage nach Holz, insbesondere zur energetischen Nutzung, stieg in den letzten Jahren in Deutschland erheblich an (Mantau 2012; Dieter et al. 2008), während das Angebot der klassischen Holzquelle Wald begrenzt ist. Aus diesem Grund prognostizierten verschiedene Holzpotenzialstudien (z.B.: Mantau 2012; Dispan et al. 2008; Polley und Kroiher 2006) zukünftige „Holzlücken“ bereits für das kommende Jahrzehnt. Dies stellt die Forst- und Holzbranche vor weitere Herausforderungen, da sich der Nutzungsdruck auf den Wald dabei tendenziell erhöht, während gleichzeitig die gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald immer höher werden. Für Flächeneigentümer bietet dieser Trend jedoch Chancen, da einerseits der Absatz holziger Biomasse sicherer wird und andererseits die Preise, insbesondere im Industrie- und Energieholzsegment, steigen (Statistisches Bundesamt 2015a). Trotz dieser Chancen ist der Anbau holziger Biomasse auf landwirtschaftlicher Fläche in Bayern durch Kurzumtriebsplantagen (KUP) bislang verhalten (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2013). Als Hauptursachen werden neben begrenztem Informationsangebot und begrenzter Flächenverfügbarkeit vor allem ökonomische Gründe genannt; allen voran unklare oder unsichere Wirtschaftlichkeit und langfristige Kapitalbindung (Jorissen et al. 2014; Neubert et al. 2013).

Daher wurde in dieser Studie die Wirtschaftlichkeit von KUP, unter Berücksichtigung der bayerischen Bewirtschaftungspraxis und dem Ertragsniveau bayerischer Praxisflächen, berechnet und mit der konventioneller Marktfrüchte verglichen. Eine Besonderheit dieser Studie ist, dass die Wirtschaftlichkeit der konkurrierenden Kulturen nicht anhand der Erzeugerpreise und Naturalerträge eines bestimmten Jahres bewertet wurde, sondern die Wirtschaftlichkeit jeder Kultur über einen Zeitraum von 10 Jahren bewertet und verglichen wurde. Außerdem wurden die daraus resultierenden ökonomischen Risiken (Variabilität der ökonomischen Zielgröße) quantifiziert. Dazu wurde der Zeitraum von 2004 bis 2013 betrachtet. Diese Vorgehensweise ermöglichte einen differenzierten Vergleich der Kulturen anhand des erwarteten Deckungsbeitrags (beziehungsweise Deckungsbeitragsäquivalent bei KUP) und des ökonomischen Risikos. Tatsächlich jedoch bauen landwirtschaftliche Betriebe nicht nur eine, sondern meist mehrere Kulturen an und diversifizieren somit ihre Produktpalette, wodurch sie gleichzeitig ihr unternehmerisches Risiko senken. Der Anbau von KUP stellt dabei ein weiteres potenzielles Diversifikationselement dar, wobei die jeweiligen landwirtschaftlichen Kulturen durch den Anbau holziger Biomasse ergänzt werden. Die dabei entstehenden Diversifikationseffekte wurden bislang jedoch nicht untersucht. Deshalb wurde in dieser Studie der Anbau von KUP als Portfoliobestandteil

landwirtschaftlicher Betriebe betrachtet und die daraus resultierenden ökonomischen Effekte mittels der modernen Portfoliotheorie quantifiziert. Um die Diversität der standörtlichen Gegebenheiten Bayerns zu berücksichtigen, erfolgte die Optimierung der landwirtschaftlichen Portfolios in vier unterschiedlichen Modellregionen (Landkreise) Bayerns. Für jede dieser Modellregionen wurde ein Modellbetrieb mit dem Anbauschwerpunkt Getreide und dem Anbauschwerpunkt deckungsbeitragsstarker Hackfrüchte definiert.

Als Grundlage der Modellbetriebsbildung wurden landwirtschaftliche Betriebe mit und ohne KUP verglichen. Dabei war auffällig, dass landwirtschaftliche Betriebe mit KUP tendenziell größere Betriebsflächen bewirtschafteten, öfter ökologische Landwirtschaft betrieben und weniger Pachtfläche bewirtschafteten. Die Viehzahlen und Grünlandanteile von landwirtschaftlichen Betrieben mit KUP waren dagegen geringer.

Die ökonomischen Analysen zeigten, dass KUP unter bayerischen Ertrags- und Bewirtschaftungsbedingungen durchaus mit konventionellen Getreidesorten, nicht jedoch mit den Hackfrüchten Speisekartoffel und Zuckerrübe, konkurrenzfähig waren. Das ökonomische Risiko des KUP Anbaus war gleichzeitig geringer, als das der verglichenen Kulturen; dies lag vor allem an der vergleichsweise geringen Variabilität der Erzeugerpreise. Die gestiegenen Energieholzpreise im vergangenen Jahrzehnt machten den KUP Anbau in den letzten Jahren zunehmend lukrativer.

Die Integration von KUP in landwirtschaftliche Anbau- und Produktportfolios wirkte sich risikomindernd und damit stabilisierend auf den ökonomischen Erfolg landwirtschaftlicher Betriebe aus. KUP stellen damit ein ernstzunehmendes und bisher unterschätztes Diversifikationselement landwirtschaftlicher Betriebe dar. Die diversifizierenden Eigenschaften von KUP in landwirtschaftlichen Betrieben sind besonders im Hinblick auf volatile Agrarmärkte und ungewisse zukünftige Agrarpolitik interessant.

Bei einem wirtschaftlichen Betrieb von Hackschnitzelheizungen profitieren KUP Betreiber mit eigener Hackschnitzelheizung zusätzlich von der Wertschöpfung der nachgelagerten Wertschöpfungskette. Aus Sicht eines Hackschnitzelheizungsbetreibers ermöglicht der KUP Anbau eine gewisse Unabhängigkeit vom Marktgeschehen (Brennstoffpreisentwicklung und Brennstoffversorgung).

Trotz dieser ökonomischen Vorteile ist die KUP Anbaufläche in Bayern nach wie vor vergleichsweise gering. Da ökonomische Faktoren eine wichtige Rolle bei der Entscheidung für oder gegen den Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen spielen, erscheint es daher möglich, den KUP Anbau kostengünstig durch geeignete Bereitstellung von Informationen zu fördern, ohne dass aktiv Subventionen bereitgestellt werden müssen.

2 Einleitung

Die Nachfrage nach Holz, insbesondere zur energetischen Nutzung, stieg in den letzten Jahren in Deutschland erheblich an (Mantau 2012; Dieter et al. 2008), während das Angebot der klassischen Holzquelle Wald begrenzt ist. Weltweit nahm die Forstfläche von 1990 bis 2010 sogar drastisch ab (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2009). Aus diesem Grund prognostizierten verschiedene Holzpotenzialstudien (z.B.: Mantau 2012; Dispan et al. 2008; Polley und Kroihner 2006) zukünftige „Holzlücken“ in Deutschland bereits für das kommende Jahrzehnt. Dies stellt die Forst- und Holzbranche vor weitere Herausforderungen, da sich der Nutzungsdruck auf den Wald dabei tendenziell erhöht und gleichzeitig die gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald immer höher werden. Für Flächeneigentümer bietet dieser Trend jedoch Chancen, da einerseits der Absatz holziger Biomasse sicherer wurde und andererseits die Preise, insbesondere im Industrie- und Energieholzsegment, stiegen (Statistisches Bundesamt 2015a).

Die Energieholz- (Statistisches Bundesamt 2015a) und Hackschnitzelpreise (C.A.R.M.E.N. e.V. 2015) sind im letzten Jahrzehnt deutlich gestiegen. Zusätzlich zu dieser stetigen Steigerung der Erzeugerpreise waren die Preisschwankungen im Vergleich zu fossilen Energieträgern und Agrarpreisen (C.A.R.M.E.N. e.V. 2015; Reisenweber 2014a) gering. Dies hatte zur Folge, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Energieholzproduktion verbesserte und deren Produzenten weit weniger Marktrisiken ausgesetzt waren.

Eine Möglichkeit, das Angebot holziger Biomasse zu erhöhen, sind Kurzumtriebsplantagen (KUP). KUP sind eine moderne Form der Niederwaldbewirtschaftung, wobei schnellwachsende Baumarten (v.a. Pappel, Weide und Robinie) (Don et al. 2012) auf landwirtschaftlicher Fläche angebaut werden. Die KUPs werden meist in Rotationszyklen (Umtriebszeiten) von drei bis zehn Jahren (Schreiner 1970; Hauk et al. 2014b) geerntet. Nach der Ernte treiben die Pflanzen erneut aus. Somit lässt sich vergleichsweise arbeitsextensiv, durch einmaliges Pflanzen und Herbizidbehandlung im Jahr der Kultivierung, über mehrere Jahrzehnte Biomasse produzieren. Die Ernte erfolgt entweder vollmechanisiert mit sogenannten Gehölmähhäckslern, Fäller-Bündler-Aggregaten oder motormanuell. Eine Ernte mittels Gehölmähhäcklser, bei der Ernte und Hacken der Biomasse in einem Arbeitsschritt erfolgen, wird bei kurzen Umtriebszeiten von rund drei Jahren aus ökonomischer Sicht empfohlen (Schweier 2013). Bei der motormanuellen Ernte werden die Stämme geerntet, händisch vorkonzentriert und anschließend gerückt. Dieses Ernteverfahren kann bei höheren Stück-Massen und Umtriebszeiten von etwa zehn Jahren mit den Erntekosten der vollmechanisierten Verfahren konkurrieren (Burger 2011). Ein

Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Stämme am Feldrand abgelagert werden können und der Wassergehalt ohne aktive Trocknung oder Trockenmasseverluste deutlich reduziert werden kann (CREFF Project Consortium 2011). Außerdem eignet sich die motormanuelle Ernte bei der Bewirtschaftung von kleinen Schlägen, da dort bei der Verwendung vollmechanisierter Ernteverfahren relativ hohe Kosten für die Anfahrt der Erntemaschine anfallen.

Durch den Anbau von KUP lassen sich in Deutschland mittlere Zuwächse von etwa zehn bis 13 Tonnen Trockenmasse (t_{atro}) pro Hektar und Jahr realisieren (Kröber et al. 2010). Auf bayerischen Versuchsflächen lagen die Biomasseerträge der zugelassenen Sorten in der ersten Rotation bei knapp sieben $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und in der zweiten Rotation bereits bei elf $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Auf bayerischen Praxisflächen mit Umtriebszeiten zwischen fünf und zehn Jahren konnten sogar knappe 9 $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in der ersten Rotation gemessen werden (Hauk et al. 2015); weitere Ertragssteigerungen in den Folgerotationen sind hierbei zu erwarten (vergleiche Horn et al. 2013). Somit ist die Biomasseleistung von KUP höher als die des heimischen Waldes (Hauk et al. 2014b). Im Vergleich zu herkömmlichen einjährigen landwirtschaftlichen Energiepflanzen weisen KUP zahlreiche ökologische Vorteile auf. So ist die Energieeffizienz der Biomasseproduktion durch KUP weitaus höher als die einjähriger Energiepflanzen (Don et al. 2012; Djomo et al. 2011), die Nitratauswaschung geringer (Zacios et al. 2012) und die Bodenkohlenstoffbindung und Entwicklung der Bodenlebewesen verbessert (Dimitriou et al. 2012; Rowe et al. 2009).

Trotz dieser ökologischen Vorteile und der hohen Nachfragen nach Holz beträgt die KUP-Anbaufläche in Bayern weniger als eine Promille der landwirtschaftlichen Fläche (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2013). Als Hauptursachen werden neben begrenztem Informationsangebot und begrenzter Flächenverfügbarkeit vor allem ökonomische Gründe genannt; allen voran unklare oder unsichere Wirtschaftlichkeit und langfristige Kapitalbindung (Jorissen et al. 2014; Neubert et al. 2013). Da Landwirte ihr Haupt- oder Nebeneinkommen aus der Landwirtschaft beziehen, erscheint es durchaus plausibel, dass ökonomische Faktoren die wichtigste Entscheidungsgrundlage für die Wahl der Landnutzung und Kulturart darstellen (Sherrington und Moran 2010). Um Entscheidungsträgern von Landnutzungen, insbesondere Landwirten als große Flächeneigentümer, eine solide ökonomische Entscheidungsgrundlage für oder gegen den Anbau von KUP zu bieten, sind daher ökonomische Bewertungen von KUP notwendig, die die regionalen Ertrags- und Bewirtschaftungsweisen widerspiegeln. Da landwirtschaftliche Betriebe nicht nur eine Kulturart anbauen, sondern meist ein Portfolio aus mehreren möglichen zusammenstellen und dabei gleichzeitig das unternehmerische Risiko verringern, ist eine ökonomische Betrachtung von KUP auf Betriebsebene und die daraus

entstehenden ökonomischen Effekte entscheidend. Bislang jedoch mangelt es an Studien, die die ökonomischen Effekte von KUP auf den betriebswirtschaftlichen Erfolg landwirtschaftlicher Betriebe untersuchen und dabei die ökonomischen Risiken, ausgehend von natürlichem Risiko (Ertragsschwankung) und Marktrisiko (Preisschwankung), berücksichtigen (Hauk et al. 2014a).

Die Ziele dieser Arbeit sind daher:

- Den Einfluss von KUP auf das Betriebsergebnis landwirtschaftlicher Betriebe zu quantifizieren. Dabei soll geprüft werden, ob und in welchem Umfang KUP – unter Einbezug des ökonomischen Risikos – eine sinnvolle Portfolioerweiterung landwirtschaftlicher Betriebe darstellt.
- Identifizierung landwirtschaftlicher Betriebe, für die der Anbau von KUP aus ökonomischer Sicht besonders geeignet oder ungeeignet ist.

In den folgenden Kapiteln werden die verwendeten Methoden und Ergebnisse dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse diskutiert, in den Kontext der Literatur gestellt und Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Eine Aufstellung der Projektkosten sowie die während der Projektlaufzeit entstandenen Publikationen und Präsentationen befindet sich im Anhang.

Der Projektbearbeiter Christoph Sebastian Hauk fertigte zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Forschungsprojekts eine Dissertationsschrift über die Analyse und ökonomische Optimierung von Kurzumtriebsplantagen an. Die Projektinhalte sind Bestandteil seiner Dissertation und demnach greifen die Inhalte des vorliegenden Projektberichts auf die Auswertungen, Veröffentlichungen und die Dissertation des Projektbearbeiters zurück.

