

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues

Konkurrenz um Biomasse

–

Entwicklung eines Landnutzungsmodells zur Ableitung möglicher zukünftiger Entwicklungen in der Landwirtschaft hinsichtlich der Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Energiebiomasse

Stefan Markus Rauh

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. K. Salhofer

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. A. Heißenhuber
2. Univ.-Prof. Dr. J. H. Kantelhardt
(Universität für Bodenkultur Wien / Österreich)

Die Dissertation wurde am 06.04.2010 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 23.08.2010 angenommen.

Danksagung

„So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig, man muss sie für fertig erklären, wenn man nach der Zeit und den Umständen das Möglichste getan hat.“

(Johann Wolfgang von Goethe)

Nach Abschluss meiner Dissertation danke ich all denen ganz herzlich, die zum Gelingen beitrugen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber, der es mir ermöglichte, die Arbeit am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues in einer wohl nur selten vorzufindenden offenen, großzügigen und vertrauensvollen Atmosphäre durchzuführen. Danken möchte ich ihm auch für seine stete Hilfs- und Diskussionsbereitschaft, besonders in der Zeit der Antragstellung im Ministerium.

In diesem Zusammenhang danke ich auch meinem Freund und Kollegen im Kompetenzbüro „Bioenergie“, Stefan Berenz, für die gemeinsame Antragstellung sowie zahlreiche wertvolle Hinweise bei der Erstellung meines Modells. Weiterhin danke ich ihm für seine Mühen in zahlreichen fachlichen Diskussionen.

Herrn Prof. Dr. Jochen Kantelhardt danke ich für die Übernahme der Zweitkorrektur und Herrn Prof. Dr. Klaus Salhofer für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Danken möchte ich auch allen Kollegen am Lehrstuhl, die dazu beitrugen, meine Doktorandenzeit als einen positiven Lebensabschnitt in Erinnerung zu behalten. Besondere Erwähnung sollen hier meine Bürokollegen Hans Gröbmaier und Georg Friedl sowie die Mittagsrunde in der Mensa finden.

Ganz besonders danke ich natürlich meinen Eltern, die mir das Studium erst ermöglichten und mich jederzeit unterstützten, sowie meiner Verlobten Kathrin, die meiner Arbeit viel Verständnis und Geduld entgegenbrachte. Außerdem danke ich ihr für die Begleitung und Stärkung während dieser entscheidenden Lebensphase.

Für die finanzielle Unterstützung danke ich dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
Kartenverzeichnis	xiii
Formelverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis.....	xvii
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	3
1.2 Ziel der Arbeit.....	4
1.3 Vorgehensweise	4
2 Landnutzungsmodellierung.....	7
2.1 Allgemeine Modelltheorie	7
2.2 Anforderungen an Landnutzungsmodellen	8
2.3 Einordnung von Landnutzungsmodellen	9
2.3.1 Einordnung hinsichtlich der Komplexität der Modelle	9
2.3.2 Einordnung hinsichtlich der angewandten Methodik.....	12
2.4 Vergleich ausgewählter Landnutzungsmodelle	14
2.4.1 Ausgewählte Modelle	14
2.4.2 Einordnung der untersuchten Modelle.....	16
2.5 Zusammenfassende Erkenntnisse.....	19
3 Modellkonzeption und Modellaufbau	21
3.1 Ziele des Modells.....	21
3.2 Modellkonzeption	22
3.2.1 Räumlicher Bezug	22
3.2.2 Zeitliche Ausgestaltung	23
3.2.3 Abbildung der individuellen Entscheidungsfindung	23
3.3 Die Bodenrente als Optimierungskriterium im Modell LaNuOpt	23
3.3.1 Standorttheorie.....	23
3.3.2 Historische Entwicklung der Bodenrente.....	26
3.3.3 Definition der Bodenrente im Modell LaNuOpt.....	29
3.3.4 Dynamisierung des Modells durch Definition der Bodenrente II (BR II)	33
3.4 Einsatz Linearer Programmierung (LP) im Modell LaNuOpt	36
3.4.1 Einsatzgebiete Linearer Optimierung	37

3.4.2	Mathematischer Hintergrund	37
3.4.3	Vor- und Nachteile der Linearen Programmierung.....	39
3.5	Visualisierung im GIS	40
3.5.1	Allgemeines zu Geoinformationssystemen.....	40
3.5.2	Datentypen in Geoinformationssystemen	42
3.5.3	Landnutzungsmodelle als Anwendung von Geoinformationssystemen.....	43
3.6	Überblick über den Modellaufbau	44
3.7	Zusammenfassung und Einschätzung des Modellansatzes.....	45
4	Umsetzung der Methodik im Modell.....	49
4.1	Modellierung der Produktionsverfahren.....	49
4.1.1	Auswahl der Wertschöpfungsketten.....	49
4.1.2	Datenquellen bei der Definition der Produktionsverfahren	53
4.1.3	Mechanisierung der Produktionsverfahren	53
4.1.4	Gebäude der Produktionsverfahren	55
4.1.5	Futtermittelrationen und Substratwahl in den Veredelungsverfahren	56
4.2	Berechnung der Bodenrenten	58
4.2.1	Ermittlung der Markterlöse eines Produktionsverfahrens.....	58
4.2.2	Öffentliche Zahlungen im Modell.....	59
4.2.3	Berechnung des Güllewertes	60
4.2.4	Ableitung der Faktoransätze	61
4.3	Einbindung der Produktionsverfahren in ein LP-Tableau.....	66
4.3.1	Aufbau des LP-Tableaus	66
4.3.2	Fruchtfolgerestriktionen	67
4.3.3	Einbindung der aktuellen Wirtschaftsstruktur mittels Bodenrente II.....	70
4.3.4	Festlegung der Obergrenzen für Neubauten	71
4.3.5	Erfassung regionaler Aspekte.....	72
4.3.6	Ökologische Parameter	74
4.3.7	Sonstige Restriktionen und Anforderungen.....	76
4.4	Treibhausgasinventare im Modell LaNuOpt.....	77
4.4.1	Berechnung der Emissionen in der Pflanzenproduktion.....	79
4.4.2	Berechnung der Emissionen in der Tierhaltung	81
4.4.3	Berechnung der Emissionen in der Biogaserzeugung	85
4.5	Funktionsweise des Modells	89
5	Beschreibung der untersuchten Szenarien	95
5.1	Ausgangsszenario („AS“)	95
5.1.1	Hektarerträge im Ausgangsszenario	96
5.1.2	Preise.....	97
5.1.3	Sonstige Modellannahmen im Szenario „AS“	97

5.2	Szenario „Business as usual“ („BAU“)	98
5.3	Szenario „EEG 2009“ („EEG“)	98
5.4	Szenario „Agrarpolitik 2015“ („AP“)	99
5.5	Überblick über die untersuchten Szenarien	100
6	Ergebnisse der Landnutzungsmodellierung	103
6.1	Beschreibung des Status Quo	104
6.1.1	Allgemeines	104
6.1.2	Entwicklung des Grünlandes	104
6.1.3	Nutzung der Ackerflächen	105
6.1.4	Tierhaltung und Energieproduktion	107
6.1.5	Arbeitsmarkt	108
6.2	Validierung des Modells – Ergebnisse im Ausgangsszenario („AS“)	108
6.2.1	Validierung des Modells	110
6.2.2	Weitere Ergebnisse im Ausgangsszenario	113
6.3	Ergebnisse des Szenarios „BAU“	114
6.3.1	Pflanzenproduktion	114
6.3.2	Tierhaltung und Biogasproduktion	116
6.3.3	Arbeitsmarkt und Treibhausgasinventar	118
6.4	Ergebnisse des Szenarios „EEG“	118
6.4.1	Pflanzenproduktion	119
6.4.2	Tierhaltung und Biogasproduktion	120
6.4.3	Arbeitsmarkt und Treibhausgasinventar	121
6.4.4	Ergebnisse der Szenarrete „niedriger Milchpreis“	122
6.5	Ergebnisse des Szenarios „AP“	125
6.5.1	Pflanzenproduktion	125
6.5.2	Tierhaltung und Biogasproduktion	125
6.5.3	Arbeitsmarkt und Treibhausgasinventar	127
6.5.4	Ergebnisse der Szenarrete „klassische Landwirtschaft“	128
6.6	Vergleich der Szenarien und Bewertung	130
6.6.1	Ackerbau	130
6.6.2	Tierhaltung, Ernährung und Energieproduktion	132
6.6.3	Arbeitsmarkt, Treibhausgasinventar und Bodenrente	136
6.7	Zwischenfazit zu den Modellergebnissen und Auswirkungen auf den nachgelagerten Bereich	138
6.8	Exkurs: Pachtmarktanalyse	141
7	Einordnung der Ergebnisse	145
8	Zusammenfassung	151

9	Summary	163
10	Anhang.....	173
10.1	Anhang-Tabellen.....	173
10.2	Anhang-Abbildungen	181
10.3	Anhang-Karten.....	184
11	Literaturverzeichnis.....	193
	Lebenslauf	205

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung der Preise von Brotweizen, Raps und Rohöl seit 1980.....	2
Abbildung 1-2: Bodenwert in Abhängigkeit der Nachfrage nach Biomasse.....	5
Abbildung 2-1: Dreidimensionaler Rahmen zur Einordnung und Beurteilung von Landnutzungsmodellen anhand ihrer Komplexität.....	10
Abbildung 3-1: Wirkungszusammenhang der Standortfaktoren	24
Abbildung 3-2:Gliederung der Betriebsfläche	25
Abbildung 3-3: Rente in Abhängigkeit von der Marktentfernung beim Anbau von zwei Kulturen.....	28
Abbildung 3-4: Aufbau des Modells LaNuOpt	44
Abbildung 4-1: Zusammenhang zwischen Nährstoffinput und Nährstoffoutput in der Tierhaltung.....	60
Abbildung 4-2: Berechnung der effektiven Düngemittelkosten im Modell LaNuOpt.....	61
Abbildung 4-3: Aufbau des LP-Tableaus im Modell LaNuOpt	66
Abbildung 4-4: Ausschnitt aus dem LP-Tableau von LaNuOpt zur Verdeutlichung der Strukturobergrenzen.....	71
Abbildung 4-5: Berücksichtigte Treibhausgasemissionen im Modell LaNuOpt	78
Abbildung 4-6: Treibhausgasemissionen in CO _{2eq} -Äquivalenten je Hektar ausgewählter Verfahren der Pflanzenproduktion	81
Abbildung 4-7: Treibhausgasemissionen in CO _{2eq} -Äquivalenten je Hektar ausgewählter Verfahren der Tierhaltung.....	83
Abbildung 4-8: Treibhausgasemissionen in CO _{2eq} -Äquivalenten je Tierplatz ausgewählter Verfahren der Tierhaltung.....	85
Abbildung 4-9: Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen (Leistung 150 kW) im Modell LaNuOpt je Hektar Substratfläche bei unterschiedlichen Substraten.....	88
Abbildung 4-10: Ausschnitt aus dem Lösungstableau für das Minibeispiel.....	93
Abbildung 6-1: Korrelation der Tierzahlen des Status Quo mit den Tierzahlen des Szenarios „BAU“ (2009).....	112
Abbildung 6-2: Ausschöpfung der Milchquote in Abhängigkeit vom Milchpreis unter den Rahmenbedingungen des Szenarios „EEG 2009“.....	124
Abbildung 6-3: Ausschöpfung der Milchquote in Abhängigkeit vom Milchpreis und politischen Rahmenbedingungen	127
Abbildung 6-4: Anteil ausgewählter Kulturen an der Ackerfläche in Abhängigkeit vom gewählten Szenario (korrigierte Mittelwerte für Bayern)	131

Abbildung 6-5: Anzahl ausgewählter Tierarten bzw. Tiergruppen in Abhängigkeit vom gewählten Szenario für Bayern.....	132
Abbildung 6-6: Milch-, Fleischproduktion und Ausschöpfung der (ursprünglichen) Milchquote in Bayern in Abhängigkeit vom Szenario.....	133
Abbildung 6-7: Milch- und Fleischproduktion in Abhängigkeit von der Biogasproduktion.....	135
Abbildung 6-8: Arbeitskraftbedarf und Bodenrente in der Landwirtschaft in Bayern in Abhängigkeit vom gewählten Szenario	136
Abbildung 6-9: Treibhausgasinventar der Landwirtschaft in Bayern in Abhängigkeit vom Szenario	137
Abbildung 6-10: Pachtpreisindex (2005 = 100) für Ackerland im Vergleich der drei Schwerpunktregionen.....	142
Abbildung 6-11: Verhältnis des Pachtpreises von Ackerland im Bezug zum Pachtpreis von Grünland im Vergleich der drei Schwerpunktregionen.....	143