3 Material und Methoden

Um die Ziele dieser Arbeit zu erreichen, wurden in einem ersten Schritt landwirtschaftliche Betriebe mit und ohne KUP anhand geeigneter Indikatoren verglichen. Dadurch konnten typische Charakteristika von KUP-Betrieben identifiziert werden. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden acht Modellbetriebe konstruiert, die die regionalen Gegebenheiten Bayerns möglichst gut repräsentieren. Dies erfolgte in enger Absprache mit PD Dr. Markus Gandorfer (TUM) und den landwirtschaftlichen Beratern der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der jeweiligen Modellregionen (Landkreise), denen wir an dieser Stelle danken möchten. Anschließend wurden für acht Modellbetriebe die Deckungsbeiträge der landwirtschaftlichen Kulturen und die Deckungsbeitragsäquivalente der KUP berechnet. Die Schwankung der ökonomischen Zielgröße der einzelnen Kulturen und deren Korrelationen wurden aufgrund der Preis- und Ertragszeitreihen von 2004-2013 abgeleitet. Anschließend wurden die Portfolios der Modellbetriebe optimiert und die ökonomischen Eigenschaften derjenigen mit und ohne KUP verglichen. Zusätzlich zu diesen Analysen, bei denen der Verkauf der erzeugten Rohstoffe vorgesehen war, wurde der ökonomische Effekt der Eigenverwertung der holzigen Biomasse in einer betriebseigenen Hackschnitzelheizung quantifiziert.

3.1 Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit KUP

Um die Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit und ohne KUP zu identifizieren und, aufbauend auf diesen Erkenntnissen, Modellbetriebe für eine ökonomische Optimierung zu definieren, wurden Betriebe, die bereits KUP anbauen, mit denjenigen ohne KUP verglichen. Durch die Landwirtschaftszählung 2010 (Statistisches Bundesamt 2011) lag ein umfassender Datensatz zur Grundgesamtheit der landwirtschaftlichen Betriebe in Bayern vor, auf welchen über das statistische Bundesamt zugegriffen werden konnte. Da die Landwirtschaftszählung einer Vollerhebung gleicht und zudem die wichtigsten Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe beinhaltet, war er sehr gut für die Analyse landwirtschaftlicher Betriebe ohne KUP geeignet. Da KUP jedoch eine relativ neue, vor allem eine in geringem Ausmaß verbreitete Kultur/Bewirtschaftungsweise darstellt, konnte nicht sichergestellt werden, dass die Angaben über den Anbau von KUP in der Landwirtschaftszählung vollständig enthalten waren. Aus diesem Grund wurde für die Gruppe der landwirtschaftlichen Betriebe mit KUP auf den Datensatz der Studie von (Jorissen et al. 2014) zurückgegriffen, bei der knapp 45 % der KUP-Betreiber Bayerns im

Winter 2011/2012 erfasst wurden. Dieser Datensatz wurde entsprechend der Landwirtschaftszählung aufbereitet. Für den Vergleich der landwirtschaftlichen Betriebe mit und ohne KUP wurden folgende Indikatoren verwendet: landwirtschaftliche Nutzfläche [ha], konventionelle oder ökologische Bewirtschaftung [ja/nein], Alter des Betriebsführers [Jahre], Anteil der Pachtfläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche [%], Anteil der Dauerkulturen [%], Anteil des Grünlands [%], Anteil der Ackerkulturen [%], Anteil der Forstfläche [%], Anzahl der Rinder [Stück], Anzahl der Schweine [Stück].

Für den Vergleich der Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit und ohne KUP wurde zwischen Vollerwerbs- und Nebenerwerbslandwirten unterschieden, um eine differenzierte Auswertung zu ermöglichen. Die analysierten vier Gruppen waren somit: Haupterwerbslandwirt mit KUP (HE KUP), Haupterwerbslandwirt ohne KUP (HE), Nebenerwerbslandwirt mit KUP (NE KUP) und Nebenerwerbslandwirt ohne KUP (NE).

Die statistischen Analysen wurden von drei Besonderheiten bestimmt. Erstens lagen für Landwirte ohne KUP Daten der Grundgesamtheit vor. Schätzungen der Parameter der Grundgesamtheit, basierend auf Stichproben, konnten somit ausbleiben. Zweitens konnten der Landwirtschaftszählung, aufgrund von datenschutzrechtlichen Bestimmungen, keine disaggregierten Werte entnommen (z.B. Charakteristika der einzelnen Landwirte beider Gruppen HE und NE), sondern nur aggregierte Werte der deskriptiven Statistik pro Gruppe (z.B. Mittelwerte und Quantile) berechnet und verglichen werden. Die dritte Besonderheit war, dass die Zahl der Datenpunkte beziehungsweise Stichproben von Landwirten mit KUP und ohne KUP extrem unterschiedlich waren: $n_{HEKUP}=50$; $n_{HE}=47.852$; $n_{NEKUP}=68$; $n_{NE}=45.485$, welche zu Verzerrungen der statistischen Analysen geführt hätten. Deshalb wurden einseitige Mann-Whitney-Wilcoxon Tests herangezogen – die Charakteristika waren nicht normalverteilt – um zu prüfen, ob die einzelnen Betriebscharakteristika der KUP-Landwirte von den Medianen der Nicht-KUP-Landwirte abweichen. Die Normalverteilung wurde mittels Shapiro-Wilk-Tests geprüft. Das Signifikanzniveau aller statistischer Analysen betrug $\alpha=0,05$. Um zu prüfen, ob die Stichproben der KUP-Landwirte die geographische Verteilung und damit die regionalen Besonderheiten des KUP-Anbaus hinreichend genau widerspiegeln, wurden die Anteile der KUP-Landwirte, die den Fragebogen beantworteten, mit denen der Grundgesamtheit der registrierten KUP-Landwirte (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2013) pro Regierungsbezirk mit Hilfe des Kolmogorow-Smirnow-Tests verglichen.

3.2 Ökonomische Analyse von Kurzumtriebsplantagen und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen

Aufbauend auf den Ergebnissen des Kapitels 3.1 wurden landwirtschaftliche Modellbetriebe konstruiert, die sich auf den Anbau von Marktfrüchten spezialisierten. Um den regionalen Besonderheiten landwirtschaftlicher Betriebe in Bayern gerecht zu werden, wurden folgende Modellregionen in Absprache mit PD Dr. Gandorfer (TUM) gewählt: Aichach-Friedberg, Pfaffenhofen an der Ilm, Regensburg (Landkreis) und Wunsiedel. Für jede dieser Regionen wurde jeweils ein möglichst typischer Modellbetrieb mit dem Anbauschwerpunkt Getreide und dem Anbauschwerpunkt Hackfrucht, in enger Absprache mit den landwirtschaftlichen Beratern der jeweiligen Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, definiert. Da sich für die Modellregion Aichach-Friedberg herausstellte, dass dort vermehrt gemischte Betriebe vorherrschen, wurden Hackfrüchte in beiden Modellbetrieben berücksichtigt; jedoch wurde der Hackfruchtanteil in Betrieben mit vornehmlichem Getreideanbau flächenmäßig stärker beschränkt. Den Landkreisen Wunsiedel und Regensburg attestierten die landwirtschaftlichen Berater hochspezialisierte Hackfruchtbaubetriebe, die die phytosanitären Fruchtfolge-restriktionen durch sogenannten Flächentausch umgingen und deren Kartoffelanteil somit weit über den von (Seiffert 2014) berichteten 33 % der Ackerfläche lag. Dies wurde bei der Portfoliooptimierung (siehe Kapitel 2.4. und 3.4) berücksichtigt. Demnach ergaben sich acht Modellbetriebe, bei denen die in Tabelle 1 genannten Kulturarten berücksichtigt wurden.

Tabelle 1: Übersicht der Kulturarten, welche in den jeweiligen Modellbetrieben berücksichtigt wurden. Dabei kennzeichnet „AIC“ die Modellregion Aichach-Friedberg, „PAF“ Pfaffenhofen an der Ilm, „R“ Regensburg (Landkreis) und „WUN“ Wunsiedel. Betriebe mit dem Anbauschwerpunkt Getreide sind mit „G“ und diejenigen mit dem Anbauschwerpunkt Hackfrucht mit „H“ gekennzeichnet.

Kulturart	AIC		PAF		R		WUN	
	G	H	G	H	G	H	G	H
Grünmais	X	X	X	X	X	X	X	--
Körnermais	X	X	X	X	X	X	--	--
KUP	X	X	X	X	X	X	X	X
Sommergerste	--	--	--	--	--	--	X	X
Speisekartoffel	Max. 6%	X	--	--	--	X	--	X
Wintergerste	X	X	X	X	X	--	X	--
Winterraps	X	X	X	X	X	--	X	--
Winterroggen	--	--	--	--	--	--	X	--
Winterweizen	X	X	X	X	X	--	--	--
Zuckerrübe	Max. 2%	X	--	X	--	X	--	--

3.2.1 Ökonomische Bewertung konventioneller landwirtschaftlicher Kulturen

Als ökonomische Zielgröße der konventionellen landwirtschaftlichen Kulturen wurde der einfache Deckungsbeitrag gewählt, welcher eine gängige Zielgröße in der ökonomischen Bewertung landwirtschaftlicher Kulturen darstellt (siehe dazu Musshoff und Hirschauer 2013). Die für die Berechnung der Deckungsbeiträge benötigten Daten konnten von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und dem Bayerischen Landesamt für Statistik bezogen werden. Die bayerischen Erzeugerpreise wurden von Reisenweber (2014a) und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2014) übernommen. Die Naturalerträge wurden landkreisspezifisch von Reisenweber (2014b) und dem Bayerischen Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (BayLfStaD) (2014) bezogen, um die standörtlichen Gegebenheiten der Modellbetriebe bestmöglich zu repräsentieren. Die variablen Kosten wurden von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2014) übernommen. Diese wurden auf Basis der kleinsten verfügbaren Schlaggröße von 2 ha und des durchschnittlichen Naturalertrags der Zeitreihe 2004-2013 für das Jahr 2013 berechnet. Um eine Vergleichbarkeit mit der ökonomischen Zielgröße der KUP zu gewährleisten, wurden die variablen Kosten des Marktfruchtbaus durch die von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2014) genannten Lohnkosten der Maschinenführung ergänzt. Hierzu wurden 15 € pro Stunde veranschlagt. Eine Zusammenfassung der verwendeten Daten ist in den Tabellen 2-5 dargestellt.

Eine Besonderheit der vorliegenden Studie ist, dass die Wirtschaftlichkeit von KUP nicht nur auf Basis eines einzelnen Jahres mit bestimmten konventionellen Kulturen verglichen wurde. Vielmehr sollte die, vor allem bei landwirtschaftlichen Kulturen auftretende Variabilität der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Dazu wurde der Zeitraum von 2004-2013 herangezogen. Die Deckungsbeiträge der einzelnen Kulturen wurden folglich für jedes Jahr dieses Zeitraums, basierend auf den jährlichen Naturalerträgen pro Modellregion und den jährlichen Erzeugerpreisen, berechnet. Im Anschluss wurde die Variabilität der Deckungsbeiträge durch die Standardabweichung quantifiziert.

Tabelle 2: Übersicht der variablen Kosten (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014), Preise (Reisenweber 2014a; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014) und Biomasseerträge (Reisenweber 2014b; Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (BayLfStaD) 2014) der konventionellen landwirtschaftlichen Kulturen in der Modellregion Aichach-Friedberg nach (Hauk 2015). Hierbei kennzeichnet Ø den Mittelwert und „SD“ die Standardabweichung.

	Ø Ertrag [dt ha ⁻¹]	SD Ertrag [dt ha ⁻¹]	Ø Preis [€ dt ⁻¹]	SD Preis [€ dt ⁻¹]	Kosten [€ ha ⁻¹]
Grünmais	513,19	56,41	3,51	0,91	1829,40
Körnermais	99,32	10,17	17,08	5,44	1380,85
Speisekartoffel	419,92	43,87	12,22	5,95	3452,30
Wintergerste	67,80	5,64	15,37	5,13	1053,55
Winterraps	40,71	2,72	34,54	10,90	1235,55
Winterweizen	80,95	5,94	17,63	5,99	1176,80
Zuckerrübe	756,79	51,81	4,63	0,82	1937,25

Tabelle 3: Übersicht der variablen Kosten (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014), Preise (Reisenweber 2014a; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014) und Biomasseerträge (Reisenweber 2014b; Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (BayLfStaD) 2014) der konventionellen landwirtschaftlichen Kulturen in der Modellregion Pfaffenhofen an der Ilm nach (Hauk 2015). Hierbei kennzeichnet Ø den Mittelwert und „SD“ die Standardabweichung.

	Ø Ertrag [dt ha ⁻¹]	SD Ertrag [dt ha ⁻¹]	Ø Preis [€ dt ⁻¹]	SD Preis [€ dt ⁻¹]	Kosten [€ ha ⁻¹]
Grünmais	493,90	49,38	3,51	0,91	1784,40
Körnermais	101,30	10,80	17,08	5,44	1392,85
Wintergerste	59,20	5,13	15,37	5,13	1009,55
Winterraps	37,40	2,66	34,54	10,90	1196,55
Winterweizen	73,60	6,08	17,63	5,99	1132,80
Zuckerrübe	749,60	65,32	4,63	0,82	1932,25

Tabelle 4: Übersicht der variablen Kosten (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014), Preise (Reisenweber 2014a; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014) und Biomasseerträge (Reisenweber 2014b; Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (BayLfStaD) 2014) der konventionellen landwirtschaftlichen Kulturen in der Modellregion Regensburg (Landkreis) nach (Hauk 2015). Hierbei kennzeichnet Ø den Mittelwert und „SD“ die Standardabweichung.

	Ø Ertrag [dt ha ⁻¹]	SD Ertrag [dt ha ⁻¹]	Ø Preis [€ dt ⁻¹]	SD Preis [€ dt ⁻¹]	Kosten [€ ha ⁻¹]
Grünmais	489,25	42,77	3,51	0,91	1773,40
Körnermais	94,13	10,37	17,08	5,44	1634,85
Speisekartoffel	426,03	41,39	12,22	5,95	3472,30
Wintergerste	59,29	2,53	15,37	5,13	1014,55
Winterraps	37,59	3,94	34,54	10,90	1200,55
Winterweizen	76,24	4,79	17,63	5,99	1148,80
Zuckerrübe	758,30	74,06	4,63	0,82	1938,25

Tabelle 5: Übersicht der variablen Kosten (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014), Preise (Reisenweber 2014a; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014) und Biomasseerträge (Reisenweber 2014b; Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (BayLfStaD) 2014) der konventionellen landwirtschaftlichen Kulturen in der Modellregion Wunsiedel nach (Hauk 2015). Hierbei kennzeichnet Ø den Mittelwert und „SD“ die Standardabweichung.

	Ø Ertrag [dt ha ⁻¹]	SD Ertrag [dt ha ⁻¹]	Ø Preis [€ dt ⁻¹]	SD Preis [€ dt ⁻¹]	Kosten [€ ha ⁻¹]
Grünmais	445,98	41,17	3,51	0,91	1672,40
Sommergerste	48,74	6,11	17,21	5,70	866,05
Speisekartoffel	387,96	42,03	12,22	5,95	3344,30
Wintergerste	55,28	4,46	15,37	5,13	987,55
Winterraps	35,37	4,00	34,54	10,90	1174,55
Winterroggen	50,97	5,33	15,71	5,87	876,00

3.2.2 Ökonomische Bewertung von KUP

Die ökonomische Zielgröße der KUP war das Deckungsbeitragsäquivalent. Das Deckungsbeitragsäquivalent stellt die Annuität der KUP Bewirtschaftung dar, wobei nur variable und keine fixen Kosten berücksichtigt wurden. Dieses Verfahren stellt eine geeignete Möglichkeit dar, die mehrjährige Kultur KUP mit einjährigen landwirtschaftlichen Kulturen zu vergleichen (El Kasmioui und Ceulemans 2012; Rosenqvist und Dawson 2005; Rosenqvist H. 1996; Bergez et al. 1991). Die Zahlungsflüsse der KUP wurden mit einem Kalkulationszinssatz von 5 %, in Anlehnung an den mittleren Kalkulationszinssatz der Literaturstudie Hauk et al. (2014a) zur ökonomischen Bewertung von KUP, abgezinst.

Im Gegensatz zum Anbau konventioneller landwirtschaftlicher Kulturen existieren für KUP kaum standardisierte Bewirtschaftungsverfahren. Während in der Literatur (siehe z.B. Schreiner 1970) zwar prinzipiell zwischen kurzen (~ 3 Jahre) und langen (5 bis zwanzig Jahre) Umtriebszeiten und dementsprechend unterschiedlicher Bewirtschaftung unterschieden wird, sind dennoch große Unterschiede hinsichtlich der Bewirtschaftung von KUP auffällig (siehe z.B. Hauk et al. 2014a). Kenntnisse über die gängige Bewirtschaftung sind daher grundlegende Voraussetzungen einer ökonomischen Bewertung von KUP, um die Höhe und den Zeitpunkt der Zahlungsflüsse adäquat abzubilden (Hauk et al. 2014a). Aufgrund einer KUP Betreiber-Befragung von (Hauk et al. 2014b) liegen Informationen über die Bewirtschaftungsweise von KUP in Bayern vor. Diese Studie stellt die Grundlage der ökonomischen Bewertung von KUP in der vorliegenden Studie dar. Dementsprechend wurde der Anbau von Pappelhybriden (*Populus ssp*), welche für den Anbau von KUP gezüchtet wurden, betrachtet. Die Umtriebszeit betrug acht und die gesamte Standdauer der KUP 24 Jahre. Als vorbereitende Arbeiten wurden die Bodenbearbeitung mittels Pflug und Egge und anschließende Applikation eines Voraufdauerbizids angenommen. Die 5000 Stecklinge pro Hektar wurden maschinell gepflanzt. Im Jahr der Pflanzung erfolgte zweimalige chemische Unkrautbekämpfung. Die achtjährigen Triebe wurden motormanuell geerntet und gerückt. Die Stämme wurden am Feldrand gelagert und gleichzeitig passiv getrocknet. Im darauffolgenden Sommer wurde die Biomasse mittels kranbeschicktem Hacker zu Hackschnitzeln weiterverarbeitet. Der zu diesem Zeitpunkt vorherrschende Wassergehalt wurde mit 35 % angenommen (siehe z.B. CREFF Project Consortium 2011). Im Anschluss wurden die Hackschnitzel auf Lastkraftwägen verladen und zu einem 20 km entfernten Kunden transportiert. Am Ende des Investitionszeitraums von 24 Jahren wurde eine Rückumwandlung der Fläche mittels einer Rodungsfräse angenommen, um die Fläche für den Anbau einer konventionellen landwirtschaftlichen Kultur vorzubereiten.

Um die Kosten der KUP Bewirtschaftung abzuleiten, wurden mehrere Quellen herangezogen. Die Kosten der Flächenvorbereitung, Pflanzung und Herbizidbehandlung (zweimalig nach Pflanzung) basieren auf Angaben von Wagner et al. (2012) und Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL). Um die Besonderheiten der KUP Bewirtschaftung in Süddeutschland (kleine Schläge und motormanuelle Ernte) abzubilden, wurden sowohl für die Ableitung der Ernte- als auch der Transportkosten süddeutsche Quellen verwendet. Die Kosten der Ernte, des Rückens und Hackens basieren auf Burger (2011) und die Transportkosten auf Schweier (2013). Die Kosten für Ernte, Hacken und Transport wurden an die jeweilige Erntemenge pro Modellregion angepasst. Für die Berechnung der variablen Transportkosten wurden die von Schweier (2013) genannten Vollkosten um die Fixkosten reduziert und die Transportdistanz von 8 auf 20 km angepasst. Sowohl für die Transportkosten als auch für die Erlöse wurden 5 % Mengenverluste bei der Ernte angesetzt. Da hierzu keine Angaben in der Literatur gefunden wurden, resultierten diese Annahmen aus Expertengesprächen. Für die Rekultivierung wurden wiederum Kosten von (Wagner et al. 2012) angenommen. Tabelle 6 bietet eine Übersicht über die Kosten, die für die KUP Bewirtschaftung in den jeweiligen Modellregionen angenommen wurden.

Tabelle 6: Übersicht der Kosten der KUP Bewirtschaftung der vier Modellregionen nach (Hauk 2015)

	Aichach-Friedberg	Pfaffenhofen an der Ilm	Regensburg (Landkreis)	Wunsiedel
	Kosten [€ ha⁻¹]	Kosten [€ ha⁻¹]	Kosten [€ ha⁻¹]	Kosten [€ ha⁻¹]
Flächenvorbereitung (inkl. Vorauflaufmittel)	242,65	242,65	242,65	242,65
Pflanzen und Pflanzung	1144,00	1144,00	1144,00	1144,00
Herbizidbehandlung (nach Pflanzung)	87,00	87,00	87,00	87,00
Ernte, Rücken und Hacken	4264,55	3489,66	2728,18	2574,97
Transport	1761,93	1441,78	1127,17	1063,87
Rekultivierung	1950,00	1950,00	1950,00	1950,00

Als Erzeugerpreise für die Holzhackschnitzel wurden Waldhackschnitzelpreise von (C.A.R.M.E.N. e.V. 2015) angenommen (Tabelle 7). Diese umfassen den Transport zu einem 20 km entfernten Abnehmer, welcher in den Transportkosten berücksichtigt wurde.

Tabelle 7: Zugrunde gelegte Holzhackschnitzelpreise [€ Mg_{WG35}⁻¹] nach (C.A.R.M.E.N. e.V. 2015)

Jahr	Holzhackschnitzelpreis [€ Mg _{WG35} ⁻¹]
2004	48,05
2005	51,35
2006	65,94
2007	69,90
2008	76,58
2009	82,63
2010	85,94
2011	94,59
2012	92,19
2013	95,80

Die Annahmen zur Biomasseleistung von KUP nehmen eine wichtige Rolle bei der ökonomischen Bewertung von KUP ein. Die Biomasseleistung wird maßgeblich von den standörtlichen Gegebenheiten (Petzold et al. 2010), der verwendeten Baumart und Sorte (Verlinden et al. 2013) und der Bewirtschaftung beeinflusst (Mola-Yudego und Aronsson 2008). Um diese Faktoren zu berücksichtigen, wurde auf Ertragsdaten von bayerischen KUP zurückgegriffen. In der Studie von (Hauk et al. 2015) wurde die Biomasseleistung bayerischer KUP, welche mit der Baumart Pappel begründet wurden, in der ersten Rotation bestimmt. Ein weiterer Vorteil ist, dass die erhobenen KUP keine Versuchsflächen, sondern von Privatpersonen bewirtschaftete KUP sind, und somit die Bewirtschaftungspraxis in Bayern berücksichtigt wurde. Die Erträge der zweiten Rotation, welche den erwarteten Ertrag darstellen, wurden nach (Horn et al. 2013) abgeleitet. Anschließend wurde das bayerische Biomasseniveau an das der Modellregionen angepasst. Hierzu wurde das standortspezifische Ertragsmodell von (Jorissen et al. 2014) benutzt, welches für KUP in Bayern entwickelt wurde. Die Berechnung des erwarteten Ertrags [Mg_{atro} ha⁻¹ a⁻¹] y_r der Modellregion r erfolgte nach Formel 3.1.

$$y_r = \frac{E_{yo}}{E_{yp}} \times E_{yr} \quad (3.1)$$

Wobei E_{yo} der erwartete Ertrag [Mg_{atro} ha⁻¹ a⁻¹] Bayerns der zweiten Rotation, E_{yp} der erwartete Ertrag [Mg_{atro} ha⁻¹ a⁻¹] Bayerns nach dem standortspezifischen Ertragsmodell und E_{yr} der erwartete Ertrag [Mg_{atro} ha⁻¹ a⁻¹] der Modellregion nach dem standortspezifischen Ertragsmodell ist.

Tabelle 8 bietet eine Übersicht der regionalen Biomasseerträge für KUP in Bayern.

Tabelle 8: KUP-Biomasseerträge (dGZ [$\text{Mg}_{\text{atro}} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]) der vier Modellregionen

	Aichach- Friedberg	Pfaffenhofen an der Ilm	Regensburg (Landkreis)	Wunsiedel
Biomasseertrag erste Rotation [$\text{Mg}_{\text{atro}} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]	9,00	7,35	5,80	5,48
Erwarteter Biomasse- ertrag [$\text{Mg}_{\text{atro}} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]	14,77	12,08	9,45	8,92

Für die ökonomische Bewertung wurden die in Mg_{atro} berechneten Biomasseerträge in Biomasseerträge bei einem Wassergehalt von 35 % überführt, da der Referenzwassergehalt der Erzeugerpreise ebenfalls bei 35 % lag.

3.3 Szenario Eigenverwertung der KUP-Hackschnitzel

Eine Auffälligkeit der KUP Betreiber-Befragung von (Hauk et al. 2014b) war, dass 66 % der befragten KUP Betreiber Bayerns eine eigene Hackschnitzelheizung betrieben und weitere 14 % der Befragten bereits den Bau einer Hackschnitzelheizung planten. Aus der dazu durchgeführten Vorstudie ging hervor, dass durch diese Substitution von Ölheizungen ein ökonomischer Vorteil – in Form von geringeren Wärmegestehungskosten – erwartet wurde. Gleichzeitig wurde von einer gewissen Planungssicherheit berichtet, da man sich mit der Eigenversorgung durch KUP der Volatilität der fossilen Brennstoffpreise entziehe. Aufgrund der sehr hohen Hackschnitzelheizungsrate der KUP Betreiber und deren Motivation, die Volatilität der Wärmegestehungskosten und somit auch die des Betriebs zu verringern, erscheint es daher sinnvoll, den ökonomischen Effekt der erweiterten Wertschöpfungskette – Produktion der Biomasse durch KUP inklusive der Wärmeerzeugung – zu untersuchen.

Um die daraus resultierenden ökonomischen Effekte zu quantifizieren, wurden die Wärmegestehungskosten von Hackschnitzel- und Ölheizungen basierend auf den Daten von (Hartmann et al. 2010) berechnet und verglichen. Es wurden jeweils Systeme mit einer Kesselnennleistung von 35 kW und 70 kW betrachtet.

Für die Berechnung der Wärmegestehungskosten wurden die Annuität der kapitalgebundenen Kosten, der betriebsgebundenen Kosten und die der Stromkosten von (Hartmann et al. 2010) jeweils für zwei Ölheizungen (35 kW und 70 kW) und Hackschnitzelheizungen (35 kW und 70 kW) verwendet. Da die Wärmegestehungskosten

von den Brennstoffkosten beeinflusst werden – und letztere eine hohe Variabilität aufweisen – wurden die Brennstoffkosten des Untersuchungszeitraums 2004 bis 2013 berechnet. Die Kosten für den Brennstoff Heizöl (leicht) wurden dabei von (Statistisches Bundesamt 2015b) und für den Brennstoff Hackschnitzel von (C.A.R.M.E.N. e.V. 2015) bezogen. Die Berechnung des Energieinhalts einer Tonne Hackschnitzel bei 35 % Wassergehalt erfolgte in Anlehnung an (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) 2014); der Energieinhalt eines Kilogramms Pappelhackschnitzel bei 35 % Wassergehalt beträgt somit 3,01 kWh kg⁻¹.

3.4 Portfoliooptimierung landwirtschaftlicher Betriebe

„Um die betriebswirtschaftlichen Effekte, welche sich durch Diversifikation landwirtschaftlicher Betriebe durch KUP ergeben, zu quantifizieren, wurde die Portfoliotheorie verwendet. Die Portfoliotheorie wurde von Markowitz (1952) entwickelt und später von Sharpe (1964) zum Capital Asset Pricing Model (CAPM) weiterentwickelt. Ziel der Portfoliotheorie ist es, die Mischungsanteile verschiedener Investitionsalternativen (Portfolio) so zu verändern, dass das finanzielle Risiko (Variabilität der betriebswirtschaftlichen Zielgröße) bei einem definierten erwarteten betriebswirtschaftlichen Erfolg minimiert wird oder, im Umkehrschluss, der betriebswirtschaftliche Erfolg bei einer gewissen Variabilität maximiert wird. Die Grundlage dafür, dass das Risiko durch Mischung verschiedener Investitionsalternativen minimiert – in der Theorie sogar eliminiert – werden kann, ist, dass sich die betriebswirtschaftlichen Erfolge der einzelnen Investitionsalternativen nicht vollständig gleichgerichtet entwickeln (Markowitz 1952). Ein Maß dafür ist der Korrelationskoeffizient k . Der Einbezug der Korrelationen zwischen den verschiedenen Investitionsalternativen nimmt demnach eine bedeutende Rolle bei Portfoliooptimierung ein und wird bei der Berechnung des Portfoliorisikos berücksichtigt. Dass die Portfoliotheorie auch auf Landnutzungsentscheidungen übertragbar ist, wurde in zahlreichen Studien belegt (z.B. Hahn, W. Andreas et al. 2014; Castro et al. 2013; Knoke et al. 2005).