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Auflösung und Umfang der drei Dimensionen Raum, Zeit und menschliche Entscheidungen.....	10
Tabelle 2-2: Sechs Stufen der Komplexität menschlicher Entscheidungen in Landnutzungsmodellen.....	11
Tabelle 2-3: Modellkategorien für Landnutzungsmodelle nach LAMBIN et al. (2000, S. 324).....	12
Tabelle 2-4: Modellkategorien für Landnutzungsmodelle nach KOOMEN und STILLWELL (2007, S. 14).....	13
Tabelle 2-5: Umfang und räumlicher Bezug der untersuchten Modelle.....	16
Tabelle 2-6: Charakteristika der untersuchten Modelle bezüglich der zeitlichen Ausgestaltung.....	17
Tabelle 2-7: Modellkategorie, Optimierungsansatz und Zielgröße der untersuchten Modelle.....	18
Tabelle 2-8: Anzahl pflanzlicher bzw. tierischer Produktionsverfahren der untersuchten Modelle.....	19
Tabelle 3-1: Entwicklung der Definition der Bodenrente.....	27
Tabelle 3-2: Stufen der Betriebszweigabrechnung.....	30
Tabelle 3-3: Kostenblöcke und Kostenbeispiele im Modell LaNuOpt.....	32
Tabelle 3-4: Kostenpositionen der versunkenen Kosten im Modell LaNuOpt.....	35
Tabelle 3-5: Schwachstellen der Linearen Programmierung und Lösungsansätze.....	39
Tabelle 3-6: Klassifizierung von GIS nach Anwendungsgebiet.....	41
Tabelle 3-7: Vergleich von Vektor- und Rasterdaten.....	43
Tabelle 3-8: Vor- und Nachteile des Landnutzungsmodells LaNuOpt.....	46
Tabelle 4-1: Landwirtschaftliche Marktfrüchte und deren Differenzierung.....	50
Tabelle 4-2: Landwirtschaftliche Futtermittel/Substrate und deren Differenzierung.....	51
Tabelle 4-3: Landwirtschaftliche Veredelungsverfahren sowie deren Differenzierung.....	52
Tabelle 4-4: Hauptdatenquellen zur Definition der Produktionsverfahren.....	53
Tabelle 4-5: Verwendete Eigenmechanisierung im Modell LaNuOpt.....	54
Tabelle 4-6: Bauliche Anlagen (ohne Futterlager) und deren Investitionsbedarf im Modell LaNuOpt.....	55
Tabelle 4-7: Alternative Rationen einer Milchkuh (8.000 kg Milch pro Jahr) im Modell LaNuOpt.....	57

Tabelle 4-8: Flächenbedarf ausgewählter Veredelungsverfahren im bayerischen Durchschnitt.....	57
Tabelle 4-9: Zinsertrag des Eigenkapitals und Entlohnung der eigenen Arbeit ausgewählter Betriebstypen auf der Basis der Buchführungsergebnisse.....	62
Tabelle 4-10: Klassische Fruchtfolgesysteme und zugehörige Fruchtfolgeglieder	68
Tabelle 4-11: Maximale Anbauanteile in der Fruchtfolge	69
Tabelle 4-12: Fruchtfolgerestriktionen im Modell LaNuOpt.....	70
Tabelle 4-13: C-Faktoren verschiedener Kulturen im Modell LaNuOpt.....	76
Tabelle 4-14: Emissionsquellen der Landwirtschaft im nationalen Inventarbericht	78
Tabelle 4-15: Treibhausgasemissionen in der Milchviehhaltung – Vergleich der Emissionen je Hektar, je Tier und je kg Milch.....	84
Tabelle 4-16: Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen (Leistung 150 kW) im Modell LaNuOpt je kWh erzeugtem Strom Substratfläche bei unterschiedlichen Substraten.....	89
Tabelle 4-17: Ausgewählte Parameter zur Verdeutlichung der Funktionsweise des Modells LaNuOpt	90
Tabelle 4-18: Gesamtbodenrente in der Ist-Situation des Minibeispiels	91
Tabelle 4-19: Gesamtbodenrente bei Umstellung auf Biogas ohne Güllebonus im Minibeispiel.....	91
Tabelle 4-20: Gesamtbodenrente bei Umstellung auf Biogas mit Güllebonus im Minibeispiel.....	92
Tabelle 5-1: Anzahl der Landkreise mit Durchschnitts- bzw. Trenderträge ausgewählter Kulturen.....	96
Tabelle 5-2: Überblick über die wichtigsten Annahmen innerhalb der untersuchten Szenarien	100
Tabelle 6-1: Durchschnittliche Landnutzung in Bayern und Landkreise mit größten Anteilen einzelner Kulturen	105
Tabelle 6-2: Vergleich und Bewertung der Korrelation der Landnutzung im Status Quo und im Szenario „BAU“ (2009) anhand ausgewählter Kulturen.....	111
Tabelle 6-3: Biogasproduktion in Bayern in Abhängigkeit vom Szenario	134
Tabelle 6-4: Anteil der erfassten Pachtflächen in den Schwerpunktregionen	143
Tabelle 7-1: Veränderung der landwirtschaftlichen Landnutzung durch die Förderung des Energiemaisanbaus (Jahr 2010)	147
Tabelle 8-1: Übersicht relevanter Parameter in den unterschiedlichen Szenarien.....	155
Tabelle 8-2: Übersicht der wichtigsten Ergebnisse für ganz Bayern.....	157

Kartenverzeichnis

Karte 4-1: Darstellung des Strukturwandels in Bayern anhand der Betriebsaufgaben	63
Karte 4-2: Darstellung des Strukturwandels anhand der Arbeitslosenquote	64
Karte 4-3: Ableitung des Lohnansatzes in Abhängigkeit vom Strukturwandel	65
Karte 6-1: Verlust an Grünlandflächen in Bayern im Vergleich von 2007 zu 1999	104
Karte 6-2: Maisanteil an der Ackerfläche (Status Quo)	106
Karte 6-3: Konfliktbereiche zwischen Tierhaltung und Biogasproduktion	107
Karte 6-4: Durchschnittliche Bodenrenten im Ausgangsszenario.....	109
Karte 6-5: Abweichung des Modells vom Status Quo beim Getreideanbau.....	110
Karte 6-6: Rückgang des Getreideanteils an der Fruchtfolge im Szenario „BAU“ im Vergleich zum Ausgangsszenario	115
Karte 6-7: Zunahme des Maisanteils an der Fruchtfolge im Szenario „BAU“ im Vergleich zum Ausgangsszenario	116
Karte 6-8: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion im Szenario „BAU“	117
Karte 6-9: Zunahme des Getreide-GPS-Anteils an der Fruchtfolge im Szenario „EEG“ im Vergleich zum Ausgangsszenario.....	119
Karte 6-10: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion („EEG“ 2015).....	120
Karte 6-11: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion (Szenarette „nMP“)	123
Karte 6-12: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion (Szenario „AP“)	126
Karte 6-13: Ausschöpfung der Milchquote in der Szenarette „klassische Landwirtschaft“ (2015).....	128
Karte 6-14: Umverteilung der Milch bei einem Milchpreis von 31 ct/kg nach Abschaffung der Quoten	129

Formelverzeichnis

Formel 3-1: Definition der Bodenrente im Modell PROLAND	28
Formel 3-2: Definition der Bodenrente BR eines Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt	31
Formel 3-3: Berechnung der Kosten eines Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt.....	31
Formel 3-4: Berechnung der öffentlichen Transferzahlungen im Modell LaNuOpt.....	32
Formel 3-5: Bedingung für eine Investition bei einem bestehendem Verfahren	34
Formel 3-6: Umformung von Formel 3-5.....	34
Formel 3-7: Definition der BR II eines bestehenden Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt	34
Formel 3-8: Definition der versunken Kosten eines bestehenden Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt	35
Formel 3-9: Regel für den Ersatz eines bestehenden Produktionsverfahrens m durch ein neues Produktionsverfahren k.....	36
Formel 3-10: Zielfunktion eines linearen Optimierungsproblems	37
Formel 3-11: Nebenbedingungen eines linearen Optimierungsproblems.....	38
Formel 3-12: Nichtnegativitätsbedingung eines linearen Optimierungsproblems.....	38
Formel 4-1: Festlegung des jährlichen Zubaus bei Tierhaltungsverfahren im Modell LaNuOpt	72
Formel 4-2: Berechnung des Anteils intensiven Grünlands eines Landkreises in Abhängigkeit vom Grünlandertrag.....	73
Formel 4-3: Formeln zur Berechnung des Anteils an Stallplätzen in der Leistungsklasse 6.000 kg Milch pro Jahr	74
Formel 4-4: Formel zur Berechnung der Lachgasemissionen in CO ₂ -Äquivalenten.....	80
Formel 4-5: Formel zur Berechnung der Methanemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management.....	82

Abkürzungsverzeichnis

\$	US-Dollar
ρ	Zinsansatz für die Neuinvestition nach DIXIT (1992)
β_i	Faktorvorrat oder Kapazität i
α_{ik}	Faktoranspruch bzw. natürlicher Koeffizient des Produktionsverfahrens k bei der Kapazität i
„EEG“	Szenario „EEG 2009“
„AP kLW“	Szenarettete „klassische Landwirtschaft“ auf Basis des Szenarios „Agrarpolitik 2015“
„AP“	Szenario „Agrarpolitik 2015“
„AS“	Ausgangsszenario
„BAU“	Szenario „Business as Usual“
„EEG nMP“	Szenarettete „niedriger Milchpreis“ auf Basis des Szenarios „EEG 2009“
€	Euro
a	Jahr
A_{6000}	Anteil an Stallplätzen in der Leistungsklasse 6.000 kg Milch in Prozent
ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
ACRE	Agro-Economic Production Model on Regional Level
AF	Ackerfläche
AfA	Abschreibungen
aGK_k	anteilige Gemeinkosten des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Hektar
AGRIPOLIS	Agricultural Policy Simulator
AGZ	Ausgleichszulage in Geldeinheiten je Hektar
$A_{iGL}(BY)$	Anteil intensives Grünland in Bayern in Prozent (= 40 %)
$A_{iGL}(LK)$	Anteil intensives Grünland im Landkreis in Prozent
a_k	Kosten des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Hektar ohne Flächenkosten
AK-Einheit	Arbeitskrafteinheit
Akh	Arbeitskraftstunde
a_m	Kosten des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar ohne Flächenkosten
ASNL	Agrarsektormodell Neue Länder
AUM	Zahlungen für Agrarumweltmaßnahmen durch das Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
AZ_{sp}	Anzahl vorhandene Stallplätze
b_0	Methanbildungspotenzial in $m^3 CH_4$ je kg C (VS)
BE	Bezugseinheit
BF	Blattfrucht
BG	Biogas
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk

Abkürzungsverzeichnis

BIB	betriebsindividuellen Beitrag
b_k	Bodenrente I oder II des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Flächeneinheit (im LP Tableau)
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BR I	Bodenrente I
BR II	Bodenrente II (ohne Gebäudekosten, Kosten für Lieferechte und fixe Kosten der Arbeitserledigung)
$BR II_m$	Bodenrente II des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Produkteinheit
BR_k	Bodenrente des Produktionsverfahrens k
Bsp.	Beispiel
BTL	Biomass to Liquid (Biokraftstoff der 2. Generation)
BY	Bayern
BZA	Betriebszweigabrechnung
bzw.	beziehungsweise
CH_4	Methan
CLUE	Conversion of Land Use and its Effects
CO_2	Kohlenstoffdioxid
D	gedüngte Stickstoffmenge in kg Reinnährstoff
d. h.	das heißt
DB	Deckungsbeitrag
DBMS	Datenbank-Managementsystem
DK_k	Direktkosten des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Hektar
DLG	Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft e.V.
DML (BY)	durchschnittliche Milchleistung in Bayern in kg Milch
DML (LK)	durchschnittliche Milchleistung im Landkreis in kg Milch
dt	Dezitonne = 100 kg
DZ_k	Direktzahlungen der EU für das Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
$E(CH_4)_{CO_2eq}$	Methanemissionen in CO_2 -Äquivalenten
$E(N_2O)_{CO_2eq}$	Lachgasemissionen in CO_2 -Äquivalenten
EEG	Erneuerbaren-Energien-Gesetz
EFEM	Economic Farm Emission Model
EnergieStG	Energie-Steuer-Gesetz
etc.	et cetera
f.	folgende (Singular)
FeEr	Ferkelerzeugung
ff.	folgende (Plural)
$fKdA_m$	fixe Kosten der Arbeitserledigung des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geoinformationssystem

Abkürzungsverzeichnis

GL	Grünland
GPS	Ganzpflanzensilage
GS	Grassilage
GV	Großvieheinheiten
GWP _{CH4}	Global Warming Potential von Methan (25)
GWP _{N2O}	Global Warming Potential von Distickstoffoxid (298)
ha	Hektar
HF	Halmfrucht
inkl.	inklusive
K	Kalium
k	Produktionsverfahren
K	versunkene Kosten nach DIXIT (1992)
KdA _k	Kosten der Arbeitserledigung im Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
KdG _k	Kosten der Gebäude im Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
KdG _m	Kosten der Gebäude des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar
KfL _k	Kosten für Lieferrechte im Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
KfL _m	Kosten für Lieferrechte des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar
kg CO _{2eq}	Kilogramm CO ₂ -Äquivalent
kg	Kilogramm
km ²	Quadratkilometer
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
KULAP	Kulturlandschaftsprogramm
KUP	Kurzumtriebsplantage
kW	Kilowatt
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
LA	Lohnansatz
LaNuOpt	Landnutzungsoptimierung oder Land Use Optimization
ldw.	landwirtschaftlich(e)
LF	landwirtschaftliche Nutzfläche
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LK	Landkreis
LP	Lineare Programmierung = Lineare Optimierung
m	bestehendes Produktionsverfahren
m	Meter
m ³	Kubikmeter
MaSc	Mastschweine
MAT	Milchaustauscher
MCF	Methankonversionsfaktor in kg je kg