Die Standardabweichung – als quantitatives Risikomaß – des betriebswirtschaftlichen Erfolgs des Portfolios s_P errechnet sich wie folgt:

$$s_P = \sqrt{\sum_i f_i^2 \times s_i^2 + 2 \times \sum_i \sum_j f_i \times f_j \times s_i \times s_j \times k_{ij}} \quad (3.2)$$

Wobei f die anteilige Fläche, i und j die jeweiligen Kulturarten, s^2 die Varianz des betriebswirtschaftlichen Erfolgs der jeweiligen Kulturart, s die Standardabweichung der

jeweiligen Kulturart und k der Korrelationskoeffizient des betriebswirtschaftlichen Erfolgs der Kulturarten i und j ist. Als Nebenbedingungen gilt: $\sum_i f_i = 1$ und $f_i \leq 1$.

Der erwartete betriebswirtschaftliche Erfolg des Portfolios E_p errechnet sich wie folgt, wobei E_i der betriebswirtschaftliche Erfolg der Kulturart i ist:

$$E_p = \sum_i f_i \times E_i \quad (3.3)$$

Die Verteilung der Erwartungswerte der einzelnen Portfoliokomponenten wird somit durch die ersten beiden Momente ihrer Verteilung, dem Erwartungswert und der Standardabweichung beschrieben. Dies setzt allerdings die Normalverteilung der Erwartungswerte der einzelnen Investitionsalternativen voraus (Markowitz 1952), die mittels Shapiro-Wilk-Tests getestet wurden. Eine weitere Voraussetzung für die Anwendung der Portfoliotheorie ist, dass der Investitionsentscheidungsträger risikoavers ist. Dies ist bei vielen Landwirten als zugrunde gelegten Landnutzungsentscheidungsträgern der Fall, wengleich deren Risikoaversion von mehreren Faktoren, wie zum Beispiel deren Betriebsvermögen und persönlicher Einstellung, abhängt (Moschini und Hennessy 2001).

Für die benötigten Eingangsgrößen der Portfoliooptimierung wurden zunächst die finanziellen Zielgrößen der landwirtschaftlichen Kulturen und der KUP pro Modellregion kalkuliert. Die Herleitung der Standardabweichung des finanziellen Erfolgs der einzelnen Kulturarten und deren Korrelationen erfolgte anhand des Zeitraums 2004 bis 2013. Vor 2004 waren die Preise stärker fruchtartenspezifisch von den EU-Agrarsubventionen beeinflusst und somit weniger geeignet, die aktuellen Bedingungen zu repräsentieren. Um die Variabilität des finanziellen Erfolgs der einzelnen Kulturen herzuleiten und an das aktuelle Preis- und Ertragsniveau anzupassen, wurden die historischen Erlöse durch die durchschnittlichen Erlöse der Zeitreihe geteilt und mit denen des Jahres 2013 multipliziert. Schließlich wurden die aktuellen Kosten abgezogen.

Die Portfoliooptimierung erfolgte mittels MS EXCEL[®]-Solver, basierend auf der nichtlinearen Programmierung. Nachdem das risikominimale Portfolio bestimmt wurde (Zielgröße: s_p ; Zielfunktion: $\max s_p$), wurde der maximale Portfolioerfolg (Zielgröße: E_p ; Zielfunktion $\max E_p$) schrittweise durch Erhöhen des zulässigen Portfoliorisikos bestimmt. Dadurch konnten effiziente Portfolios berechnet werden, die für das jeweils zugelassene Portfoliorisiko den maximalen betriebswirtschaftlichen Erfolg erzielten. Als Nebenbedingungen wurden, neben dem Portfoliorisiko und der Bedingung, die Anbaufläche vollständig zu nutzen, phytosanitäre Fruchtfolgerestriktionen nach Seiffert (2014) berücksichtigt.“ (Hauk 2015).

4 Ergebnisse

Das nachfolgende Kapitel fasst die Ergebnisse des Forschungsprojekts zusammen. In Kapitel 3.1 werden die Unterschiede von Landwirten mit und ohne KUP hinsichtlich der in Kapitel 2.1. genannten Charakteristika vorgestellt. Kapitel 3.1 basiert auf der Veröffentlichung (Hauk et al. 2014b). In Kapitel 3.2. wird die Wirtschaftlichkeit von KUP mit derjenigen der landwirtschaftlichen Kulturen in den vier Modellregionen verglichen. Außerdem werden die ökonomischen Effekte, die durch den Anbau von KUP in landwirtschaftlichen Betrieben auftreten, dargestellt. Kapitel 3.2 greift auf die Dissertation des Projektbearbeiters und auf die zur Begutachtung eingereichte Publikation (Hauk et al. submitted) zurück.

4.1 Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit KUP

Bezüglich der geographischen Verteilung konnten keine signifikanten Unterschiede (zweiseitiger Kolmogorow-Smirnow-Test $p=0,54$) zwischen den registrierten KUP Betreibern (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2013) und den antwortenden KUP Betreibern festgestellt werden (Tabelle 9). Demnach kann davon ausgegangen werden, dass die in diesem Kapitel präsentierten Ergebnisse die geographischen Gegebenheiten der KUP-Bewirtschaftung Bayerns widerspiegeln.

Tabelle 9: Geographische Verteilung der KUP in Bayern nach (Hauk et al. 2014b). Der Anteil der KUP Betreiber pro Regierungsbezirk, die den Fragebogen beantworteten, unterscheidet sich nicht signifikant von der Verteilung der registrierten KUP Betreiber (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2013).

Regierungsbezirk	Anteil der registrierten KUP Betreiber [%]	Anteil der antwortenden KUP Betreiber [%]
Mittelfranken	6,8	9,6
Niederbayern	32,7	22,3
Oberbayern	32,2	31,9
Oberfranken	8,2	6,0
Oberpfalz	6,8	6,6
Schwaben	9,3	13,3
Unterfranken	4,1	10,2

Der Anteil der beantworteten Fragebögen lässt sich wie folgt zuordnen: 50 Haupterwerbslandwirte und 68 Nebenerwerbslandwirte sowie 49 KUP Betreiber, die nach den Kriterien der Landwirtschaftszählung 2010 keine Landwirte sind. Demnach stellten Nebenerwerbslandwirte die größte Gruppe der KUP Betreiber dar.

Bei dem Vergleich landwirtschaftlicher Betriebe mit und ohne KUP waren folgende Punkte auffällig: a) Die durchschnittliche landwirtschaftliche Nutzfläche von landwirtschaftlichen Betrieben mit KUP war höher als die der landwirtschaftlichen Betriebe ohne KUP (Tabelle 10); dieser Unterschied war für Haupterwerbslandwirte statistisch signifikant ($p \leq 0,05$). b) Der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Betriebe war bei KUP Betreibern höher. c) KUP Betreiber hatten geringere Pachtflächenanteile und besaßen im Umkehrschluss höhere Anteile eigener Flächen. Keine Unterschiede traten bezüglich des durchschnittlichen Alters des Betriebsleiters auf.

Tabelle 10: Übersicht ausgewählter Betriebscharakteristika von Haupterwerbs- und Nebenerwerbslandwirten mit und ohne KUP nach (Hauk et al. 2014b). Die Charakteristika von KUP Betreibern wurden jeweils mit denen ohne KUP verglichen. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit „*“ gekennzeichnet. Demnach haben Landwirte mit KUP tendenziell größere Betriebe, betreiben öfter ökologische Landwirtschaft und bewirtschaften geringere Anteile an Pachtfläche.

Charakteristika	Haupterwerbslandwirte		Nebenerwerbslandwirte	
	Ohne KUP	Mit KUP	Ohne KUP	Mit KUP
Landwirtschaftliche Nutzfläche [ha]	41,8	67,0*	17,8	20,5
Anteil ökologische Bewirtschaftung [%]	5,7	17,9	5,8	16,3
Durchschnittliches Alter des Betriebsleiters [Jahre]	49	50	47	47
Anteil der Pachtfläche [%]	47,4	36,1*	42,9	23,6*

Eine detailliertere Analyse der Landnutzung zeigte, dass auch hierbei Unterschiede zwischen landwirtschaftlichen Betrieben mit und ohne KUP bestanden (Abbildung 1). Die statistischen Analysen mittels Mann-Whitney-Wilcoxon-Tests zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen HE und HE KUP, beziehungsweise NE und NE KUP hinsichtlich aller Landnutzungen auf. Demnach bewirtschafteten Landwirte mit KUP höhere Waldanteile als Landwirte ohne KUP. Haupterwerbslandwirte mit KUP bewirtschafteten höhere Waldanteile (Δ 14%), mehr Ackerfläche (Δ 4%), geringere Anteile von Dauergrünland und höhere Dauerkulturanteile. Für Nebenerwerbslandwirte, die KUP anbauen, konnten dieselben Trends nachgewiesen werden. Einzig die bewirtschaftete

Ackerfläche der Nebenerwerbslandwirte mit KUP war im Vergleich zu derjenigen der Nebenerwerbslandwirte ohne KUP geringer. Zusammengefasst kann also festgehalten werden, dass Landwirte mit KUP größere Betriebe bewirtschafteten, deren Betriebe geringere Pachtanteile aufwiesen und deren relative Forst- und Dauerkulturfläche größer, der Anteil von Dauergrünland jedoch geringer war.

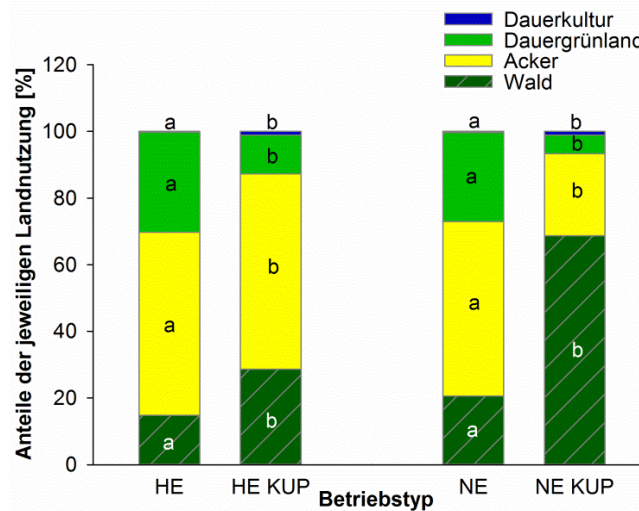


Abbildung 1: Anteilige Landnutzung von landwirtschaftlichen Betrieben mit (mit dem Zusatz „KUP“ gekennzeichnet) und ohne KUP, getrennt nach Haupterwerb (HE) und Nebenerwerb (NE) nach (Hauk et al. 2014b). Die Anzahl der berücksichtigten Fälle betrug 47.852 für HE, 45.485 für NE, 50 für HE KUP und 68 für NE KUP. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit Kleinbuchstaben innerhalb der Balken gekennzeichnet.

Bei dem Vergleich der Viehbestände von landwirtschaftlichen Betrieben mit und ohne KUP war auffällig, dass landwirtschaftliche Betriebe mit KUP signifikant weniger Vieh halten als diejenigen ohne KUP (Abbildung 2). Einzig für den Schweinebestand von Haupterwerbslandwirten mit und ohne KUP konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

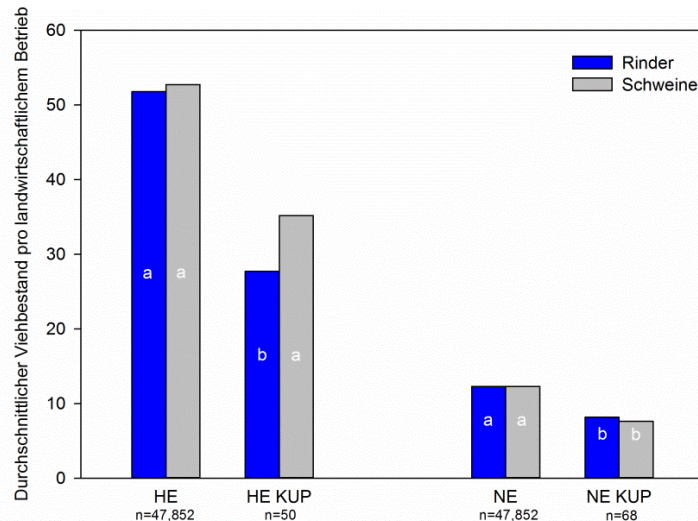


Abbildung 2: Viehbestand von landwirtschaftlichen Betrieben mit (mit dem Zusatz „KUP“ gekennzeichnet) und ohne KUP, getrennt nach Haupterwerb (HE) und Nebenerwerb (NE) nach (Hauk et al. 2014b). Die Kleinbuchstaben repräsentieren das Ergebnis der statistischen Analysen.

4.2 Ökonomische Analyse von Kurzumtriebsplantaue und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen

Die ökonomische Analyse von KUP und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen ergab, dass KUP die Kultur mit der geringsten ökonomischen Variabilität im Zeitraum 2004 bis 2013 war; und dies in allen untersuchten Modellregionen (Tabelle 11). Im Umkehrschluss konnten also die stabilsten Deckungsbeiträge (beziehungsweise Deckungsbeitragsäquivalente) durch den Anbau von KUP erzielt werden. Die erwarteten Deckungsbeitragsäquivalente (Mittelwert des Deckungsbeitragsäquivalent) von KUP waren in den Modellregionen Aichach-Friedberg, Pfaffenhofen an der Ilm und Regensburg geringer als die Deckungsbeiträge der beiden Hackfrüchte Speisekartoffel und Zuckerrübe, jedoch höher als die der verglichenen Getreidearten. In der Modellregion Wunsiedel, die gemessen am Ertrag der konventionellen Kulturen die schwächste Modellregion war, konnten mit Speisekartoffeln, Sommergerste und Winterraps höhere Deckungsbeiträge als mit dem KUP-Anbau erzielt werden. Der KUP-Anbau war dort allerdings mit dem Anbau von Wintergerste, Winterroggen und Grünmais konkurrenzfähig.

Tabelle 11: Übersicht der durchschnittlichen Deckungsbeiträge (\bar{DB}) [$\text{€ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] und Standardabweichung (SD) [$\text{€ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] der untersuchten Kulturen in den vier Modellregionen: Aichach-Friedberg (AIC), Pfaffenhofen an der Ilm (PAF), Regensburg (R) und Wunsiedel (WUN) nach (Hauk 2015). Für KUP ist das Deckungsbeitragsäquivalent gegeben. Der Betrachtungszeitraum umfasst zehn Jahre von 2004-2013.

Kultur	AIC		PAF		R		WUN	
	\bar{DB}	SD	\bar{DB}	SD	\bar{DB}	SD	\bar{DB}	SD
Grünmais	-185,7	500,0	-224,0	456,5	-233,5	443,8	-245,6	436,2
Körnermais	311,55	615,82	387,1	664,15	-190,07	551,5	--	--
KUP	616,6	337,5	465,6	276,3	317,2	238,5	287,3	235,1
Sommergerste	--	--	--	--	--	--	441,9	533,4
Speisekartoffel	3862,2	3285,1	--	--	3478,4	2996,0	3204,2	2709,2
Wintergerste	233,8	507,5	18,1	384,5	10,7	361,7	20,9	384,0
Winterraps	364,2	481,1	211,0	409,8	244,5	413,2	293,4	473,8
Winterroggen	--	--	--	--	--	--	-49,7	306,0
Winterweizen	467,3	602,8	251,0	475,7	273,7	492,3	--	--
Zuckerrübe	2158,0	911,9	1926,2	862,8	1839,7	908,8	--	--

Das vergleichsweise geringe ökonomische Risiko, das der KUP-Anbau birgt, wird durch die kumulierten Häufigkeiten der Deckungsbeiträge veranschaulicht (Abbildung 3).

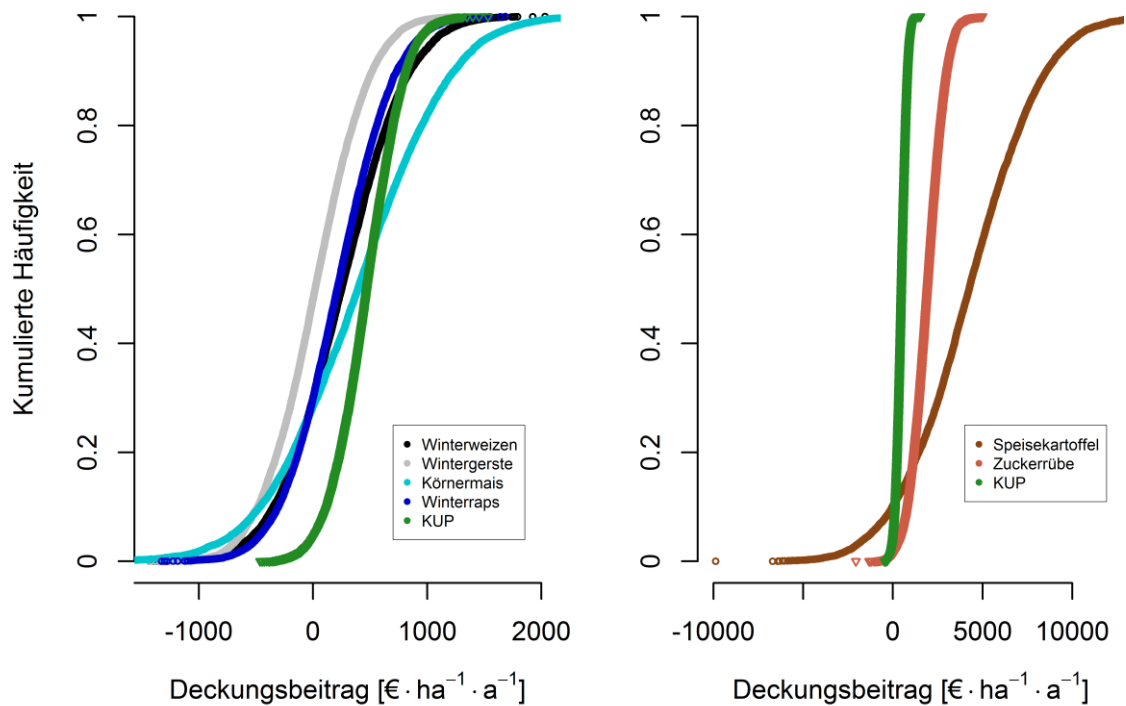


Abbildung 3: Kumulierte Häufigkeiten der Deckungsbeiträge ausgewählter Kulturen am Beispiel der Modellregion Pfaffenhofen an der Ilm nach (Hauk 2015).

Es wird ersichtlich, dass die Wahrscheinlichkeit, einen Deckungsbeitrag (beziehungsweise Deckungsbeitragsäquivalent) zu erzielen, der (das) unter null Euro ist, in dem Zeitraum von 2004-2013 mit KUP wesentlich geringer war, als dies bei den verglichenen Getreidearten und Speisekartoffeln der Fall gewesen ist. Der Anbau von KUP dominiert alle Getreidearten (Stochastische Dominanz 2. Grades) (Abbildung 3 links). Dies bedeutet, dass ein risikoaverser Entscheidungsträger den Anbau von KUP dem Getreideanbau vorziehen würde. Beim Vergleich der kumulierten Häufigkeiten von KUP und den Hackfrüchten hingegen dominieren beide Hackfrüchte (Abbildung 3 rechts), was bedeutet, dass ein risikoaverser Entscheidungsträger den Anbau von Speisekartoffeln und Zuckerrüben dem KUP Anbau vorziehen würde. Dies bedeutet, dass risikoaverse Entscheidungsträger – unabhängig vom Grad der Risikoaversion – den Anbau von KUP dem Anbau von Getreide vorziehen müssten und unter rein ökonomischen Gesichtspunkten der Anbau von KUP jedoch weniger attraktiv war, als der Anbau von Zuckerrüben und Speisekartoffeln.

4.3 Szenario Eigenverwertung der KUP-Hackschnitzel

Die Wärmegegestehungskosten der Hackschnitzelheizung mit einer Kesselnennleistung von 35 kW waren in allen Preisszenarien höher als die der Ölheizung und somit wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig (Tabelle 12). Bei einer Kesselnennleistung von 70 kW war die Hackschnitzelheizung ebenfalls nicht konkurrenzfähig, wenn die Preisminima der Zeitreihe für beide Brennstoffe unterstellt werden. Bei dem mittleren Preisszenario ist eine Ölheizung nur knapp im Vorteil und bei unterstellten Maximalpreisen für Heizöl und Hackschnitzel entstanden sogar deutlich geringere Wärmegegestehungskosten von 0,118 € kWh⁻¹ durch den Betrieb der Hackschnitzelheizung.

Tabelle 12: Wärmegegestehungskosten von Öl- und Hackschnitzelheizungen (HS), basierend auf (Hartmann et al. 2010). Die Brennstoffkosten des Zeitraums 2004 bis 2013 basieren auf (Statistisches Bundesamt 2015b) für Heizöl und (C.A.R.M.E.N. e.V. 2015) für Hackschnitzel. Es wurde eine Vollbenutzungsdauer von 1.500 Stunden pro Jahr unterstellt.

Kesselnennleistung [kW]	35	35	70	70
Brennstoff	ÖI	HS	ÖI	HS
Gesamtnutzungsgrad [%]	80	75	80	75
Summe Brennstoffeinsatz [MWh a⁻¹]	69,4	74	135	144
Annuität kapitalgebundene Kosten [€ a⁻¹]	1679	3865	2466	5607
Annuität betriebsgebundene Kosten [€ a⁻¹]	409	1339	554	1830
Stromkosten [€ a⁻¹]	79	198	154	386
Brennstoffkosten [€ a⁻¹]				
Minimum der Zeitreihe	2388	1181	4645	2297
Mittelwert der Zeitreihe	3867	1874	7523	3648
Maximum der Zeitreihe	5228	2354	10170	4580
Wärmegegestehungskosten [€/kWh]				
Minimum der Zeitreihe	0,087	0,125	0,074	0,096
Mittelwert der Zeitreihe	0,115	0,139	0,102	0,109
Maximum der Zeitreihe	0,141	0,148	0,127	0,118

Eine weitere Auffälligkeit war die Variabilität der Wärmegegestehungskosten. Während die minimalen Wärmegegestehungskosten der Ölheizung (35 kW) 75 % des Mittelwerts und die maximalen 123 % des Mittelwerts betragen, war die Amplitude der Wärmegegestehungskosten der Hackschnitzelheizung (35 kW) deutlich geringer (90-107 %). Derselbe Trend konnte für

die 70 kW Anlagen bestätigt werden, wobei die Amplitude der Wärmegestehungskosten der Ölheizung von 73 bis 125 %, die der Hackschnitzelheizung jedoch nur 88 bis 108 % betrug. Somit zeichnete sich der Betrieb von Hackschnitzelheizungen durch geringeres ökonomisches Risiko aus.

4.4 Ergebnisse der Portfoliooptimierung landwirtschaftlicher Betriebe

Die Ergebnisse der Portfoliooptimierung zeigten, dass in allen Modellbetrieben das geringste ökonomische Risiko durch den Anbau von 100 % KUP erzielt werden konnte (Abbildung 4), da KUP in allen Modellbetrieben die Kultur war, welche die geringste Variabilität aufwies (Tabelle 11). Bei dem Vergleich von risikominimalen Portfolios mit (grün) und ohne (schwarz) KUP war zudem auffällig, dass die risikominimalen Portfolios mit KUP zudem höhere erwartete Deckungsbeiträge als die ohne KUP aufwiesen. Bei landwirtschaftlichen Betrieben mit dem Produktionsschwerpunkt Getreidebau (Abbildung 4 rechts) war der Anbau von 100 % KUP risikoärmer und wies gleichzeitig höhere erwartete Deckungsbeitragsäquivalente auf, als der Anbau herkömmlicher landwirtschaftlicher Kulturen. Einzig in der Modellregion Wunsiedel konnte durch den Anbau riskanterer Ackerfrüchte bei gleichzeitiger Reduzierung der KUP-Fläche der Deckungsbeitrag um etwa 50 € ha⁻¹ gesteigert werden; dies ging jedoch mit einer Verdopplung des ökonomischen Risikos einher.

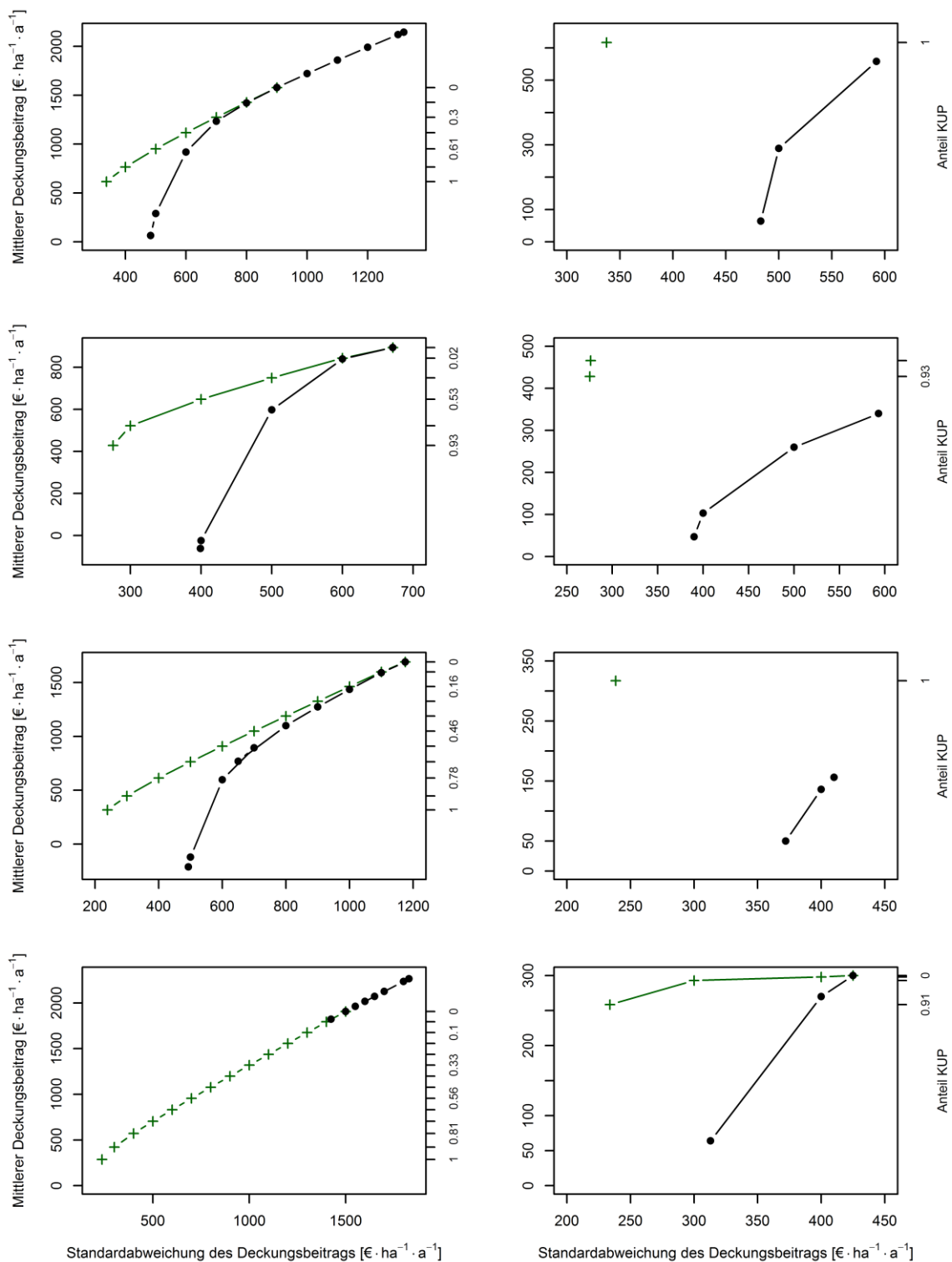


Abbildung 4: Übersicht der effizienten Portfolios von landwirtschaftlichen Betrieben mit den Produktionsschwerpunkten: Hackfrüchte (links) und Getreide (rechts) der vier Modellregionen Aichach-Friedberg (a), Pfaffenhofen an der Ilm (b), Landkreis Regensburg (c) und Wunsiedel (d) nach (Hauk 2015). Portfolios mit konventionellen Kulturen, ohne KUP, sind mit schwarzen Punkten gekennzeichnet. Portfolios, bei denen zusätzlich KUP zugelassen wurden, sind mit grünen Kreuzen gekennzeichnet.