Abkürzungsverzeichnis

MEA	Millennium Ecosystem Assessment
Mio.	Millionen
MIP	Gemischt Ganzzahlige Programmierung
M_{N_2}	Molmasse von Stickstoff (28 g/mol)
M_{N_2O}	Molmasse von Distickstoffoxid (44 g/mol)
MODAM	Multi Objective Decision Support Tool for Agroecosystems
N	Stickstoff
n. Chr.	nach Christus
N_2O	Distickstoffoxid (= Lachgas)
NH_3	Ammoniak
NMVOG	flüchtige organische Verbindungen außer Methan
NO	Stickstoffmonoxid
o. ä.	oder ähnliches
P	Phosphor
p_i	Marktpreis des Produktes i in Geldeinheiten je Produkteinheit
PMP	Positive Mathematische Programmierung
PQP	Positiv Quadratische Programmierung
PROLAND	Prognosis of Land Use
PS	Pferdestärke
PSM	Pflanzenschutzmittel
R	zukünftige Einnahmen aus einem neuen Verfahren nach DIXIT (1992)
RAUMIS	Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland
RegEnOpt	Regenerative Energien Optimierung
s. o.	siehe oben
S.	Seite
s_m	versunkene Kosten des bestehenden Produktionsverfahrens m
StMLF	Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten
t	Tonne
THG	Treibhausgas
TIN	trianguläres irreguläres Netzwerk
TP	Tierplatz
Tsd.	Tausend
U	Unit (=Einheit)
u. a.	und andere
u. U.	unter Umständen
UBA	Umweltbundesamt
versch.	verschiedene
vgl.	vergleiche
VNP	Vertragsnaturschutzprogramm
VS	Volatile Solids in kg C pro Jahr
vs.	versus
vTI	von Thünen Institut

Abkürzungsverzeichnis

WG	Winterge
WRa	Winterraps
WW	Winterweizen
X_k	Umfang des Produktionsverfahrens k in Flächeneinheiten (im LP-Tableau)
Y_{ik}	Produzierte Einheiten des Produktes i im Produktionsverfahren k in Produkteinheiten je Hektar
Y_{im}	Produzierte Einheiten des Produktes i im bestehenden Produktionsverfahren m in Produkteinheiten je Hektar
Z	Gesamtbodenrente in Geldeinheiten (im LP-Tableau)
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
ZA	Zinsansatz
ZB_{Tier}	jährlicher Zubau bei Tierhaltungsverfahren
Z_k	öffentliche Transferzahlungen für das Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
Z_m	öffentliche Transferzahlungen für das bestehende Produktionsverfahren m in Geldeinheiten je Hektar
ρ_{CH_4}	Dichte Methan ($0,67 \text{ kg/m}^3 \text{ CH}_4$)



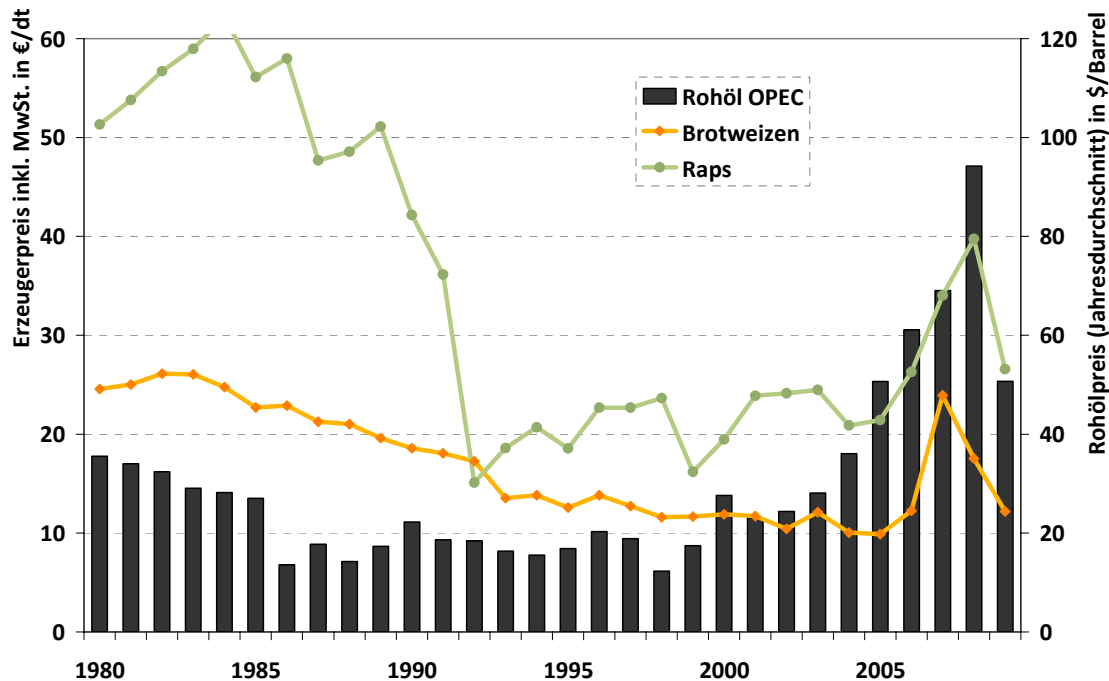
1 Einleitung

Die Endlichkeit fossiler Energieträger, besonders augenscheinlich bei Erdöl, ist weitgehend bekannt (BGR 2008, S. 5 ff.). Gleichzeitig besteht eine weltweit steigende Nachfrage nach Energie für die Erzeugung von Wärme, Kraftstoffen und Strom. Außerordentlich betroffen sind Länder wie Deutschland, die einen Großteil ihres Energiebedarfs über Importe decken müssen. Darüber hinaus wird die Notwendigkeit der teilweisen Substitution von fossilen Energieträgern durch die Diskussion um den Weltklimabericht (IPCC 2007) noch verstärkt. Der Anstieg der CO₂-Emissionen ist zwangsläufig verknüpft mit dem steigenden Energiebedarf der wachsenden Bevölkerung der Erde (BMU 2006, S. 14 ff.). Nicht umsonst spricht KOPETZ (2006, S. 130 f.) in diesem Kontext von einer dreifachen Energiefalle. Eine wichtige Rolle beim Verlassen dieser Falle spielt dabei die Biomasse als natürlicher Speicher von Sonnenenergie. Auch die Europäische Union hat dies bereits erkannt und daraufhin den Aktionsplan für Biomasse verfasst (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2005, S. 4 ff.), der eine Steigerung der Energiegewinnung aus Biomasse vorsieht. Im Zuge der Förderung der Einführung Erneuerbarer Energien wurde ein direktes Preisstützungssystem für Strom (Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG, BGBL 2004 und BGBL 2008b) und Biokraftstoffe (Energie-Steuer-Gesetz EnergieStG, BGBL 2006b; BioKraftQuG, BGBL 2006a) eingeführt.

Auf der anderen Seite unterliegt die klassische Landwirtschaft als Nahrungsmittelproduzent einem erheblichen Wandel. Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen veränderten (Agenda 2000, Midterm Review 2003) und verändern (Health Check) sich. Es ist ein Trend zu einem liberaleren Markt festzustellen, weg von über lange Jahre hinweg

geschützten Marktbedingungen vieler Agrarprodukte hin zu Bedingungen, die den Landwirt ein Bestehen auf dem so genannten Weltmarkt für Agrarrohstoffe abverlangt. Die 80er und 90er Jahre waren geprägt durch den Abbau der direkten Preisstützung für klassische Agrarrohstoffe aus der Lebensmittelproduktion um die Überproduktion in der Europäischen Union in den Griff zu bekommen. Trotz aller agrarpolitischen Maßnahmen konnte der Preisverfall für Agrarrohstoffe, insbesondere der von Marktfrüchten, nicht gestoppt werden (vgl. Abbildung 1-1).

Abbildung 1-1: Entwicklung der Preise von Brotweizen, Raps und Rohöl seit 1980



Quelle: eigene Darstellung nach MWV 2009, ZMP versch. Jahrgänge

Die politischen Entscheidungsträger wurden regelrecht dazu gedrängt, neue Absatzwege für Agrarprodukte zu finden, zumal Maßnahmen wie die Stilllegungsverpflichtung keinen Erfolg brachten. Da zur gleichen Zeit die Energiepreise immer weiter stiegen, lag es nahe, Teile der landwirtschaftlichen Produktion dort unterzubringen. Durch die flankierenden Maßnahmen der Politik wurden regenerative Energieträger wieder annähernd wettbewerbsfähig im Vergleich zu den fossilen Alternativen. Diese Nutzung von Biomasse zur Energieerzeugung ist allerdings keine neue Situation. Bis in die 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts war es nichts außergewöhnliches, dass ein Teil der landwirtschaftlichen Produktion als Energieträger genutzt wird. Über ein Drittel der Fläche wurde benötigt, um das Futter für Zugtiere bereitzustellen, die die Mobilität der Menschheit ermöglichten (MILLER 2007). Erst durch die Nutzung fossiler Energieträger über Dampfmaschinen sowie Verbrennungsmotoren wurde Mobilität ohne landwirtschaftliche Produkte möglich. Moderne Technik und fossile Energieträger wurden für jedermann erschwinglich, so dass regenerative Alternativen nicht mehr wettbewerbsfähig waren. Erst seit dem Beginn des zweiten Jahrtausends hat sich die Tendenz wie-

der umgekehrt, so dass Energie vom Acker unter bestimmten Voraussetzungen wieder ökonomisch wettbewerbsfähig wurde.

1.1 Problemstellung

Da die Biomasseerzeugung nahezu ausschließlich an land- und forstwirtschaftliche Flächen gebunden ist, wird, nicht nur aufgrund spezieller politischer Rahmenbedingungen, eine Konkurrenzbeziehung zur klassischen Nutzung der Flächen erzeugt.

Die in Form von Biomasse gespeicherte Sonnenenergie ist eine für den menschlichen Zeithorizont unerschöpfliche Quelle. Land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe werden derzeit vor allem im Sektor Nahrungswirtschaft bzw. im Rahmen stofflicher Holznutzung nachgefragt. Wurde der Holzrohstoff schon immer in einem bestimmten Ausmaß zur Wärmegewinnung eingesetzt, so werden seit geraumer Zeit aufgrund sich rasch ändernder Rahmenbedingungen im Energiesektor auch landwirtschaftlich genutzte Flächen zunehmend zur Gewinnung von Energiebiomasse genutzt. Daraus lässt sich für die über die momentan noch verfügbaren Potenziale hinausgehenden nachgefragten Mengen an Energiebiomasse, eine Konkurrenzbeziehung zum Food-Anbau ableiten. Dem Land- und Forstwirt eröffnen sich demnach durch die steigende Nachfrage nach Biomasse für die energetische Nutzung neue Absatzkanäle. Gerade auf der Ebene der Rohstoffbereitstellung, sei es nun zur Nahrungsmittel- oder zur Energieerzeugung, kann sich der Landwirt flexibel dem jeweils lukrativeren Markt zuwenden. Somit besteht eine unmittelbare Konkurrenzbeziehung zwischen Nahrungsmittelerzeugung (Milch, Fleisch, etc.) und der Energierohstoffbereitstellung, die sich mit steigender Nachfrage nach Energiebiomasse verschärfen wird.

Bei steigender Vorzüglichkeit der Bioenergieerzeugung ergeben sich im gleichen Maße weit reichende Auswirkungen für die vor- und nachgelagerten Bereiche der klassischen Landwirtschaft. So wird beispielsweise eine eingeschränkte Milch- bzw. Fleischerzeugung die gegebenen Verarbeitungsstrukturen der Molkerei- und Fleischverarbeitungswirtschaft je nach Region erheblich beeinträchtigen.

Die Thematik der Konkurrenzbeziehung wird in zahlreichen Forschungseinrichtungen z. T. kritisch hinterfragt. Vor allem die Fragestellung, ob überhaupt ein positiver Beitrag zum Klimaschutz vorliegt, wird kontrovers diskutiert (z. B. SEARCHINGER et al. 2009, S. 528 f.). Gleichzeitig steht im Brennpunkt, welche Landnutzung aus ökonomischer und ökologischer Sicht zu präferieren ist (z. B. LENK et al. 2007, S. 1497 ff.) und welche Konsequenzen die Erreichung von Klimaschutzziele auf die entstehende Landnutzung haben (z. B. THRAEN und KALTSCHMITT 2007, S. 1515 ff.). Auch makro- und sozioökonomische Effekte treten zunehmend in den Vordergrund der wissenschaftlichen Untersuchungen (z. B. NUSSER et al. 2007).

1.2 Ziel der Arbeit

Aus oben stehenden Zusammenhängen leitet sich das Ziel der vorliegenden Dissertation ab. Mittels eines zu erstellenden Landnutzungsmodells sollen Fragen bezüglich der Auswirkungen von veränderten energiepolitischen Rahmenbedingungen bzw. Marktentwicklungen auf die Art der Landnutzung in Bayern beantwortet werden können. Unter ceteris paribus Bedingungen sollen nach Validierung des Modells die Auswirkungen einzelner politischer Instrumente getestet werden. Darüber hinaus gilt es zu klären, welche Auswirkungen Preisschwankungen auf das Angebot diverser Agrarprodukte haben. Weiterhin sollen Aussagen ermöglicht werden, die Anhaltspunkte hinsichtlich der Versorgungssicherheit mit Nahrungsmitteln geben. Ein zusätzlicher Themenbereich ist die Analyse sozioökonomischer Kriterien. Das Landnutzungsmodell soll in der Lage sein, Effekte einer geänderten Landnutzung auf den Arbeitskräftebedarf sowie das Einkommen in der Landwirtschaft offen zu legen.

Schließlich soll das Landnutzungsmodell mit einem vereinfachten Treibhausgasinventar für die Landwirtschaft verknüpft werden, womit Aussagen bezüglich der Klimawirkung der Landwirtschaft getroffen werden können. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Implementierung der Biogasverfahren, die eine Möglichkeit darstellen, Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft zu reduzieren.

1.3 Vorgehensweise

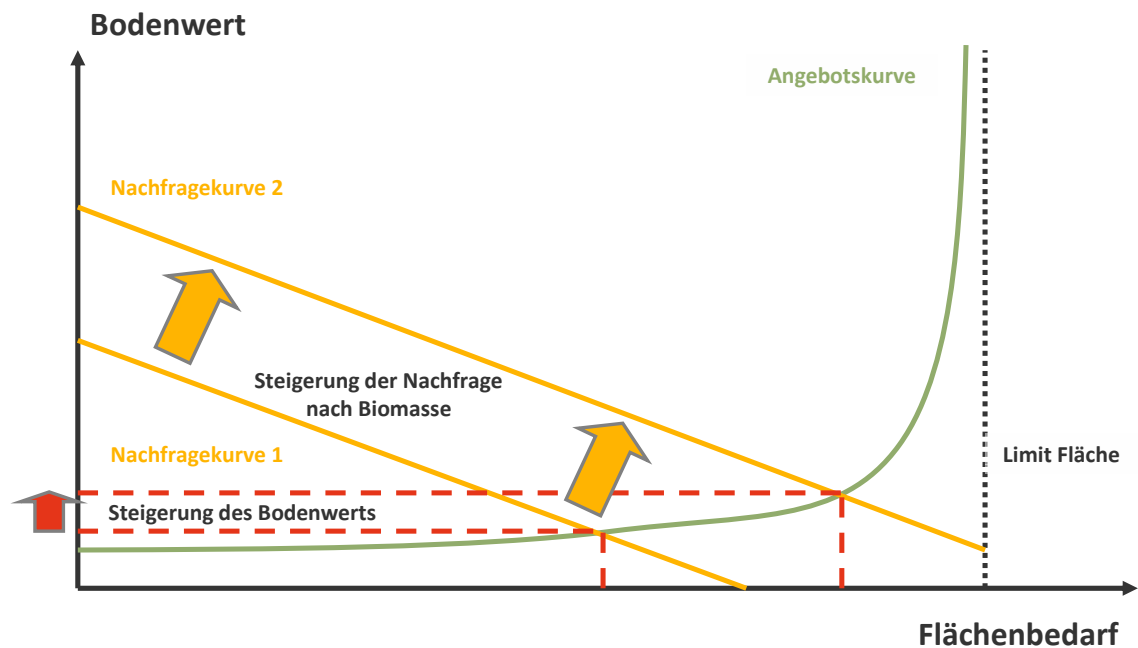
Bezüglich der methodischen Vorgehensweise soll das zentrale Instrumentarium ein LP-Modell (Lineare Programmierung) mit der Bezugseinheit ein Hektar Fläche darstellen. Die Bodenfläche ist als der knappste Produktionsfaktor anzusehen, gerade wenn es um die Transformation von Sonnenenergie in Biomasse geht. Durch die Begrenztheit des Bodens bei zunehmender Nachfrage nach Biomasse erhöht sich dessen Wert überproportional (vgl. Abbildung 1-2).

Die beiden weiteren Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital können bei entsprechender Zahlungsbereitschaft für die Landnutzung aktiviert werden. Als Bezugsregion wird der Freistaat Bayern gewählt. Vor allem die hohe Auflösung und Verfügbarkeit von statistischen Daten über längere Zeiträume hinweg, ist eine gute Grundlage für die Modellvalidierung.

Im Einzelnen ist zunächst die derzeitige Ausprägung der Landnutzung zu modellieren. Die relevanten Produktionsalternativen sollen repräsentative Produktionsverfahren der derzeitigen klassischen Landwirtschaft sein. Hinzu kommen die sich entwickelnden, neuen Produktionsverfahren, mittels derer viele Landwirte nun von sich als Energiewirt sprechen. Und schließlich, wie in Grenzregionen z. T. zu beobachten, kann die Nichtnutzung von Flächen, also die Brache bzw. Stilllegung nach den Cross Compliance Vorgaben, unter der Prämisse der Gewinnmaximierung die günstigste Option darstellen.

Auch den entsprechenden Strukturen der Nahrungsmittel- und Energiewirtschaft wird hinreichend Rechnung getragen.

Abbildung 1-2: Bodenwert in Abhängigkeit der Nachfrage nach Biomasse



Quelle: eigene Darstellung nach BANSE und SORDA 2009, S. 10 ff.

Neben dieser Vielzahl von Möglichkeiten der Landnutzung existiert eine große Zahl an Restriktionen, welche die Ausdehnung der einzelnen Produktionsverfahren einschränken. Zum einen ist die Fläche begrenzt, zum anderen unterliegen landwirtschaftliche Kulturen aufgrund mangelnder Selbstverträglichkeit und gegebener Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen gewissen Fruchtfolgebegrenzungen, die eingehalten werden müssen. Ebenso eignet sich nicht jeder Standort für jede Kultur. Auch die Umweltverträglichkeit der Landnutzungssysteme muss gewährleistet sein. Die in Bayern vorhandene Wirtschaftsstruktur, sei es im Bereich der Nahrungsmittel- oder Energieerzeugung, gilt es entsprechend zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk gilt den Kapazitäten der Land- und Forstwirtschaft nachgelagerten Industrie. Sowohl Wirtschaftsbetriebe der Nahrungsmittelindustrie (z. B. Schlachthöfe, Molkereien, Mühlen, Mälzereien) als auch der Energieerzeugung (z. B. Ethanolwerk, Biodieselanlage) müssen ausreichend mit Biomasserohstoffen versorgt werden, um deren Existenz nicht zu gefährden. All diese Aspekte und Einschränkungen gilt es mit entsprechender Auflösung in das Modell zu implementieren.

2

2 Landnutzungsmodellierung

In der heutigen Zeit werden Landnutzungsmodelle von Wissenschaftlern genutzt, um Aussagen über die Landnutzungsänderung und deren Gründe treffen zu können. Diese Aussagen bilden dann oftmals die Basis für Ratschläge an politische Entscheidungsträger (LAMBIN et al. 2000, S. 1). Im Folgenden soll die Herkunft des Modellbegriffs erörtert und allgemein gültige Eigenschaften von Modellen festgelegt werden. Weiterhin werden mögliche Einordnungskriterien für Modelle erfasst und anhand von ausgesuchten Modellen angewandt.

2.1 Allgemeine Modelltheorie

Das Wort „Modell“ leitet sich aus dem französischen Substantiv „modèle“ bzw. dem italienischen „modello“ ab. Beide sind wiederum aus dem lateinischen „modulus“ (Maß, Maßstab) hervorgegangen. Das deutsche Wort „Modell“ hatte ursprünglich die gleiche Bedeutung wie seine Übersetzungsäquivalente. Sowohl im physikalisch-technischen wie im künstlerischen Bereich steht es für ein Abbild, Vorbild oder auch Repräsentation eines bestimmten Originals (STACHOWIAK 1973, S. 128 f.). Zusätzlich kann es für eine Person stehen, die einem Künstler als Vorlage für ein Portrait dient.

In breiten Kreisen der Wissenschaft wird der Modellbegriff heute fachübergreifend verwendet. Er orientiert sich an der von STACHOWIAK (1973) entwickelten allgemeinen Modelltheorie. Demnach ist ein Modell durch drei Hauptmerkmale festgelegt. Als Erstes ist hierbei das Abbildungsmerkmal aufgeführt, wonach ein Modell immer ein Abbild eines natürlichen oder künstlichen Originals ist, wobei dieses Original selbst ein

Modell sein darf. Im Verkürzungsmerkmal werden die vereinfachenden Eigenschaften eines Modells festgehalten. Modelle umfassen meistens nicht alle Parameter des Originals, sondern nur diejenigen, die dem Modellentwickler und/oder Modellbenutzer relevant erscheinen. Als Letztes besagt das Pragmatische Merkmal, dass Modelle ihren Originalen nicht von selbst zugeordnet werden. Vielmehr sind Modelle davon abhängig, für wen, wann und wozu ein Modell entwickelt wurde. Hieraus ergibt sich, dass Modellergebnisse nur im Gesamtkontext verständlich und interpretierbar sind (STACHOWIAK 1973, S. 131 ff.). Zusammenfassend zeichnet sich ein Modell also durch Abstraktion aus, einer bewussten Vernachlässigung bestimmter Merkmale, um die für den Modellierer oder den Modellierungszweck wesentlichen Modelleigenschaften hervorzuheben.

2.2 Anforderungen an Landnutzungsmodellen

Landnutzungsmodelle oder Agrarsektormodelle stellen seit langem ein geeignetes Instrumentarium zur Analyse und Evaluierung von agrarpolitischen Maßnahmen dar (ODENING und BALMANN 1997, S. 371). Nachdem in den 70er Jahren zunächst Globalmodelle (u. a. MEADOWS et al. 1972) mit dem Ziel einer Abbildung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte im Vordergrund standen, wurde ab Mitte der 80er Jahre ein verstärktes Augenmerk auf die Modellierung in kleinerem Maßstab gelegt (DABBERT et al. 1999b, S. 7). Das größte Problem interdisziplinärer Landnutzungsmodelle, d. h. Landnutzungsmodellen mit Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer oder sozialer Komponenten, ist die konkrete räumliche Zuordnung. Während ökologische Daten oft punktgenau in einem Raster zugeordnet werden können, liegen ökonomische bzw. soziale Datenstrukturen oftmals nur für größere Regionen (z. B. Gemeinden, Landkreise, etc.) vor. Um den kompletten Datensatz miteinander zu vereinbaren, ist es somit unumgänglich, einen geeigneten Skalierungsmaßstab zu finden. Dabei ergeben sich besonders bei der Modellierung der Agrarstruktur in den gewählten Regionen Probleme. Eine Zusammenfassung mehrerer Einzelbetriebe zu einem so genannten Regionshof beinhaltet automatisch Vorentscheidungen, die zu Fehlern bei den Ergebnissen führen können (WEINSCHENCK und HENRICHSMEYER 1966, S. 234 ff.). Die Auswirkungen dieses Aggregationsfehlers dürfen keinesfalls vernachlässigt werden, was durch eine Untersuchung von HAMILTON et al. (1985, S. 410 ff.) belegt wird. Darin zeigt sich, dass Modelle mit unterschiedlichen Ansätzen zu komplett anderen Ergebnissen führen, die nicht nur in der Größenordnung, sondern sogar in den Aussagen bezüglich der Wirkungsrichtung von Politikmaßnahmen differieren.

Nicht nur aufgrund dieser Problematik, sondern auch um generell verlässliche Ergebnisse zu erhalten, die u. U. tatsächlich Einfluss auf politische Entscheidungsträger haben können, ist es sinnvoll einige Grundanforderungen an ein Landnutzungsmodell zu erfüllen (DABBERT et al. 1999a, S. 176 f):

- inhaltliche Beschränkung auf wesentliche Problembereiche,
- räumlich konkrete Modellierung mit feiner Auflösung,
- gemeinsamer Raum- und Zeitbezug,
- direkte Integration disziplinärer und interdisziplinärer Module unter einer gemeinsamen Oberfläche und
- Verwendung von vorhandenen Daten, wo immer möglich und Beschränkung eigener Datenerhebung auf das absolut notwendige Minimum.

Inwieweit ein Modellansatz dann wirklich qualitativ hochwertige Ergebnisse hervorgebracht hat, sollte in einer Test- und Validierungsprozedur geprüft werden (ODENING und BALMANN 1997, S. 378 ff.). Als Erstes sollte das Modell auf innere Konsistenz geprüft werden. Die Zusammenhänge der einzelnen Gleichgewichte innerhalb des Modells müssen auf jeden Fall plausibel sein. Eine zweite Möglichkeit der Validierung ist der Vergleich der Modellergebnisse mit realen Ergebnissen der Empirie. Dabei ist es das Ziel, die Daten der Realität in einem Referenzjahr zu reproduzieren (vgl. MCCARL und APLAND 1986, S. 156 ff.). In einem Machbarkeitstest (Feasibility Experiment) wird z. B. das Modell mit Restriktionen erweitert, so dass ein bestimmtes Ergebnis resultieren müsste. Ist dies nicht der Fall, muss das Modell dahingehend abgeändert werden. Eine derartige Umformung des Modells ist nach Ansicht von HAZELL und NORTON (1986, S. 271) bei einer Abweichung von mehr als 15 Prozent vom Zielwert nötig. Weniger gebräuchlich ist dagegen eine Validierung durch Modell-Modell-Vergleich, bei der ein komplexeres Modell als Referenzsystem dient (ODENING und BALMANN 1997, S. 379).

2.3 Einordnung von Landnutzungsmodellen

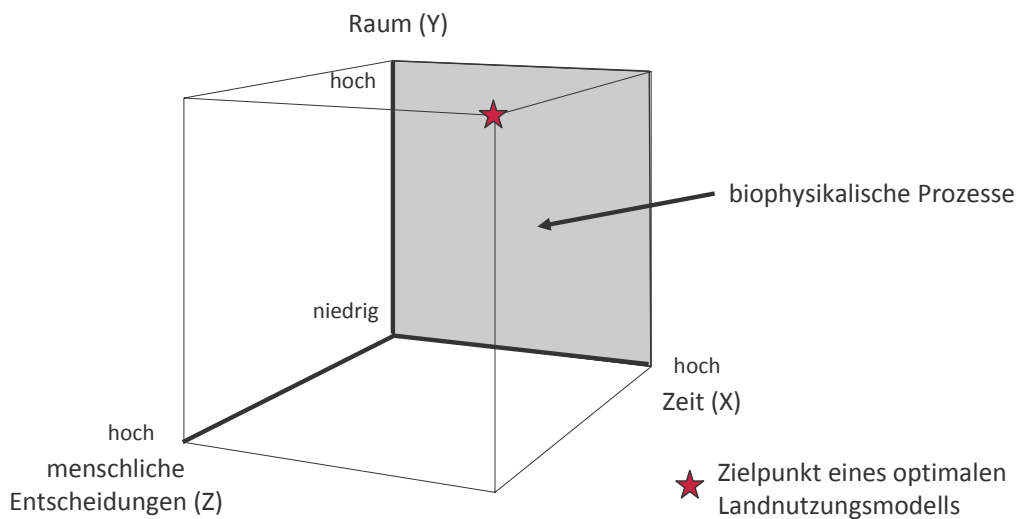
Zu Beginn der Entwicklung von Modellen wurden mit dem dynamischen, dem kybernetischen und dem Simulationsmodell drei verschiedene Modellarten unterschieden (STACHOWIAK 1973, S. 339 ff.). Heute existiert jedoch allein im Bereich der landwirtschaftlichen Landnutzungsmodelle eine weitaus größere Anzahl an Modellansätzen. Um einen Überblick zu ermöglichen, müssen Klassifizierungskriterien definiert werden, anhand derer verschiedenste Modelle eingeordnet werden können. Im Folgenden sollen die Kriterien, wie sie AGARWAL et al. (2002) bzw. LAMBIN et al. (2000) ausgewählt haben, vorgestellt werden.