Bei landwirtschaftlichen Betrieben mit dem Produktionsschwerpunkt Hackfrucht (Abbildung 4 links) wurden ebenfalls sehr hohe KUP Anteile (grün) in dem risikominimalen Portfolio empfohlen. Je mehr ökonomisches Risiko erlaubt wurde (für weniger risikoaverse Entscheidungsträger), desto geringer wurde der Anteil von KUP und desto höher wurde der Anteil der deckungsbeitragsstarken, jedoch auch riskanten Hackfrüchte im Portfolio. Während sich in den Hackfruchtbetrieben in Aichach-Friedberg (a) und Wunsiedel (d) noch deutliche Steigerungen des Deckungsbeitrags erzielen ließen, sobald hohes Risiko akzeptiert wurde und der Anteil von KUP 0 % betrug, waren in den Modellregionen Pfaffenhofen an der Ilm (b) und Regensburg (c) nur noch geringe Steigerungen der Deckungsbeiträge durch den reinen Anbau konventioneller landwirtschaftlicher Kulturen möglich. In den letzten beiden Modellbetrieben wurde der Anbau von KUP, bis auf das Portfolio mit dem höchsten Risiko und den höchsten Deckungsbeiträgen, in allen Portfolios mit unterschiedlichen Anteilen empfohlen. Bei dem Hackfruchtbetrieb Wunsiedels ist zudem auffällig, dass erst durch die Integration von KUP Portfolios mit relativ geringeren Risiken möglich waren. Dies lag daran, dass der Modellhackfruchtbetrieb in Wunsiedel auf den Kartoffelanbau mit Flächentausch spezialisiert war (Kartoffelanteil bis zu 66 % zulässig) und als einzige zusätzliche Frucht die Sommergerste anbaute.

Bei einem Vergleich der landwirtschaftlichen Portfolios mit KUP (grün) und ohne KUP (schwarz) wird deutlich, dass durch den Anbau von KUP höhere Deckungsbeiträge bei gleichem Risiko beziehungsweise gleiche Deckungsbeiträge bei geringerem Risiko erzielt wurden, solange der Anteil von KUP größer null war. Dies bedeutet, dass die Integration von KUP in Portfolios von Hackfruchtbaubetrieben zu einer Stabilisierung der Deckungsbeiträge auf Betriebsebene führt. Dasselbe gilt für Getreidebetriebe, wobei hier sogar, außer in der Modellregion Wunsiedel, der reine KUP Anbau hinsichtlich des Risikos und Deckungsbeitrags den konventionellen Getreideportfolios ohne KUP überlegen war.

5 Diskussion

5.1 Charakteristika landwirtschaftlicher Betriebe mit KUP

Wie bereits für Schweden berichtet (Rosenqvist et al. 2000; Mola-Yudego und Pelkonen 2008), konnten auch in Bayern Unterschiede zwischen landwirtschaftlichen Betrieben mit und ohne KUP nachgewiesen werden. (Rosenqvist et al. 2000) begründete die positive Korrelation zwischen großer landwirtschaftlicher Nutzfläche und der Wahrscheinlichkeit, KUP anzubauen damit, dass einerseits mehr Fläche verfügbar ist und andererseits der Anbau unterschiedlicher Kulturen eine Diversifizierungsstrategie darstellt. Letztere Erkenntnisse konnten in Kapitel 3.4 quantitativ untermauert werden. Da die Flächenverfügbarkeit eine wichtige Voraussetzung für den Anbau von KUP darstellt (Neubert et al. 2013), ist es plausibel, dass KUP Landwirte einen geringeren Pachtanteil aufweisen und somit tendenziell mehr Fläche zur Verfügung haben, als diejenigen ohne KUP. In der vorliegenden Studie konnte zudem gezeigt werden, dass KUP Landwirte höhere Waldflächenanteile bewirtschaften. Die höheren Waldflächenanteile von KUP Landwirten, welche auch in Schweden festgestellt wurden (Roos et al. 2000), lassen sich damit erklären, dass sowohl die zur Bewirtschaftung notwendige Technik verfügbar ist als auch ein erhöhter Kenntnisstand mit der Produktion holziger Biomasse vorherrscht. Außerdem fiel in unserer Studie auf, dass der Anteil der Dauergrünlandflächen und der Viehbestand, besonders die Anzahl der Rinder, von KUP Landwirten geringer war. Unter dem Gesichtspunkt der Flächenverfügbarkeit betrachtet, wird dieser Aspekt klarer: Landwirte mit hohen Viehbeständen benötigen sehr wahrscheinlich die betriebseigenen Flächen, um Futter für das Vieh bereitzustellen, anstelle dies am Markt erwerben zu müssen. Sollten sich die Viehzahlen der bayerischen Landwirtschaft, insbesondere der Milchviehhaltung, reduzieren, so böten die frei werdenden Flächen Potenzial für den Anbau von KUP und der KUP Anbau böte ein zusätzliches Einkommen für die betroffenen Landwirte. Es war zudem auffällig, dass der Anteil von ökologisch wirtschaftenden Betrieben bei KUP Landwirten höher war, als bei denjenigen ohne KUP. Hierzu sei erwähnt, dass KUP eine extensive Form der Energiepflanzenproduktion – kein bis geringer Einsatz von Herbiziden, Insektiziden und Düngemitteln und langjährige Bodenruhe – darstellt und somit gut mit den Grundsätzen der ökologischen Landwirtschaft harmoniert. Da die Wahrscheinlichkeit, KUP anzubauen, bei Landwirten mit oben genannten Merkmalen höher ist, ermöglicht dies politischen Entscheidungsträgern, zielgruppenspezifische Maßnahmen zur effizienten Förderung von KUP zu treffen.

5.2 Ökonomische Analyse von Kurzumtriebsplantagen und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen

Die Ergebnisse der ökonomischen Analyse von KUP und annualen landwirtschaftlichen Kulturen im Zeitraum 2004 bis 2013 zeigten, dass KUP in allen Modellregionen die Kultur mit der geringsten ökonomischen Variabilität war. Somit ließen sich die stabilsten Deckungsbeiträge mit KUP erzielen. Diese Eigenschaft wurde bereits in der Studie von Gandorfer et al. (2011) identifiziert, obwohl dieser sogar extremere Ertragsvariabilität der KUP angenommen hatte. Ähnliche Aussagen zum vergleichsweise geringen ökonomischen Risiko von KUP finden sich beispielsweise in a) (Krasuska und Rosenqvist 2012), die Marktfrüchten ein hohes ökonomisches Risiko im Vergleich zu KUP nachwies oder in b) (Aude Ridier 2012), der sogar Markt- und Preisrisiken der konventionellen landwirtschaftlichen Kulturen als einen extra Bonus für KUP bewertete. Nicht nur die Variabilität der Deckungsbeitragsäquivalente war in unserer Studie geringer als die der Marktfrüchte, auch waren die minimalen Deckungsbeiträge, die im schlechtesten Jahr erwirtschaftet wurden, von KUP wesentlich höher, als die der annualen Kulturen. Die geringe Variabilität der Deckungsbeitragsäquivalente kann vor allem durch die vergleichsweise geringe Volatilität der Erzeugerpreise erklärt werden (vergleiche hierzu die Erzeugerpreise von C.A.R.M.E.N. e.V. 2015; Reisenweber 2014a). Ein weiterer ökonomischer Vorteil von KUP war, dass die Wahrscheinlichkeit, Deckungsbeitragsäquivalente unter null Euro zu erzielen, mit KUP wesentlich geringer war, als dies mit allen untersuchten Getreidearten und der Speisekartoffel der Fall war; einzig Zuckerrüben wiesen eine geringere Wahrscheinlichkeit von Deckungsbeiträgen unter null Euro auf. Diese Ausführungen, welche durch die kumulierten Wahrscheinlichkeiten in Abbildung 3 verdeutlicht werden, zeigen das geringe ökonomische Risiko von KUP auf, was KUP aus ökonomischer Sicht zu einer sehr interessanten Kultur macht. Diese Eigenschaft kann besonders für risikoaverse Entscheidungsträger interessant sein.

Außerdem konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass KUP im Zeitraum 2004-2013 nicht nur im Hinblick auf die ökonomische Variabilität, sondern auch im Hinblick auf die durchschnittliche Wirtschaftlichkeit eine interessante Kultur war. In drei der vier Modellregionen war KUP mit allen verglichenen Getreidearten hinsichtlich des durchschnittlichen Deckungsbeitrags (Deckungsbeitragsäquivalent) wirtschaftlich konkurrenzfähig. In der Modellregion Wunsiedel hingegen erzielten Sommergerste und Winterraps höhere Deckungsbeiträge. Der Hackfruchtanbau erzielte in allen Modellregionen höhere durchschnittliche Deckungsbeiträge als der KUP Anbau. Der Vergleich der kumulierten Häufigkeiten unterstützte diese Aussage. Dass KUP ökonomisch durchaus mit

Getreide konkurrieren kann, wurde bereits in verschiedenen Studien berichtet (vergleiche hierzu Krasuska und Rosenqvist 2012). (Hauk et al. 2014a), die 37 Studien zur Wirtschaftlichkeit von KUP im Zeitraum von 1990 bis 2011 untersuchten und verglichen, kamen zu dem Ergebnis, dass in 43 % der Studien KUP ökonomisch konkurrenzfähig war. Die deutlich gestiegenen Preise für Energieholz und Hackschnitzel erhöhten die ökonomische Konkurrenzfähigkeit von KUP dabei zunehmend. Im Umkehrschluss waren geringe Erzeugerpreise für holzige Biomasse neben geringen Biomasseerträgen die Hauptursachen für mangelnde ökonomische Konkurrenzfähigkeit von KUP. So bestätigten beispielsweise (El Kasmioui und Ceulemans 2013), dass KUP ab Hackschnitzelpreisen von 78 € Mg_{atro}⁻¹ wirtschaftlich sind. In der Studie von (Kröber et al. 2010) lag die Wahrscheinlichkeit, mit dem KUP Anbau Annuitäten größer Null Euro zu erzielen, bei einem mittleren Erzeugerpreis von 87 € bei 73 %. Bei einem mittleren Erzeugerpreis von 100 € Mg_{atro}⁻¹ konnten sogar in 99 % der Fälle Annuitäten über 0 € ha⁻¹ a⁻¹ erzielt werden. Der Mittelwert der Erzeugerpreise in dieser Studie lag bei 117,4 € Mg_{atro}⁻¹ (vergleiche hierzu C.A.R.M.E.N. e.V. 2015). Somit können die hier präsentierten Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit von KUP als durchaus plausibel angesehen werden.

5.3 Szenario Eigenverwertung der KUP-Hackschnitzel

Die ökonomische Analyse von Öl- und Hackschnitzelheizungen zeigte, dass Hackschnitzelheizungen mit einer Kesselnennleistung von 35 kW nicht, und diejenigen mit einer Kesselnennleistung von 70 kW nur bei maximalen Brennstoffpreisen des Zeitraums 2004 bis 2013 mit Ölheizungen konkurrieren konnten. Ähnliche Ergebnisse wurden von (Hartmann et al. 2010) veröffentlicht. Die Autoren (Hartmann und Thuneke 2007), welche die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Bioenergie-Kleinanlagen mit den Preisannahmen von 2007 – einem Jahr mit sehr hohen Ölpreisen – berechneten, kamen zu dem Schluss, dass Hackschnitzelheizungen bereits ab einer Kesselnennleistung von 35 kW mit Ölheizungen konkurrieren können. Da bei Hackschnitzelheizungen generell verhältnismäßig hohe Investitionskosten anfallen, nehmen die Vorteile der geringeren Brennstoffkosten durch die Verwendung von Hackschnitzeln mit der Anlagengröße zu (Hartmann und Thuneke 2007). Aufgrund des hohen Wärmebedarfs von landwirtschaftlichen Betrieben kann die von uns betrachtete 70 kW-Anlage wohl eher als „Kleinanlage“ landwirtschaftlicher Betriebe gesehen werden. Häufig werden sogar mehrere Haushalte an landwirtschaftliche Hackschnitzelheizungen angeschlossen (Jorissen et al. 2014), wobei eine wesentlich höhere Kesselnennleistung erforderlich ist und die ökonomische Vorteilhaftigkeit von Hackschnitzelheizungen weiter gesteigert wird (Hartmann und Thuneke 2007). Der Betrieb

von Hackschnitzelheizungen kann somit als Diversifizierungselement landwirtschaftlicher Betriebe gesehen werden, mit dem sich bei entsprechender Planung zusätzliche Gewinne realisieren lassen.

Während hohe Preise ausschließlich ökonomische Nachteile für Betreiber von Ölheizungen haben, bieten hohe Holzhackschnitzelpreise gleich zwei Vorteile für KUP-Betreiber, die Ihre eigene Hackschnitzelheizung betreiben. Erstens sind die Wärmegestehungskosten der Hackschnitzelheizung bei hohen Hackschnitzelpreisen (und gleichzeitig hohen Ölpreisen) geringer als die der Ölheizung, und zweitens bedingen gestiegene Hackschnitzelpreise auch eine gesteigerte Wirtschaftlichkeit der vorgelagerten Prozesskette, dem KUP Anbau. Dies ist besonders dann interessant, wenn von zukünftig steigenden Energiepreisen ausgegangen wird. Außerdem konnte eine weitere ökonomisch interessante Eigenschaft von Hackschnitzelheizungen identifiziert werden: Die Wärmegestehungskosten wiesen eine geringere Amplitude auf, als die der Ölheizung. Dies bedeutet, dass der Betrieb von Hackschnitzelheizungen eine geringere ökonomische Variabilität, also Risiko, bei sich verändernden Brennstoffkosten aufweisen, als dies bei dem Betrieb von Ölheizungen der Fall wäre. Somit haben der Betrieb von Hackschnitzelheizungen und der Anbau von KUP eine Gemeinsamkeit: Sie sind in der Lage, das ökonomische Risiko landwirtschaftlicher Betriebe zu minimieren und im Umkehrschluss den ökonomischen Erfolg landwirtschaftlicher Betriebe zu stabilisieren. Werden KUP-Hackschnitzel für die Eigenversorgung der Hackschnitzelheizung angebaut, so treten weitere positive Effekte auf. Dadurch, dass bei der Versorgung der Anlage auf den eigenen produzierten Brennstoff zurückgegriffen werden kann, wird der Anlagenbetreiber weitestgehend unabhängig vom Marktgeschehen: Es herrscht – abgesehen von Ertragsschwankungen – Versorgungssicherheit bezüglich des Brennstoffes. Zudem können die Brennstoffkosten bei der Eigenversorgung nahezu stabil gehalten werden, was eine verlässliche ökonomische Planung einer Hackschnitzelheizung ermöglicht. Bislang stellt die Entwicklung der Brennstoffkosten eine große Unsicherheit bei ökonomischen Planungen von Hackschnitzelheizungen dar.