2.3.1 Einordnung hinsichtlich der Komplexität der Modelle

Hinsichtlich der Differenzierung verschiedener Landnutzungsmodelle bewegen sich AGARWAL et al. (2002) in einem ähnlichen Rahmen wie VELDKAMP und FRESCO (1996, S. 254), die Landnutzung als Ergebnis der Wechselwirkung von biophysikalischen und menschlichen Faktoren im Verlauf von Zeit und Raum ansehen. In ihrem Ansatz zur Einordnung von Landnutzungsmodellen wandeln AGARWAL et al. (2002, S. 2) diese vier

Faktoren in einen neuen dreidimensionalen Ansatz um. Die ersten beiden Dimensionen werden durch Raum und Zeit aufgespannt und liefern damit die Basis, in der sich alle biophysikalischen Prozesse abspielen (vgl. Abbildung 2-1). Werden so genannte „menschliche Entscheidungen“ mit in das Modell einbezogen wird eine dritte Dimension aufgespannt.

Abbildung 2-1: Dreidimensionaler Rahmen zur Einordnung und Beurteilung von Landnutzungsmodellen anhand ihrer Komplexität



Quelle: eigene Darstellung nach AGARWAL et al. 2002, S. 7

Auf der Basis dieser drei Dimensionen können dann zwei wichtige Eigenschaften von Landnutzungsmodellen geprüft werden: Modellmaßstab und Modellkomplexität. Der jeweilige Maßstab lässt sich für jede Dimension durch die Kriterien Auflösung und Umfang näher beschreiben (vgl. Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Auflösung und Umfang der drei Dimensionen Raum, Zeit und menschliche Entscheidungen

	Raum	Zeit	menschliche Entscheidungen
Auflösung	kleinste untersuchte räumliche Einheit	kürzeste untersuchte Zeiteinheit	Handelnder (Agent) und Zeithorizont der Entscheidungsfindung
Umfang	gesamter untersuchter Bereich	gesamte Untersuchungsdauer	gesellschaftlicher Bereich und Zeithorizont der Entscheidungsfindung

Quelle: eigene Darstellung nach AGARWAL et al. 2002, S. 6

Während diese Einteilung für die Dimensionen Raum und Zeit leicht nachvollziehbar ist, bedarf es bei der dritten Dimension zusätzliche Erläuterungen. Zur Darstellung der Auflösung menschlicher Entscheidungsprozesse wird dabei die kleinste Entscheidungen treffende Kraft (Handelnder bzw. Agent) herangezogen, die wiederum von einem einzelnen Individuum über einen Haushalt bis hin zu größeren Gemeinschaften (z. B.

Gemeinde, Nation) reichen kann. Auf der anderen Seite bezieht sich der Umfang auf die größte einbezogene gesellschaftliche Organisation (AGARWAL et al. 2002, S. 3 f.).

Die eben beschriebenen Kriterien bezüglich des Maßstabs eines Modells fließen in den zweiten Aspekt zur Einordnung eines Landnutzungsmodells mit ein (AGARWAL et al. 2002, S. 5 f.). Die jeweilige Komplexität ist erneut bezogen auf den dreidimensionalen Rahmen (s. o.). Umso mehr Zeitpunkte über einen längeren Zeitraum hinweg untersucht werden, desto höher ist die zeitliche Komplexität des Modells. Ebenso verhält es sich bei der räumlichen Komplexität, die als Indikator für die Detailgenauigkeit eines Modells dient. Unterschieden wird dabei zwischen zwei Grundtypen. Zum einen solche, die nur versuchen räumliche Gegebenheiten abzubilden und zum anderen Modelle, die auch die Wechselwirkungen benachbarter Gebiete mit einfließen lassen. Ein Modell mit geringer Tiefe zeigt nur räumliche Daten, während eine mittlere Komplexität bereits in der Lage sein muss, vielschichtige räumliche Daten wiederzugeben. Ein hohes Maß an räumlicher Komplexität wird erst durch umfassende Wechselwirkungen in einer hohen Datendichte erreicht. Der Bereich menschlicher Entscheidungsprozesse variiert mit der Komplexität ihres theoretischen Hintergrunds. Am einfachsten sind einfache Handlungsableitungen auf der Basis von sozioökonomischen oder biologischen Indikatoren. Komplizierter wird es, wenn die Entscheidung auf spieltheoretischen bzw. ökonomischen Modellen beruht. AGARWAL et al. (2002, S. 6) präsentieren hierzu in ihrer Studie ein sechsstufiges Klassifizierungssystem (vgl. Tabelle 2-1).

Tabelle 2-2: Sechs Stufen der Komplexität menschlicher Entscheidungen in Landnutzungsmodellen

Level	Beschreibung
1	menschliche Entscheidungsprozesse fließen nicht mit ein, d. h. alleinige Berücksichtigung biophysikalischer Faktoren
2	menschliche Entscheidungsprozesse in direkter Abhängigkeit zur Bevölkerungsdichte und ihrer Entwicklung
3	menschliche Entscheidungsprozesse werden über Wahrscheinlichkeitsfunktionen auf Basis sozioökonomischer, biophysikalischer und bevölkerungsabhängiger Parameter abgebildet; jedoch ohne Rückkopplung der Ergebnisse mit der Umwelt
4	wie 3, nur mit Rückkopplung
5	menschliche Entscheidungsprozesse werden von Agenten (Handelnden) getroffen, die auf Optimierungsentscheidungen der Agenten beruhen; alle Agenten haben das gleiche Optimierungsziel
6	wie 5 nur mit unterschiedlichen Zielen und Optimierungsmodellen der einzelnen Agenten

Quelle: eigene Darstellung nach AGARWAL et al. 2002, S. 7

Anhand der drei Dimensionen und ihrer Komplexität lassen sich nun Landnutzungsmodellen in einem Koordinatensystem klassifizieren und beurteilen (vgl. Abbildung 2-1). Je höher die Komplexität der einzelnen Dimensionen, desto näher liegt das untersuch-

te Landnutzungsmodell am optimalen Landnutzungsmodell, bei dem alle drei Dimensionen in voller Ausprägung implementiert sind.

Ältere Modelle, die auf Zeitreihen beruhen oder nur räumliche Daten abbilden (z. B. reine GIS-Modelle), bewegen sich oft nur im zweidimensionalen Bereich, während neuere Modelle immer häufiger versuchen, menschliche Entscheidungsprozesse in ihre Kalkulationen mit aufzunehmen (AGARWAL et al. 2002, S. 7).

2.3.2 Einordnung hinsichtlich der angewandten Methodik

Einen anderen Weg bei der Einordnung verschiedener Landnutzungsmodelle gehen LAMBIN et al. (2000). In ihrer Studie werden Modellansätze einer von vier Hauptkategorien zugeordnet (vgl. Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Modellkategorien für Landnutzungsmodelle nach LAMBIN et al. (2000, S. 324)

Fragestellung zur Landnutzungsänderung	Modell-kategorie	Modell-ansatz
wann in der Zukunft (kurzfristig)	stochastisch	Modelle mit Übergangswahrscheinlichkeiten
warum in der Vergangenheit	empirisch, statistisch	multivariate, statistische Modelle (z. B. Regressionsanalysen)
wo in der Zukunft (kurzfristig)		GIS-basierte geostatistische Modelle
wann in der Zukunft (langfristig)	prozessbasiert, mechanistisch	verhaltensbasierte und dynamische Simulationsmodelle
wann und wo in der Zukunft (langfristig)		dynamische räumliche Simulationsmodelle
warum in der Zukunft	analytisch, agentenbasiert, ökonomisch	verallgemeinerte von Thünen-Modelle deterministische und stochastische Optimierungsmodelle

Quelle: LAMBIN et al. 2000, S. 324

Stochastische Modelle bestehen meistens aus Modellen, die Übergangswahrscheinlichkeiten einsetzen, d. h. es werden Wahrscheinlichkeiten für eine Landnutzungsänderung anhand einer Auswertung der vergangenen Landnutzungsänderungen abgeleitet (LAMBIN et al. 2000, S. 324). HÄGERSTRAND (1968) verwendet hierzu beispielsweise eine Monte-Carlo-Simulation als Hilfsmittel, während sich THORNTON und JONES (1998) Markov-Ketten bedienen. Im Gegensatz zu stochastischen Modellen, die den Zeitpunkt einer Landnutzungsänderung vorhersagen wollen, versuchen empirisch, statistische Modelle die Gründe dieser Änderung auszumachen, um anschließend Aussagen für die Zukunft ableiten zu können. Solche Modelle sind allerdings durch den Eingangsdatensatz stark reglementiert. Eine realistischere Abbildung von Entwicklungen in der Landnutzung lassen dynamische Simulationsmodelle zu. Solche Modelle legen besonderen

Wert auf die Wechselwirkungen aller Beteiligten, die ein zusammengehöriges System bilden (LAMBIN et al. 2000, S. 325 f.). Aus diesem Grund ist der Aufbau meist weit komplizierter als bei den beiden zuvor beschriebenen Modellvarianten. Als vierte Modellkategorie definieren LAMBIN et al. (2000, S. 324 f.) die optimierenden Modelle, die häufig auf ökonomischen Kriterien beruhen. Verwendete Lösungstechniken sind hierbei Analysen auf Basis linearer Optimierung (z B. Modell *RegEnOpt*; BERENZ 2009) oder allgemeine Gleichgewichtsmodelle. Viele dieser Ansätze gründen sich auf die Theorie der Landrente bzw. Bodenrente (VON THÜNEN 1842, S. 13 ff.). Neuere Ansätze zur Modellierung der Landnutzung weichen immer häufiger von dieser expliziten Einteilung in eine dieser vier Klassen ab. Oftmals werden verschiedene Modellarten zu einem Gesamtmodell kombiniert, je nachdem welche zur Beantwortung einer gegebenen Fragestellung am besten geeignet scheinen. In diesem Fall werden häufig die Begriffe integriertes Modell (LAMBIN et al. 2000, S. 326) oder Hybridmodell (BALMANN et al. 1998ab, S. 222 ff.) verwendet. Eines der bekanntesten integrierten Modelle ist wahrscheinlich *IMAGE*, welches im Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005) Anwendung fand.

Eine ähnliche Einordnungssystematik für Landnutzungsmodelle wählen auch KOOMEN und STILLWELL (2007, S. 4 ff.). Sie unterscheiden dabei, je nach theoretischem Hintergrund, acht verschiedene Modellgruppen, anhand derer existierende Landnutzungsmodelle eingeordnet werden können (vgl. Tabelle 2-4)

Tabelle 2-4: Modellkategorien für Landnutzungsmodelle nach KOOMEN und STILLWELL (2007, S. 14)

Modell basiert auf...	
1	ökonomischen Entscheidungskriterien
2	räumlichen Zusammenhängen
3	vernetzten Entscheidungsautomatismen
4	statistischen Analysen
5	optimierenden Konstrukten
6	regelbasierenden Simulationen
7	mehreren Agenten und deren Entscheidungen
8	Mikrosimulationen (Simulation auf Ebene des Einzelnen)

Quelle: KOOMEN und STILLWELL 2007, S. 14

Wie oben beschrieben, werden oftmals mehrere dieser Ansätze in ein Modell integriert. Das im folgenden Kapitel 2.4 näher beschriebene Modell *PROLAND* wird demnach den Gruppen eins und sechs aus Tabelle 2-1 zugeordnet (KOOMEN und STILLWELL 2007, S. 14).

2.4 Vergleich ausgewählter Landnutzungsmodelle

Nachdem im Kapitel 2.3 ausführlich die große Bandbreite verschiedener Modellierungsansätze aufbereitet wurde, sollen im Folgenden ausgewählte Landnutzungsmodelle, größtenteils aus dem deutschsprachigen Raum, vorgestellt werden. Ziel ist es dabei weniger, die Funktionsweise der einzelnen Modelle bis ins Detail zu ergründen, sondern vielmehr soll ein erster konkreter Einblick in das Gebiet der Landnutzungs- bzw. Agrarsektormodellierung gegeben werden.

2.4.1 Ausgewählte Modelle

Das Modell *MODAM* (multi Objective Decision Support Tool for Agroecosystem Management) basiert auf einem System aus einem Datenbankverbund, einem Geographischen Informationssystem (GIS) und einem LP-Optimierungstool. Das LP-Modul maximiert dabei den Gesamtdeckungsbeitrag als Zielfunktion mit ergänzenden, u. a. ökologischen, Zielen, die als Nebenbedingungen formuliert werden (KÄCHELE und ZANDER 1999, S. 193 ff.). Das Ergebnis in den Regionen wird anschließend auf Schlagebene dargestellt und wurde in der Region „Unteres Odertal“ umgesetzt.

Das *ASNL* (Agrarsektormodell Neue Länder) versteht sich als Hybridmodell (BALMANN et al. 1998ab, S. 222 ff.), bei dem zwei Ebenen miteinander kombiniert werden. Dabei wird die einzelbetriebliche Ebene mit Hilfe linearer Programmierung (LP) abgebildet, während auf sektoraler Ebene ein Marktgleichgewichtsmodell Anwendung findet (ODENING und BALMANN 1997, S. 373 ff.). Verknüpft werden diese beiden Ebenen über ein Hochrechnungsmodul. Die Betriebsebene wird durch 21 „typische“ Modellbetriebe definiert, die sich durch ihre Möglichkeit zur Investition auszeichnen. Gleichzeitig erfolgen Restriktionen, so dass nicht allen Betriebstypen sämtliche Investitionsalternativen erlaubt werden. Somit resultiert eine Optimierungsfunktion, die nicht allein auf den Deckungsbeitrag ausgerichtet ist, sondern auch Erweiterungsinvestitionen mit berücksichtigt (BALMANN et al. 1998ab, S. 224 ff.).

Im Gegensatz zu den beiden bisher angesprochenen Modellen *MODAM* und *ASNL*, die mit ihren LP-Modulen eher in den Bereich der agentenbasierten, ökonomischen Modellansätze fallen (vgl. Tabelle 2-3), verwendet *CLUE* (Conversion of Land Use and its Effects) einen multiplen Regressionsansatz anhand statistischer Analysen. Mit Hilfe einer Vielzahl die Landnutzung beeinflussender Faktoren wird versucht, deren Wirkung abzuschätzen (VELDKAMP und FRESCO 1996, S. 255 ff.; VERBURG und OVERMARS 2007, S. 323 ff.).

Das regional differenzierte Agrarsektormodell *RAUMIS* (Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland) wurde zur Untersuchung von Agrar- bzw. Umweltpolitiken entwickelt. Es ist ein mathematisches Modell mit dem Ziel der Maximierung des Agrareinkommens (CYPRIIS 2000, S. 5). Die optimalen Produktionsstrukturen werden dabei im Rahmen einer Positiven Mathematischen Programmierung (PMP)

ermittelt, die es erlaubt, Anpassungsreaktionen realistischer darzustellen, indem sie nicht-lineare Effekte besser implementiert (GÖMANN et al. 2007, S. 265). Die kleinste Entscheidungseinheit ist hierbei der so genannte „Regionshof“, der einem Landkreis entspricht. Dessen Produktionskapazitäten und Faktorausstattung gehen in das Modell mit ein. Eine Berechnung der Einkommensgrößen nach Vorgaben der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung (vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION 2000, S. 78) ermöglicht schließlich eine Bewertung unterschiedlicher Politikszenerien (CYPRIIS 2000, S. 11 ff.).

Das agentenbasierte Landnutzungsmodell *AGRIPOLIS* (Agricultural Policy Simulator) ist ein räumlich-dynamisches Modell, das zuerst in einer fiktiven Agrarstruktur entwickelt wurde und erst später auf konkrete Regionen übertragen wurde (HAPPE und BALMANN 2002, S. 80). *AGRIPOLIS* setzt sich aus räumlichen Abbildungen, Betriebsagenten und Faktor- sowie Produktmärkten zusammen (HAPPE und SAHRBACHER 2005, S. 168). Entscheidungen bezüglich der Produktionsstruktur werden auf der Basis des Deckungsbeitrages mit Hilfe einer Gemischt Ganzzahligen einperiodischen Programmierung (MIP) getroffen (HAPPE und SAHRBACHER 2005, S. 170 ff.).

Am Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre der Universität Hohenheim wurde im Rahmen einer Dissertation das prozessanalytische ökonomische Regionalmodell *ACRE* (Agro-Economic Production Model on Regional Level) entwickelt. Die methodische Basis bildet eine nichtlineare Positive Quadratische Programmierung (PQP) (WINTER 2005, S. 79 ff.). Das Untersuchungsgebiet wurde, ähnlich wie im Modell *RAUMIS*, in Regionshöfe auf Landkreisebene unterteilt. Die ökonomischen Ergebnisse werden anschließend allerdings über ein Disaggregationstool in Proxel (1 km²) aufgelöst (WINTER 2005, S. 54 f.) Das Ziel der einzelnen Regionshöfe ist die Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrages (WINTER 2005, S. 61 f.).

In dem von ANGENENDT (2003) weiterentwickelten ökonomisch-ökologischen Regionalmodell *EFEM* (Economic Farm Emission Model) stehen besonders ökologische Fragestellungen im Vordergrund (ANGENENDT et al. 2008, S. 464). Das Modell basiert auf statisch linearer Programmierung, wobei regionaltypische Betriebe modelliert werden, die anschließend mit einem Hochrechnungsmodul auf die Region verteilt werden (ANGENENDT et al. 2008, S. 466). Somit können landwirtschaftlich bedingte Emissionen unter gegebenen politischen Rahmenbedingungen ermittelt werden (ANGENENDT 2003, S. 74).

Als Letztes soll das Modell *PROLAND* (Prognosis of Landuse) kurz vorgestellt werden. *PROLAND* ist ein GIS-basiertes, räumlich differenziertes Optimierungsmodell, welches sowohl natürliche und wirtschaftliche Standortfaktoren als auch politische Rahmenbedingungen berücksichtigt (MÖLLER et al. 1999, S. 189). Somit können die Auswirkungen agrarpolitischer Maßnahmen simuliert und bewertet werden. SHERIDAN et al. (2007, S. 375 ff.) verwendeten das Tool beispielsweise zur Abbildung der Veränderung der Landnutzung durch die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik innerhalb der EU. Dabei

wurden die gekoppelten Transferzahlungen durch Entkoppelte ersetzt. Im Gegensatz zum Modell *RAUMIS* erfolgt die Raumbetrachtung nicht mit Hilfe von „Regionshöfen“, sondern mit regionalen Einheiten mit bis zu mehreren tausend Quadratkilometern Ausmaß. In den definierten regionalen Einheiten erfolgt die Wahl der Landnutzung auf der Basis einer Optimierung der Grundrente (vgl. Kapitel 3.3) des jeweiligen Gebietes (MÖLLER et al. 1999, S. 184 f.).

2.4.2 Einordnung der untersuchten Modelle

Die beschriebenen Landnutzungsmodelle wurden aufgrund der unterschiedlichen Fragestellungen und Projekte in sehr verschiedenen räumlichen Gegebenheiten konzipiert. Hinsichtlich des räumlichen Maßstabs (vgl. Tabelle 2-1) zeigen sich die untersuchten Modelle uneinheitlich. Während einige Modelle Untersuchungsgebiete mit mehreren Tausend Quadratkilometern umfassen (vgl. Tabelle 2-5), beschränken sich *MODAM* und *PROLAND* auf Regionen mit geringer Fläche.

Tabelle 2-5: Umfang und räumlicher Bezug der untersuchten Modelle

Modell	Untersuchungsgebiet	Umfang	Auflösung
MODAM	Schorfheide-Chorin	50 km ²	Schlag
ASNL	Ostdeutschland	55.600 km ²	homogene Region
CLUE	fiktive Agrarstruktur	529 Rasterpunkte	Rasterpunkt
RAUMIS	Deutschland	357.104 km ²	Landkreis
AGRIPOLIS	fiktive Agrarstruktur	750 km ²	Rasterpunkt
ACRE	Einzugsgebiet "Obere Donau"	77.000 km ²	Landkreis
EFEM	Baden-Württemberg	35.751 km ²	homogene Region
PROLAND	Lahn-Dill-Bergland	11 km ²	Rasterpunkt

Quelle: eigene Darstellung nach HOFER 2008, S. 44 ff.

Neben dem Umfang ist besonders die räumliche Auflösung ein Unterscheidungsmerkmal einzelner Modelle, wobei diese meist von der Größe des Untersuchungsgebietes abhängig ist. In kleinräumigen Gebieten ist es überwiegend einfacher, die benötigten Daten zu generieren, so dass als kleinste Einheit Rasterpunkte mit wenigen Quadratmetern Fläche bzw. Schläge zum Einsatz kommen. Eine sehr oft verwendete Form der räumlichen Untergliederung, insbesondere bei einer großflächigen Untersuchung, stellt die homogene Region dar. Dazu wird auch häufig die Ebene von Verwaltungseinheiten (z. B. Landkreise, Gemeinden) herangezogen.

Die zweite Dimension zur Beurteilung der Komplexität eines Modells ist die Zeit (vgl. Abbildung 2-1). Dabei unterscheiden sich die einzelnen Modelle hinsichtlich des Jahres ihrer Entwicklung und dem Prognosezeitraum. Wichtig ist zudem noch, ob eine Datenangleichung mit neu erhobenen Datensätzen möglich ist. Tabelle 2-6 zeigt, dass nahezu alle betrachteten Landnutzungsmodelle in den letzten 15 Jahren entwickelt wurden. Die Modellierung erfolgt zeitlich gesehen in Gegenwart und Zukunft. Ex-Post-Analysen werden zur Überprüfung der Modellgüte verwendet. Bis auf *CLUE* und *AGRIPOLIS* sind

alle Modelle für die Berechnung von Szenarien bezüglich eines kurz- bis mittelfristigen Zeitraums von fünf bis 15 Jahren konzipiert. Dies entspricht auch in etwa der Zeit für die Einführung und Umsetzung von potenziellen oder geplanten agrar- und umweltpolitischen Veränderungen. Eine Sonderstellung nehmen die beiden Landnutzungsmodelle ein, die in einer fiktiven Agrarstruktur konstruiert wurden. Durch diese Abstraktion sowie die Möglichkeit zur Hofübergabe ist eine nahezu unbegrenzte Laufzeit möglich.

Tabelle 2-6: Charakteristika der untersuchten Modelle bezüglich der zeitlichen Ausgestaltung

Modell	Jahr der Entwicklung	Prognosezeitraum [Jahre]	Datenangleichung
MODAM	1994	10	teilweise möglich
ASNL	1998	5	teilweise möglich
CLUE	1976	unbegrenzt	möglich
RAUMIS	1995	7-10	teilweise möglich
AGRIPOLIS	1995	unbegrenzt	möglich
ACRE	1999	10-13	teilweise möglich
EFEM	2003	10	möglich
PROLAND	1997	10-15	möglich

Quelle: eigene Darstellung nach HOFER 2008, S. 44 ff.

In wieweit ein Modell in der Zukunft weiterverwendet werden kann, hängt von der Möglichkeit einer Implementierung neuer Datensätze ab. Sind einmalig erhobene empirische Daten integriert, müssten diese für eine zukünftige Anwendung neu erhoben werden. Auf der anderen Seite können von Behörden regelmäßig eruierte Daten problemlos eingefügt werden, was z. T. sogar automatisch geschieht (HOFER 2008, S. 48 ff.). Allerdings gilt es nicht nur die Daten auf dem neuesten Stand zu halten, sondern unter Umständen müssen neue Produktionsverfahren hinzumodelliert werden. Als Beispiel hierfür sind die Verfahren der Bioenergieerzeugung zu nennen, die zum Zeitpunkt der Modellentwicklung noch nicht im Blickpunkt des Interesses standen.

Die dritte und am schwierigsten zu modellierende Dimension neben Raum und Zeit ist die Entscheidungsfindung durch den Menschen. Wie diese gestaltet wird, hängt stark von der jeweiligen Modellkategorie ab (vgl. Tabelle 2-4). Bei den untersuchten Landnutzungsmodellen lassen sich drei Kategorien ausmachen (vgl. Tabelle 2-7). Während beim fast ausschließlich statistischen Modell *EFEM* das Hauptaugenmerk auf die Abbildung der aktuellen Landnutzung liegt und für das Zieljahr beispielsweise keine Preisänderungen modelliert werden, liegt der Schwerpunkt der restlichen Modelle in der zukünftigen Darstellung der Landnutzung. Bei komparativ-statischen Modellen wird dabei der Zeitfaktor vernachlässigt (CYPRIS 2000) und Modellierungen der Parameter erfolgen lediglich hinsichtlich eines oder auch mehrerer Zieljahre (ROEDER 2007, S. 53 f.). Dynamische Modelle wie *AGRIPOLIS* hingegen bilden Veränderungen periodisch, das heißt pro Jahr bzw. pro Vegetationsperiode, ab. Aus diesem Grund werden kompara-

tiv-statische Modelle besonders für die Politikberatung, bezüglich absoluter Auswirkungen, eingesetzt. Dynamische Modelle haben ihre Stärke in der Abbildung jährlicher Veränderungen (HOFER 2008, S. 50 ff.)

Tabelle 2-7: Modellkategorie, Optimierungsansatz und Zielgröße der untersuchten Modelle

Modell	Modellkategorie	Optimierungsansatz	Zielgröße
MODAM	komparativ-statisch	LP	Deckungsbeitrag
ASNL	komparativ-statisch	MIP	Deckungsbeitrag
CLUE	dynamisch	multiple Regression	--
RAUMIS	komparativ-statisch	PMP	Einkommen
AGRIPOLIS	dynamisch	MIP	Deckungsbeitrag
ACRE	komparativ-statisch	PQP	Deckungsbeitrag
EFEM	statisch	LP	Deckungsbeitrag
PROLAND	komparativ-statisch	LP	Bodenrente

Anmerkungen:

LP Lineare Programmierung

MIP Gemischt Ganzzahlige Programmierung

PMP Positiv Mathematische Programmierung

PQP Positiv Quadratische Programmierung

Quelle: eigene Darstellung nach HOFER 2008, S. 50 ff.