5.4 Portfoliooptimierung landwirtschaftlicher Betriebe

Die Portfoliooptimierung der Modellbetriebe zeigte, dass in allen Modellbetrieben das geringste ökonomische Risiko mit dem Anbau von 100 % KUP erreicht werden konnte, da KUP die Kultur mit der geringsten Variabilität des Deckungsbeitragsäquivalents im Zeitraum von 2004 bis 2013 darstellte. Bei landwirtschaftlichen Betrieben, deren Anbauswerpunkt auf Getreide lag, erzielte der Anbau von 100 % KUP sowohl das geringste ökonomische

Risiko als auch die höchsten Deckungsbeiträge. Einzig in der Modellregion Wunsiedel konnten die Deckungsbeiträge um weitere $50 \text{ € ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ durch den Anbau von ökonomisch weitaus riskanteren Getreidesorten gesteigert werden. Somit wäre aus ökonomischer Sicht die Ergänzung landwirtschaftlicher Portfolios mit KUP empfehlenswert, in drei der vier untersuchten Modellbetriebe sogar ein Anbau von 100 % KUP. Es ist hierbei jedoch zu erwähnen, dass bei einer reinen Spezialisierung auf KUP – und somit 0 % Getreidebau – den Flächeneigentümern die gewünschte Anbau- und Produktdiversifizierung entfällt und sie sich einzig auf die Produktion holziger Biomasse konzentrieren und von dieser abhängig sind. Dabei wären sie voll und ganz von der Biomasseproduktion der KUP und den Marktbedingungen der holzigen Biomasse abhängig. Bei einem zukünftig überproportionalen Verfall der Erzeugerpreise für holzige Biomasse oder einem überproportionalen Anstieg der Erzeugerpreise landwirtschaftlicher Kulturen, würden sich die hier präsentierten Ergebnisse zugunsten der Marktfrüchte verschieben. Da die zukünftige Entwicklung der Erzeugerpreise kaum vorhersehbar ist und die Kapitalbindung bei dem KUP Anbau mehrere Jahrzehnte – in unserer Studie 24 Jahre – beträgt, sind solche Extremszenarien von 100 % KUP nicht zu empfehlen. Es kommt hinzu, dass das Kalamitätsrisiko von KUP bisher unzureichend quantifiziert wurde (vergleiche hierzu Nordman et al. 2005; Coyle et al. 2002). In der vorliegenden Studie wurde jedoch versucht, mögliche Ertragseinbußen durch den Einbezug der Ertragsvariabilität bestmöglich abzubilden. Unter Berücksichtigung der eben genannten Einschränkungen verdeutlichen die Ergebnisse dieser Studie, dass die Erweiterung des Anbau- und Produktportfolios von Getreidebaubetrieben durch den Anbau von KUP durchaus sinnvoll ist; aus ökonomischer Sicht sogar zu hohen Flächenanteilen.

Auch in den Hackfruchtbaubetrieben erzielte der Anbau von 100 % KUP die geringste Variabilität der Deckungsbeitragsäquivalente und gleichzeitig höhere Deckungsbeiträge, als das risikominimale Portfolio mit landwirtschaftlichen Kulturen ohne KUP. Wurde jedoch mehr und mehr Schwankung der Deckungsbeiträge akzeptiert, konnten größere Anteile risikoreicherer und deckungsbeitragsstärkerer Hackfrüchte zugelassen werden und somit die Deckungsbeiträge der landwirtschaftlichen Portfolios gesteigert werden. Erlaubte man zusätzlich den Anbau von KUP (Abbildung 4 links), erzielte dieser risikomindernde Effekte, sodass in landwirtschaftlichen Portfolios mit KUP höhere Hackfruchtanteile bei gleichem Risiko (Variabilität der Deckungsbeiträge) angebaut werden konnten, und somit der Deckungsbeitrag der landwirtschaftlichen Portfolios mit KUP höher war als ohne. Die Gründe hierfür waren einerseits das geringe ökonomische Risiko des KUP Anbaus, in erster Linie jedoch die Diversifikationseffekte von KUP. Da die Deckungsbeiträge der Marktfrüchte und die Deckungsbeitragsäquivalente der KUP weniger stark korrelierten als die der Marktfrüchte untereinander, konnten Diversifikationseffekte durch das Beimischen von KUP

in landwirtschaftliche Portfolios erzielt werden, wobei bei gleichem Risiko höhere Deckungsbeiträge oder dieselben Deckungsbeiträge bei geringerem Risiko erzielt werden (Markowitz 1952). Dieselben Effekte konnten bereits in anderen Studien nachgewiesen werden, sobald unterschiedliche Landnutzungsarten oder Kulturen angebaut wurden, deren finanzielle Zielgrößen schwach korreliert waren (z.B.: Castro et al. 2013; Knoke et al. 2014). Dies ist besonders für risikoaverse Entscheidungsträger relevant. Wurde in der vorliegenden Studie hohes Risiko zugelassen, also kaum risikoaverse Entscheidungsträger unterstellt, verringerte sich die KUP Anbaufläche im Portfolio und der Anteil der Hackfrüchte stieg weiter an. Die maximalen Deckungsbeiträge konnten in allen vier Hackfruchtbetrieben mit dem Anbau konventioneller Ackerfrüchte ohne KUP erzielt werden. Diese Portfolios wiesen jedoch auch das höchste ökonomische Risiko auf. Je nach Grad der Risikoaversion wurden somit Flächenanteile des KUP Anbaus zwischen 0 und 100 % in Hackfruchtbaubetrieben berechnet. Um für Hackfruchtbaubetriebe Empfehlungen für den Anteil der KUP Anbaufläche zu geben, sind somit Kenntnisse über die Risikoeinstellung der Landwirte erforderlich. Eine in der Finanzbranche häufig angewandte Methode zur Auswahl optimaler Portfolios ist die Sharpe-Ratio (Sharpe 1964). Wird diese unter der Annahme des inflationsbereinigten Zinssatzes (Statistisches Bundesamt 2015c) von quasi risikofreien Anlagen – Deutsche Bundeswertpapierrendite mit einer Laufzeit größer zehn Jahre (Deutsche Bundesbank 2015) – des betrachteten Zeitraums angewandt, so werden folgende KUP Flächenanteile für risikoaverse Landwirte empfohlen: 30-61 % (AIC), 26-78 % (PAF), 100 % (R), 10-91 % (WUN). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen somit, dass der Anbau von KUP selbst für Hackfruchtbaubetriebe ein interessantes Diversifikationselement darstellt. Da die standörtlichen Bedingungen der landwirtschaftlichen Betriebe in den Modellregionen jedoch sehr variabel sind und auch die Risikoeinstellung der einzelnen Flächeneigentümer / Landwirte sehr unterschiedlich ist, wird daher dringend empfohlen, die optimalen KUP Anbauflächenverhältnisse durch eine empirische Studie zu prüfen. Dazu sollten, aufbauend auf den hier präsentierten Ergebnissen, landwirtschaftliche Betriebsleiter in Bayern nach der Wahl ihres optimalen Portfolios befragt werden.

6 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben gezeigt, dass sich Landwirte mit und ohne KUP anhand gewisser Merkmale unterscheiden. So wiesen Landwirte, die KUP anbauten, größere landwirtschaftliche Nutzflächen auf, bewirtschafteten geringere Pachtflächenanteile, hatten somit höhere Anteile eigener landwirtschaftlicher Nutzfläche und hielten weniger Vieh. Der Anteil ökologisch wirtschaftender Betriebe war in der Gruppe der KUP Landwirte höher. Ähnliche Tendenzen wurden auch in der Studie von (Rosenqvist et al. 2000) über schwedische KUP Landwirte berichtet; Schweden ist wohl das europäische Land, in dem die längste Erfahrung zu KUP gesammelt wurde. Da die Wahrscheinlichkeit, KUP anzubauen, bei Landwirten mit oben genannten Merkmalen höher ist, ermöglicht dies politischen Entscheidungsträgern, zielgruppenspezifische Maßnahmen zur effizienten Förderung von KUP zu treffen. Es sei hierbei erwähnt, dass der Anbau von KUP in Bayern vorwiegend auf Flächen stattfindet, die unterdurchschnittliche Produktivität konventioneller landwirtschaftlicher Kulturen aufweisen (vergleiche hierzu Hauk et al. 2014b). Gleichzeitig jedoch konnten hohe Biomasseerträge durch den KUP Anbau realisiert werden, die bereits in der ersten Rotation im oberen Bereich der für Europa berichteten Biomasseerträge anzusiedeln sind (vergleiche hierzu Hauk et al. 2015). Durch den KUP Anbau auf unterdurchschnittlich produktiven landwirtschaftlichen Flächen oder anderen für die Landwirtschaft ungeeigneten Flächen (weit vom Hof entfernt, Kleinflächen, Flächen mit schlechter Maschinenbefahrbarkeit etc.), können Flächenkonkurrenzen zwischen Nahrungs-/Futtermittelproduktion und der Biomasseproduktion durch KUP minimiert werden. Während in Schweden jedoch der KUP Anbau stark subventioniert wurde und nach dem Einstellen der Subventionen keine weitere Ausweitung der KUP Fläche stattgefunden hat (Mola-Yudego und Pelkonen 2008), war in den vergangenen Jahren eine deutliche Zunahme der KUP Flächen in Bayern, ohne zusätzliche Subventionen, zu verzeichnen (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2013). Somit sind aus Sicht der Autoren keine zusätzlichen ökonomischen Förderungen des KUP Anbaus in Bayern erforderlich; vielmehr sollte das Informationsangebot zu KUP erhöht und die Genehmigungspraxis vereinfacht und vereinheitlicht werden.

Außerdem konnte gezeigt werden, dass KUP unter bayerischen Ertragsbedingungen und der gängigen Bewirtschaftungspraxis ökonomisch durchaus, in dem betrachteten Zeitraum von 2004 bis 2013, mit konventionellen Getreidesorten konkurrieren konnte. Das ökonomische Risiko war dabei beim KUP Anbau am geringsten, wodurch sich verhältnismäßig stabile Deckungsbeitragsäquivalente erzielen ließen. Die Integration von KUP in landwirtschaftliche Portfolios, also der KUP Anbau zusätzlich zu herkömmlichen

landwirtschaftlichen Kulturen, wirkte sich risikomindernd auf den ökonomischen Erfolg landwirtschaftlicher Betriebe aus; und dies in allen Modellbetrieben. Die durch den Anbau von KUP entstandenen Diversifikationseffekte führten also zu stabileren Betriebseinkommen. Dies ist insbesondere bei den vergleichsweise stark volatilen Agrarmärkten, welche hohe ökonomische Risiken bedeuten, interessant.

Bei einem profitablen Betrieb von betriebseigenen Hackschnitzelheizungen profitierten die KUP Betreiber zusätzlich von der erweiterten Wertschöpfungskette durch geringere Wärmegebungskosten. Die Biomasseproduktion mit KUP zur Eigenversorgung macht die Betreiber von Hackschnitzelheizungen zunehmend unabhängiger vom Marktgeschehen (Brennstoffpreisentwicklung und Brennstoffversorgung), was eine Stärkung des ländlichen Raums zur Folge hat. Die hohe Zahl der Hackschnitzelheizungsbetreiber unter den KUP Betreibern lässt vermuten, dass diese Vorteile bereits erkannt wurden.

Trotz der ökonomischen Vorteile war die KUP Anbaufläche in Bayern, gemessen an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Bayerns, gering (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) 2013). Dies verdeutlicht, dass die hier aufgezeigten ökonomischen Vorteile von KUP für landwirtschaftliche Betriebe, besonders unter dem Gesichtspunkt der Produktdiversifizierung, in der Entscheidungsfindung landwirtschaftlicher Betriebe nur unzureichend berücksichtigt werden. Die hier vorgestellten Ergebnisse sollten daher gezielt an Flächeneigentümer, insbesondere Landwirte, herangetragen werden und in die landwirtschaftliche Aus- und Weiterbildung einfließen, um die Adoptionshemmnisse zu überwinden. Neben den Hinderungsgründen: begrenzte Flächenverfügbarkeit, Informationsdefizit und langfristige Kapitalbindung (Neubert et al. 2013), sei hier besonders auf die Genehmigungspraxis in Bayern verwiesen. Aus einer KUP Betreiberbefragung der Projektbearbeiter ging hervor, dass diese in Bayern eine nicht zu unterschätzende Hürde für KUP-Interessierte darstellt. Es wird daher davon ausgegangen, dass eine Vereinfachung und eine stärkere Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis sowie die Multiplikation aktueller Forschungsergebnisse, kostengünstige Maßnahmen zur Förderung von nachhaltigen, diversifizierten und regionalen Wertschöpfungsketten durch den KUP Anbau darstellen.

7 Literaturverzeichnis

Aude Ridier (2012): Farm Level Supply of Short Rotation Woody Crops: Economic Assessment in the Long-Term for Household Farming Systems.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2014): LfL Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Konventionelle und ökologische Verfahren. Online verfügbar unter <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>, zuletzt geprüft am 03.02.2015.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (2014): Der Energieinhalt von Holz. Freising (LWF Merkblatt, 12). Online verfügbar unter <http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-12-energiegehalt-holz.pdf>, zuletzt geprüft am 20.04.2015.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) (Hg.) (2013): Zentrale InVeKoS Datenbank (ZID). Online verfügbar unter <http://www.zi-daten.de/>, zuletzt geprüft am 14.10.2013.

Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (BayLfStaD) (2014): Ernte-, Betriebsberichterst.(EBE):Feldfr., Grünland. Ernte: Kreis, Durchschnittlicher Hektarertrag, Fruchtart. München. Online verfügbar unter <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online>, zuletzt geprüft am 19.02.2015.

Bergez, Jacques-Eric; Bouvarel, Luc; Auclair, Daniel (1991): Short rotation forestry: An agricultural case study of economic feasibility. In: *Bioresource Technology* 35 (1), S. 41–47. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960852491900804>.

Burger, Frank Joachim (2011): Viel Energie bei wenig Aufwand. Kurzumtriebsplantagen können rund 30 Jahre lang genutzt werden. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* (43), S. 56. Online verfügbar unter http://www.lwf.bayern.de/mitarbeiterverzeichnis/a-e/burger/30737/linkurl_3.pdf.