Mit Ausnahme von *CLUE*, bei dem die Landnutzungsänderung über multiple Regression berechnet wird, setzen alle untersuchten Modelle auf einen ökonomischen Optimierungsansatz. Zum Einsatz kommen sowohl lineare als auch nicht-lineare Methoden. Mit Hilfe der Positiv Mathematischen Programmierung (PMP), der Gemischt Ganzzahligen Programmierung (MIP) und der Positiv Quadratischen Programmierung (PQP) wird dabei versucht, die Schwachstellen der Linearen Programmierung (LP), wie z. B. Überspezialisierung oder Aggregationsfehler, zu minimieren (BALMANN 1998ab; S. 224 ff.). BRANDES (1985, S. 81 ff.) ist sogar der Meinung, dass sowohl ökonometrische als auch optimierende Modelle das Entscheidungsverhalten von Landwirten nur fehlerhaft abbilden können. Den Aggregationsfehler arbeitet er dabei nur als eine von mehreren Fehlerquellen heraus. Ist sich der Modellbauer dieser Problematik bewusst, kann er sein Modell über Tests validieren, zumal BRANDES (1985, S. 56 ff.) maximierendes Verhalten z. T. abspricht. Demnach muss auch irrationales oder satifizierendes Verhalten seitens des Landwirts in Kauf genommen werden. In den untersuchten Landnutzungsmodellen wird dennoch maximierendes Verhalten unterstellt. Der Deckungsbeitrag wurde dabei am häufigsten als Zielgröße ausgewählt, da er mit einem geringeren Aufwand als die Vollkostenrechnungen in den Modellen *RAUMIS* und *PROLAND* verbunden ist.

Einen Hinweis, wie hoch die inhaltliche Komplexität der einzelnen Modelle ist, gibt die Anzahl der modellierten pflanzlichen und tierischen Produktionsverfahren (siehe Tabelle 2-8). In allen beschriebenen Modellen werden mehr pflanzliche als tierische

Produktionsverfahren unterschieden. Ein Modell (*CLUE*) klammert die tierische Produktion komplett aus und konzentriert sich rein auf die direkte Landnutzung. Besonders *RAUMIS* weist eine hohe Zahl an pflanzlichen Verfahren auf. Allerdings resultiert dies aus einer Differenzierung der Produktionsverfahren in unterschiedliche Intensitätsstufen, wie es auch bei *MODAM* der Fall ist (HOFER 2008, S. 50 f.)

Tabelle 2-8: Anzahl pflanzlicher bzw. tierischer Produktionsverfahren der untersuchten Modelle

Modell	pflanzliche Produktionsverfahren	tierische Produktionsverfahren
MODAM	32	3
ASNL	9	5
CLUE	10	0
RAUMIS	77	16
AGRIPOLIS	7	6
ACRE	17	12
EFEM	27	11
PROLAND	16	3

Quelle: eigene Darstellung nach HOFER 2008, S. 50 ff.

Weiterhin wird, besonders bei ökologischen Modellen, zwischen ökologischer und konventioneller sowie wendender und pflugloser Bewirtschaftung unterschieden.

2.5 Zusammenfassende Erkenntnisse

Die derzeit verwendeten Landnutzungsmodelle im deutschsprachigen Raum kommen auf sehr verschiedenen räumlichen Ebenen und in unterschiedlichen Regionen zum Einsatz. So sind verschiedene Abstufungen bezüglich der Größe der Untersuchungsregion, die zwischen der eines einzelnen Betriebes und der des gesamten deutschen Agrarsektors liegen, zu beobachten. Die kleinste betrachtete Einheit kann von kleinräumigen Rasterflächen über Schläge bis hin zu großräumigen Gebieten in Form von zusammengefassten Regionshöfen reichen. Dementsprechend unterschiedlich sind auch die Anforderungen, die an das jeweilige Landnutzungsmodell gestellt werden und mit denen dieses umgehen muss. Je nach Problemstellung werden unterschiedliche Modellansätze verwendet. Dabei ist zu beachten, dass entsprechend der Ausgangslage und der Fragestellungen jeweils sinnvolle Ansätze gewählt werden. Grundlegende Merkmale bei Modellansätzen sind in Hinblick auf den verwendeten Optimierungsansatz, der Tiefe der Durchdringung der ablaufenden Prozesse in der Landwirtschaft, der Prognosefähigkeit des Modells, der Modelldynamik, des Zeitraums der möglichen Modellierung und der berechneten Zielgrößen zu unterscheiden.

Die in dieser Arbeit betrachteten Landnutzungsmodelle unterscheiden sich teilweise entscheidend in ihren Ansätzen. Das kann neben den abwechselnden Anforderungen von Fragestellung oder Untersuchungsregion, auch von den verfügbaren Daten und

vom betriebenen Aufwand abhängen. Der Schwerpunkt bei der Modellierung von landwirtschaftlichen Verfahren liegt bei den behandelten Landnutzungsmodellen eindeutig im Bereich des Pflanzenbaus, wobei Ertragsniveau, Anbauformen und Arbeitsgänge teilweise sehr differenziert betrachtet werden. Tierproduktionssysteme hingegen werden aufgrund der geringeren Vielseitigkeit und durch ihr geringeres Veränderungspotenzial in Hinblick auf Landnutzungsänderungen meist weniger detailliert betrachtet. Die Möglichkeit von Umgestaltungen in Hinblick auf Zu- und Verpachtung wird nur in wenigen Modellen abgebildet, die anderen begnügen sich mit der Implementierung der Entwicklung der Pachtpreise.

Die Zielgröße stellt bei allen Modellen die Maximierung des wirtschaftlichen Erfolgs dar. Dabei wird zwischen der Optimierung bezüglich des Einkommens (Bodenrente) und des Deckungsbeitrags unterschieden. Die dabei nötigen Berechnungen erfolgen anhand verschiedener Formen von linearer und nicht-linearer Programmierung. Dabei können vielfältige in Realität auftretende Nebenbedingungen und Restriktionen beachtet werden. Durch die dabei notwendigen sehr komplexen Berechnungen, lassen sich Landnutzungsmodelle in der heutigen Zeit ausschließlich computergestützt umsetzen.

Die entscheidenden Aspekte für den Erfolg eines Modells stellen eine realitätsnahe Abbildung der Ist-Situation und eine entsprechende Prognosefähigkeit zur Berechnung von durch veränderte Rahmenbedingungen verursachten Entwicklungen dar. Zudem spielt eine möglichst vielseitige Einsetzbarkeit eines Modells eine ausschlaggebende Rolle für dessen Gebrauch. In vielen Modellen findet derzeit eine Verknüpfung von ökonomischen mit ökologischen Fragestellungen statt. Dadurch wird dem steigenden Umweltbewusstsein der Bevölkerung Rechnung getragen. Solche ökonomisch-ökologischen Modelle gehen meist sehr genau auf innerbetriebliche Prozesse ein, um ökologische Parameter genau erfassen zu können. Gleichzeitig treten dabei jedoch Modellierungen bezüglich Ökonomie und Entwicklung der Landwirtschaft etwas in den Hintergrund.

Alle beschriebenen Modelle befinden sich in Hinblick auf eine realitätsnahe Abbildung der Landnutzung auf aktuellem Stand und werden immer wieder weiter aktualisiert, um auf veränderte Situationen, Abläufe und Produktionsverfahren in der Landnutzung eingehen zu können. Auch die behandelten Fragestellungen in den Landnutzungsmodellen beziehen sich stets auf aktuelle Probleme und somit können diese sehr gut als Instrument für Politikfolgeabschätzungen, Beratung und für allgemeine Entwicklungsprognosen der Landwirtschaft herangezogen werden.

Allerdings kann kein Modell alle Anforderungen komplett erfüllen und kann nicht alle Fehlerbereiche ausschließen. Jeder Ansatz ist für sich selbst ein Kompromiss. Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Landnutzungsmodell versucht die bestehenden Modelle zu analysieren und darauf aufbauend eine methodische Weiterentwicklung zu erreichen, um die aktuellen Fragestellungen in der Landwirtschaft zu beantworten.



3 Modellkonzeption und Modellaufbau

Im Folgenden sollen das Gesamtkonzept des Modells sowie dessen Aufbau erläutert werden. Dabei geht es weniger um die detaillierte Beschreibung der Rechengvorgänge (vgl. Kapitel 4), sondern vielmehr um eine Präsentation der grundlegenden Zusammenhänge.

3.1 Ziele des Modells

Bevor genauer auf den Aufbau und die Struktur des Modells eingegangen wird, werden die damit verfolgten Ziele kurz definiert. Wesentlichen Einfluss auf die Zielsetzung des Forschungsprojektes hat dabei der Auftraggeber. Das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (StMLF) beauftragte den Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues mit dem Forschungsprojekt „Konkurrenz um Biomasse – Ableitung der Vorzüglichkeit der Landnutzung zur Erzeugung von Nahrungsmitteln bzw. Energiebiomasse“. Vereinbart wurde dabei die Erstellung eines Landnutzungsmodells für das Bundesland Bayern mit dessen Hilfe aktuelle und politisch relevante Fragestellungen untersucht werden können. Anhand der Ergebnisse dieses Modells sollen dann Aussagen bezüglich des Verhaltens der Landwirte bei sich ändernden Rahmenbedingungen dargestellt werden können. Besonderes Augenmerk soll dabei der Konkurrenzsituation zwischen der klassischen Nahrungsmittelproduktion und der Bioenergieerzeugung gelten.

Beispielhaft sollen folgende Fragestellungen durch das Landnutzungsmodell analysiert werden:

- Welche Auswirkungen haben agrarpolitische Maßnahmen auf die Landwirtschaft?
- Wie verändert sich die Wettbewerbskraft unterschiedlicher Produktionsverfahren bei sich ändernden Marktbedingungen?
- Welcher Preis muss im nachgelagerten Bereich für ein Agrarprodukt gezahlt werden, damit die Nachfrage, beispielsweise nach Nahrungsmitteln, gedeckt werden kann?
- Welche Arbeitsplatz- oder Treibhausgas effekte ergeben sich bei den resultierenden Landnutzungssystemen?

Diese Aufzählung ist nur eine Auswahl möglicher Fragestellungen. Durch einen möglichst systematischen Aufbau soll es auf jeden Fall möglich sein, weitere Aspekte in das Modell zu implementieren. Ein besonderes Anliegen ist zudem die Berücksichtigung der bestehenden Wirtschaftsstruktur, sowohl auf landwirtschaftlicher Ebene als auch im nachgelagerten Bereich.

3.2 Modellkonzeption

Nachdem in Kapitel 2 der Stand der Wissenschaft im Bereich Landnutzungsmodellierung, auch anhand von konkreten Beispielen, diskutiert wurde, soll nun das Konzept des im Rahmen der Dissertation entwickelten Landnutzungsmodells beschrieben werden. Dabei soll auf die erörterten Merkmale, wie räumlicher und zeitlicher Bezug oder den menschlichen Entscheidungsprozess eingegangen werden. Bevor im Folgenden der Aufbau des Modells beschrieben wird, erhält es, wie alle betrachteten Modelle, einen Namen. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird das neu erstellte Landnutzungsmodell mit *LaNuOpt* bezeichnet. Dieses Akronym steht dabei für **LandNutzungsOptimierung** bzw. im englischen **Land Use Optimization** (*LanUOpt*).

3.2.1 Räumlicher Bezug

Das Modell ist für das Bundesland Bayern konzipiert, wobei auch die einzelnen Landkreise individuell untersucht werden. Vor allem die vorhandene hohe Auflösung und Verfügbarkeit von statistischen Daten über längere Zeiträume hinweg, sind eine gute Grundlage für die Modellvalidierung. Es könnten jederzeit weitere Regionen integriert werden, für die Daten dann aber noch erhoben werden müssten. Die kleinste Entscheidungseinheit ist ein Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche (LF). Im Zuge zunehmender Ressourcenverknappung ist die Bodenfläche als der knappste Produktionsfaktor anzusehen, gerade wenn es um die Transformation von Sonnenenergie in Biomasse geht (siehe auch GÖMANN et al. 2007, S. 263 ff.).

3.2.2 Zeitliche Ausgestaltung

Die Datenbasis des Modells *LaNuOpt* stammt bei Preisen und Kosten größtenteils aus den Jahren 2005 bis 2008. Als Datenquelle dienten für den landwirtschaftlichen Bereich hauptsächlich die Datensammlungen des KTBL (KTBL 2008; KTBL 2007ab; KTBL 2006ab; KTBL 2005) sowie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL 2009; LFL 2007abc; LFL 2006). Bei der Festlegung der bestehenden Agrarstruktur in Bayern wurde die letzte Agrarstrukturerhebung aus dem Jahr 2007 zu Grunde gelegt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERWALTUNG 2009). Ausgehend davon können Zielzeitpunkte zwischen 2008 und 2028 angewählt werden.

3.2.3 Abbildung der individuellen Entscheidungsfindung

Grundsätzlich lässt sich *LaNuOpt* in die Kategorie der komparativ-statischen Modelle einordnen. Allerdings wird mit Hilfe einer modifizierten Bodenrente (genauer erläutert in Kapitel 3.3) versucht, eine Dynamisierung des Modells zu erreichen. Das Modell „merkt“ sich die bereits vorhandene Wirtschaftsstruktur, so dass unrealistische Wechsel zwischen Produktionsverfahren minimiert werden können. Als Optimierungsansatz wurde die Lineare Programmierung (LP) mit einer Maximierung der Bodenrente einer Region gewählt (genauer erläutert in Kapitel 3.4).