C.A.R.M.E.N. e.V. (2015): Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln. Straubing. Online verfügbar unter <http://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel/jahresmittelwerte>, zuletzt geprüft am 02.02.2015.

Castro, LuzMaria; Calvas, Baltazar; Hildebrandt, Patrick; Knoke, Thomas (2013): Avoiding the loss of shade coffee plantations: how to derive conservation payments for risk-averse land-users. In: *Agroforest Syst* 87 (2), S. 331-347. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-012-9554-0>.

Coyle, David R.; McMillin, Joel D.; Hall, Richard B.; Hart, Elwood R. (2002): Cottonwood leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) defoliation impact on Populus growth and above-ground volume in a short-rotation woody crop plantation. In: *AGRICULTURAL AND FOREST ENTOMOLOGY* 4 (4), S. 293–300.

CREFF Project Consortium (2011): Cost reduction and efficiency improvement of Short Rotation Coppice. on small field sizes and under unfavorable site conditions by focusing on high product quality and a product-oriented cooperative value chain. CREFF Final Report - Project ERA-NET Bioenergy CREFF. Online verfügbar unter https://www.hs-rotenburg.net/fileadmin/user_upload/Forschung/Forschungsprojekte/Biomass/Era-Net/ERA-Net-Abschlussbericht.pdf, zuletzt geprüft am 02.02.2015.

Deutsche Bundesbank (2015): Zinsstruktur für börsennotierte Bundeswertpapiere (Monats- und Tageswerte). Zinsstrukturkurve (Svensson-Methode) / Börsennotierte Bundeswertpapiere / 10,0 Jahr(e) RLZ / Monatsendstand. Online verfügbar unter http://www.bundesbank.de/Navigation/DE/Statistiken/Zeitreihen_Datenbanken/Makrooekonomische_Zeitreihen/its_list_node.html?listId=www_s140_it03a, zuletzt geprüft am 22.04.2015.

Dieter, M.; Elsasser, P.; Küppers, J.-G.; Seintsch, B. (2008): Rahmenbedingungen und Grundlagen für eine Strategie zur Integration von Naturschutzanforderungen in die Forstwirtschaft. Arbeitsbericht 2008/2 des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Hamburg. Online verfügbar unter http://www.bfafh.de/bibl/pdf/oef_08_02.pdf.

Dimitriou, I.; Mola-Yudego, Blas; Aronsson, Par; Eriksson, Jan (2012): Changes in Organic Carbon and Trace Elements in the Soil of Willow Short-Rotation Coppice Plantations. In: *Bioenergy Res* 5 (3), S. 563–572.

Dispan, J.; Grulke, M.; Statz, J.; Seintsch, B. (2008): Zukunft der Holzwirtschaft: Szenarien 2020. In: *Holz-Zentralblatt* 134 (24), S. 685–687.

Djomo, Sylvestre Njakou; Kasmioui, Oufik E. L.; Ceulemans, R. (2011): Energy and greenhouse gas balance of bioenergy production from poplar and willow: a review. In: *GCB Bioenergy* 3 (3), S. 181–197. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01073.x>.

Don, Axel; Osborne, Bruce; Hastings, Astley; Skiba, Ute; Carter, Mette S.; Drewer, Julia et al. (2012): Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon (4), zuletzt geprüft am 26.06.2012.

El Kasmioui, O.; Ceulemans, R. (2012): Financial analysis of the cultivation of poplar and willow for bioenergy. In: *Biomass & Bioenergy* 43 (0), S. 52–64. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412001778>.

El Kasmioui, Ouafik; Ceulemans, Reinhart (2013): Financial Analysis of the Cultivation of Short Rotation Woody Crops for Bioenergy in Belgium: Barriers and Opportunities. In: *BIOENERGY RESEARCH* 6 (1), S. 336–350.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009): State of the World's Forests 2009. Rome.

Gandorfer, M.; Eckstein, K.; Hoffmann, H. (2011): Modeling Economic Performance of an Agroforestry System under Yield and Price Risk. 15th International Consortium on Applied Bioeconomy Research (ICABR) Annual Conference. International Consortium on Applied Bioeconomy Research (ICABR). Villa Mondragone (Frascati), 26.06.2011. Online verfügbar unter http://www.economia.uniroma2.it/icabr-conference/paper_view.php?id=2439&p=12, zuletzt geprüft am 08.03.2012.

Hahn, W. Andreas; Härtl, Fabian; Irland, Lloyd C.; Kohler, Christoph; Moshhammer, Ralf; Knoke, Thomas (2014): Financially optimized management planning under risk aversion results in even-flow sustained timber yield. In: *Forest Policy and Economics* 42 (0), S. 30–41. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934114000215>.

Hartmann, H.; Reisinger, K.; Nothaft, C.; Turowski, P. (2010): Kleine Biomassefeuerungen. Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit. Hg. v. Technologie und Förderzentrum. Straubing (Berichte aus dem TFZ, 21). Online verfügbar unter http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/21_bericht.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2015.

Hartmann, Hans; Thuneke, Klaus (2007): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. 2. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

Hauk, S. (2015): Analyse und ökonomische Optimierung von Kurzumtriebsplantagen. Dissertation. Technische Universität München, München. Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung.

Hauk, S.; Gandorfer, M.; Wittkopf, S.; Müller, U.K.; Knoke, T. (submitted): Ecological diversification is economically profitable - farmers should include short rotation woody crops for bio-energy in their land-use portfolios. In: *Global Change Biology Bioenergy*.

Hauk, Sebastian; Knoke, Thomas; Wittkopf, Stefan (2014a): Economic evaluation of short rotation coppice systems for energy from biomass—A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (0), S. 435–448. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113006527>.

Hauk, Sebastian; Skibbe, Katja; Röhle, Heinz; Schröder, Jens; Wittkopf, Stefan; Knoke, Thomas (2015): Nondestructive Estimation of Biomass Yield for Short-Rotation Woody Crops Is Reliable and Shows High Yields for Commercial Stands in Bavaria. In: *Bioenerg. Res.*, S. 1-13. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-015-9602-5>.

Hauk, Sebastian; Wittkopf, Stefan; Knoke, Thomas (2014b): Analysis of commercial short rotation coppices in Bavaria, southern Germany. In: *Biomass Bioenerg* 67 (0), S. 401–412. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953414002992>.

- Horn, H.; Skibbe, K.; Röhle, H. (2013): Wuchsleistung von KUP aus Pappel in Folgerotationen. In: *AFZ-DerWald* (7), S. 53–55.
- Jorissen, T.; Hauk, S.; Wittkopf, S.; Zerle., P. (2014): Volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Untersuchung des Anbaus von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen als nachhaltige CO₂-Vermeidungsoption. Projektbericht für das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst. Straubing: Wissenschaftszentrum Straubing.
- Knoke, Thomas; Bendix, Jörg; Pohle, Perdita; Hamer, Ute; Hildebrandt, Patrick; Roos, Kristin et al. (2014): Afforestation or intense pasturing improve the ecological and economic value of abandoned tropical farmlands. In: *Nature communications* 5, S. 5612.
- Knoke, Thomas; Stimm, Bernd; Ammer, Christian; Moog, Martin (2005): Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution on an ecological concept. In: *Forest Ecology and Management* 213 (1–3), S. 102–116. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112705002069>.
- Krasuska, Ewa; Rosenqvist, H. (2012): Economics of energy crops in Poland today and in the future. In: *Biomass Bioenergy* 38 (0), S. 23–33. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341100465X>.
- Kröber, M.; Heinrich, J.; Wagner, P.; Schweinle, J. (2010): Ökonomische Bewertung und Einordnung von Kurzumtriebsplantagen in die gesamtbetriebliche Anbaustruktur. In: A. Bemann und C. Knust (Hg.): *Agrowood. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven*. 1. Aufl. Berlin: Weißensee Verlag; Weissensee-Verl, S. 217–229.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL): Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. Darmstadt. Online verfügbar unter <http://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html;jsessionid=F3CA3084DCDCA9CF8D735A75F2AD9BD0>, zuletzt geprüft am 19.02.2015.
- Mantau, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015. Hamburg.
- Markowitz, H. (1952): Portfolio Selection. In: *The Journal of Finance* 7 (1), S. 77–91. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/discover/10.2307/2975974?uid=3737864&uid=2&uid=4&sid=21104120526371>, zuletzt geprüft am 04.09.2014.
- Mola-Yudego, Blas; Aronsson, Pär (2008): Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. In: *Biomass Bioenergy* 32 (9), S. 829–837. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195340800007X>.
- Mola-Yudego, Blas; Pelkonen, Paavo (2008): The effects of policy incentives in the adoption of willow short rotation coppice for bioenergy in Sweden. In: *Energy Policy* 36 (8), S. 3062–3068. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508001687>.
- Moschini, Giancarlo; Hennessy, David A. (2001): Chapter 2 Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. In: Bruce L. Gardner and Gordon C. Rausser (Hg.): *Handbook of Agricultural Economics : Agricultural Production, Volume 1, Part A*: Elsevier, S. 88–153. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574007201100058>.
- Musshoff, Oliver; Hirschauer, Norbert (2013): *Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren*. 3., überarb. und erw. Aufl. München: Vahlen.
- Neubert, F. P.; Boll, T.; Zimmermann, K.; Bergfeld, A. (2013): Chancen und Hemmnisse von Kurzumtriebsplantagen – Online-Umfrage unter Praktikern. In: *AFZ - Der Wald* (4), S. 4–6.
- Nordman, E. E.; Robison, D. J.; Abrahamson, L. P.; Volk, T. A. (2005): Relative resistance of willow and poplar biomass production clones across a continuum of herbivorous insect specialization: Univariate and multivariate approaches. In: *Forest Ecology and Management* 217 (2-3), S. 307–318.
- Petzold, R.; Feger, K.-H.; Röhle, H. (2010): Standortliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. In: A. Bemann und C. Knust (Hg.): *Agrowood. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven*. 1. Aufl. Berlin: Weißensee Verlag; Weissensee-Verl.

Polley, H.; Kroiher, F. (2006): Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. Arbeitsbericht des Instituts für Wald- ökologie und Waldinventuren 2006/3. Eberswalde.

Reisenweber, J. (2014a): Erzeugerpreise wichtiger Marktfrüchte Entwicklung von 1978 bis heute in Bayern, 22.01.2014. E-Mail an S. Hauk.

Reisenweber, J. (2014b): Hektarerträge Bayerns 1958 - 2012; Land - Regierungsbezirke - Landkreise, 04.08.2014. E-Mail an S. Hauk.

Roos, A.; Rosenqvist, H.; Ling, E.; Hektor, B. (2000): Farm-related factors influencing the adoption of short-rotation willow coppice production among Swedish farmers. In: *ACTA AGRICULTURAE SCANDINAVICA SECTION B-SOIL AND PLANT SCIENCE* 50 (1), S. 28–34.

Rosenqvist, H.; Dawson, M. (2005): Economics of willow growing in Northern Ireland. In: *Biomass & Bioenergy* 28 (1), S. 7–14.

Rosenqvist, H.; Roos, A.; Ling, E.; Hektor, B. (2000): Willow growers in Sweden. In: *Biomass and Bioenergy* 18 (2), S. 137–145. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953499000811>.

Rosenqvist H. (Hg.) (1996): Calculation method and economy in Salix production, Biomass for energy and environment. Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. Copenhagen.

Rowe, Rebecca L.; Street, Nathaniel R.; Taylor, Gail (2009): Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (1), S. 271–290. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107001189>.

Schreiner, E. J. (1970): Mini-Rotation-Forestry. Darby (U.S.D.A. Forest Service Research Paper, NE-174), zuletzt geprüft am 25.09.2014.

Schweier, J. (2013): Erzeugung von Energieholz aus Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Marginalstandorten in Südwestdeutschland. Umweltbezogene und ökonomische Bewertung alternativer Bewirtschaftungskonzepte unter besonderer Berücksichtigung verschiedener Holzerverfahren. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg im Breisgau. Institut für Forstwissenschaften.

Seiffert, M. (2014): Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. Grundlagen des Acker und Pflanzenbaus. 13., völlig neu bearb. u. erw. Aufl. München: BLV Buchverlag (Die Landwirtschaft).

Sharpe, W.F. (1964): Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. In: *The Journal of Finance* 19 (3), S. 425–442.

Sherrington, Chris; Moran, Dominic (2010): Modelling farmer uptake of perennial energy crops in the UK. Large-scale wind power in electricity markets with Regular Papers. In: *Energy Policy* 38 (7), S. 3567–3578. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510001151>.

Statistisches Bundesamt (2011): Landwirtschaftszählung 2010. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Landwirtschaftszaehlung2010/Veroeffentlichungen.html>.

Statistisches Bundesamt (2015a): Erzeugerpreisindizes der Produkte des Holzeinschlags aus den Staatsforsten: Deutschland. Jahre, Messzahlen mit/ohne Umsatzsteuer, Produkte des Holzeinschlags. Online verfügbar unter https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data;jsessionid=8E8D35D02130A5CD9F73C457BF72EC9B.tomcat_GO_2_1?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=2&levelid=1430237103777&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&selectionname=61231-0001&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf, zuletzt geprüft am 21.04.2015.

Statistisches Bundesamt (2015b): Preise. Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000 bis Februar 2015. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungP DF_5619001.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt aktualisiert am März 2015, zuletzt geprüft am 20.04.2015.

Statistisches Bundesamt (2015c): Verbraucherpreisindex für Deutschland. Lange Reihen ab 1948. März 2015. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Verbraucherpreise/VerbraucherpreisindexLangeReihen.html>, zuletzt aktualisiert am März 2015, zuletzt geprüft am 22.04.2015.

Verlinden, M. S.; Broeckx, L. S.; Van den Bulcke, J.; van Acker, J.; Ceulemans, R. (2013): Comparative study of biomass determinants of 12 poplar (*Populus*) genotypes in a high-density short-rotation culture. In: *Forest Ecol Manag* 307 (0), S. 101–111. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713004313>.

Wagner, P.; Schweinle, J.; Setzer, F.; Kröber, M.; Dawid, M. (2012): DLG-Merkblatt 372. DLG-Standard zur Kalkulation einer Kurzumtriebsplantage. 1. Aufl. Hg. v. DLG e.V. Frankfurt (Main) (DLG-Merkblatt).

Zacios, M.; Niederberger, J.; Seidel, H.; Schulz, C.; Zimmermann, L.; Burger, F. (2012): Hydrologische und ökologische Aspekte bei Kurzumtriebsplantagen. Ökologisch wertvoll: KUPs liefern mehr als nur nachwachsende Energie. In: *LWF aktuell* (90), S. 21–23.