3.3 Die Bodenrente als Optimierungskriterium im Modell *LaNuOpt*

Die landwirtschaftliche Produktion ist die wichtigste Möglichkeit der Benutzung und Ausnutzung der festen Erdoberfläche durch den Menschen mit dem Ziel pflanzliche und tierische Erzeugnisse zu gewinnen (vgl. BRANDES und WOERMANN 1971, S. 13 f.). Von der gewerblichen Wirtschaft unterscheidet sich die Landwirtschaft durch die Gebundenheit an den Naturraum. Der Mensch ist dementsprechend an die naturräumlichen Gegebenheiten gebunden und nur in der Lage regulierend einzugreifen. Somit ist die Landwirtschaft an den Boden gebunden, während in der Industrie der Boden oftmals nur als Standort der Produktion benötigt wird. Deshalb gilt der Boden als einer der drei Produktionsfaktoren (Boden, Arbeit und Kapital) der Landwirtschaft (SCHROERS 2006, S. 4 f.; STEINHAUSER et al. 1972). Durch eine sinnvolle Kombination dieser drei Faktoren kann die natürliche Produktivität des Bodens wirtschaftlich genutzt werden. Die naturräumlichen Eigenschaften wirken sich dabei direkt auf die in der Produktion eingesetzten Arbeitszeiten bzw. Maschinen aus und beeinflussen damit maßgeblich die Produktivität des eingesetzten Kapitals bzw. der eingesetzten Arbeit.

3.3.1 Standorttheorie

Laut BRANDES und WOERMANN (1971, S. 14) ist ein (landwirtschaftlicher) Standort durch die natürlichen Verhältnisse, die wirtschaftlichen Bedingungen sowie den institutionellen Rahmen gegeben. Die darin enthaltenen Standortfaktoren können in zwei Gruppen

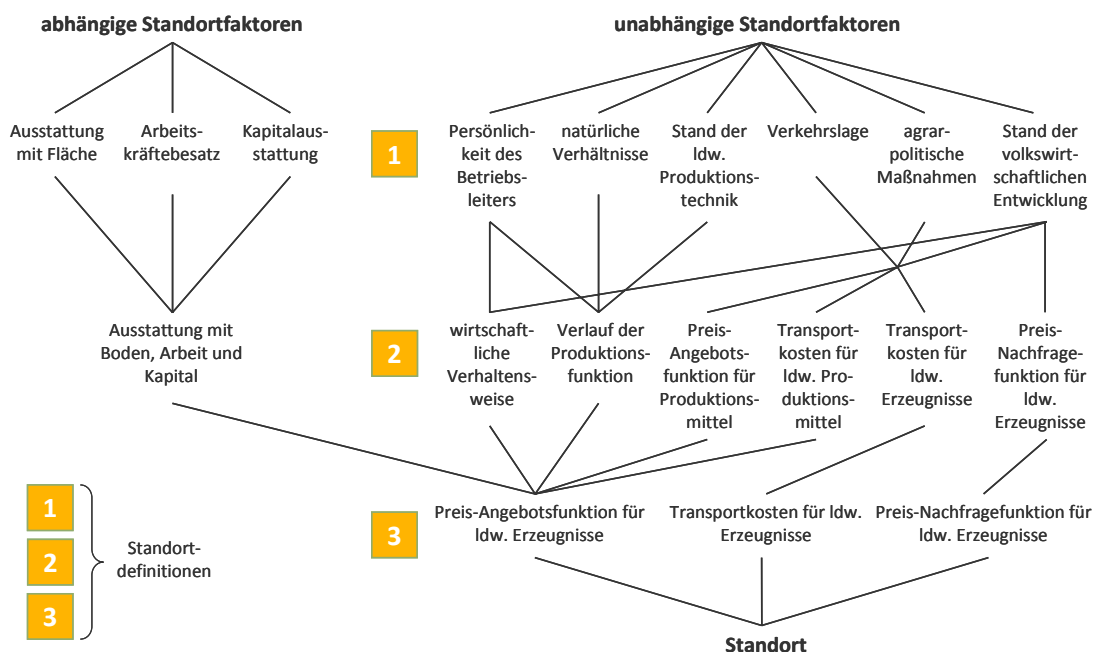
unterteilt werden. Auf der einen Seite existieren so genannte unabhängige Standortfaktoren (vgl. Abbildung 3-1), d. h. standortspezifische Verhältnisse, auf der anderen Seite abhängige Standortfaktoren, d. h. betriebspezifische Faktoren (WEINSCHENCK und HENRICHSMEYER 1966, S. 202 ff.).

Unabhängige Standortfaktoren

Bei einer kurz- bzw. mittelfristigen Betrachtungsweise des Standortes werden sechs unabhängige Standortfaktoren unterschieden (vgl. Standortdefinition 1 in Abbildung 3-1). Als erster Standortfaktor wird hierbei die Persönlichkeit des Betriebsleiters aufgeführt. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist das Ziel des Landnutzers. In ökonomischen Modellen wird meistens Optimierungsverhalten hinsichtlich des Einkommens des Landnutzers unterstellt. Weitere Aspekte, die zur Persönlichkeit des Betriebsleiters hinzuzählen, sind die Befähigung des Landnutzers technische bzw. ökonomische Effizienzen auszuschöpfen sowie sein Risikoverhalten (KUHLMANN et al. 2002, S. 353 ff.).

Als zweiten Standortfaktor führen WEINSCHENCK und HENRICHSMEYER (1966, S. 205) die natürlichen Verhältnisse des Standortes an. Unter diesem Begriff werden die Art des herrschenden Klimas und die Bodenverhältnisse verstanden (BRANDES und WOERMANN 1971, S. 15 ff.). Beide Komponenten legen den maximal realisierbaren Ertrag der angebauten Kultur fest.

Abbildung 3-1: Wirkungszusammenhang der Standortfaktoren



Quelle: WEINSCHENCK und HENRICHSMEYER 1966, S. 205

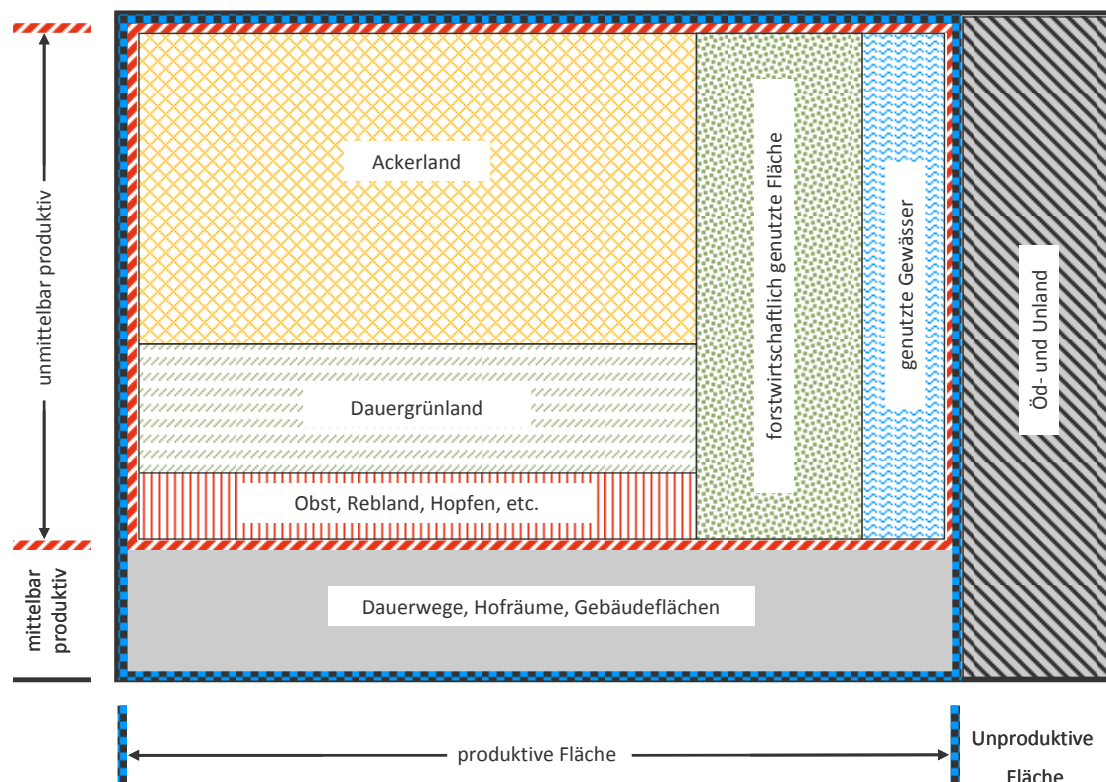
Die Landnutzungsmöglichkeiten sind jedoch nicht nur durch den Betriebsleiter selbst und die vorherrschenden natürlichen Verhältnisse geprägt, sondern auch durch die wirtschaftlichen Verhältnisse, die den Betrieb umgeben. Die wichtigsten Merkmale

sind dabei der Stand der landwirtschaftlichen Produktionstechnik, die äußere Verkehrslage des Betriebes, die agrarpolitischen Maßnahmen und der Stand der volkswirtschaftlichen Entwicklung (vgl. Standortdefinition 1 in Abbildung 3-1).

Abhängige Standortfaktoren

Die abhängigen Standortfaktoren stellen gewissermaßen die aktuelle Situation eines Betriebes dar, der durch die unabhängigen Standortfaktoren allerdings gekennzeichnet ist. Es ist aber klar, dass zwei Betriebe am gleichen Standort nicht zwangsläufig die gleichen Bedingungen vorfinden (BRANDES und WOERMANN 1971, S. 40 ff.). Die Ausstattung mit den drei Produktionsfaktoren Boden, Arbeit und Kapital steht dabei in direktem Zusammenhang mit dem Produktionspotenzial eines Betriebes (SCHROERS 2006, S. 4). Im Gegensatz zum Boden als unabhängiger Standortfaktor (s. o.) steht hier nicht die Bodenbeschaffenheit, sondern die Aufteilung der Betriebsfläche (vgl. Abbildung 3-2) im Vordergrund.

Abbildung 3-2: Gliederung der Betriebsfläche



Quelle: BRANDES und WOERMANN 1971, S. 42

Die so genannte innere Verkehrslage ergänzt die Angaben hinsichtlich des Umfangs der einzelnen Hauptnutzungsarten um die Größe, Form und Lage der Teilstücke (BRANDES und WOERMANN 1971, S. 42 f.).

Zu den Kapitalgütern zählen alle Vermögensbestandteile des Betriebes, die zum Erwerb beitragen. Unterschieden wird hierbei zwischen Geldkapital (Bargeld und Forderungen) und Sachkapital (Gebäude, bauliche Anlagen, Maschinen, Geräte, Viehbestand

sowie Vorräte). Teilweise wird der vorhandene Boden ebenfalls den Kapitalgütern zugeordnet (BRANDES und WOERMANN 1971, S. 40 ff.).

Der dritte betriebsspezifische Produktionsfaktor ist der Umfang an verfügbarer Arbeit. Dabei kann zwischen Dienstleistung und eigener Arbeit differenziert werden. Unter Dienstleistung wird hierbei der Arbeitseinsatz betriebsfremder Personen (z. B. Lohnunternehmer) verstanden. Der Umfang des Arbeitseinsatzes im Betrieb wird in Arbeitskraftstunden (Akh) bemessen (STEINHAUSER et al. 1992, S. 60 ff.).

Ergänzend zu diesen drei grundlegenden Produktionsfaktoren eines Betriebes werden oftmals noch die so genannten Rechte (u. a. Weiderechte, Lieferrechte) als vierter Faktor angeführt (KUHLMANN et al. 2002, S. 380 f.; STEINHAUSER et al. 1992, S. 69).

Wie in Abbildung 3-1 zu sehen ist, lassen sich einige dieser vielen Standortfaktoren zu Gruppen zusammenfassen. Demnach setzten sich laut Standortdefinition 3 die Bedingungen an einem Standort nur noch aus drei Komponenten zusammen: zum Ersten der Preis-Angebotsfunktion für landwirtschaftliche Erzeugnisse, zum Zweiten der Preis-Nachfragefunktion für landwirtschaftliche Erzeugnisse und schließlich den Transportkosten für landwirtschaftliche Güter. Eine exponierte Stellung wird dabei, wie es schon in der ersten Standorttheorie VON THÜNENS (1990, S. 15 ff.) aus dem Jahr 1826 der Fall war, den Transportprozessen zugeordnet.

3.3.2 Historische Entwicklung der Bodenrente

Die Sonderstellung des Bodens mit seiner Doppelfunktion (Standort von Produktionsanlagen und Nährstoffpool für das pflanzliche Wachstum) in der Landwirtschaft wurde in Kapitel 3.3.1 bereits eingehend beleuchtet. Aus seinen Funktionen sowie seinen betriebswirtschaftlichen Eigenschaften ergeben sich demnach bedeutsame Rückwirkungen auf die Produktionsausrichtung eines Betriebes (STEINHAUSER et al. 1992, S. 30 ff.).

Die ökonomische Bewertung von Land begann im 18. Jahrhundert. Ökonomen verwendeten hierzu den Begriff der Rente (ALONSO 1974, S. 2). Zu Beginn des 19. Jahrhunderts präsentierte RICARDO (1821, S. 39 ff.) eine Definition der Bodenrente (synonym zur Grundrente, Landrente, Lagerente), auf die heutige Theorien immer noch zurückgreifen. Die Bodenrente ist dabei jener Teil des Bodenertrages, der dem Grundbesitzer für die Benutzung der ursprünglichen und unzerstörbaren Kräfte des Bodens gezahlt wird. Er geht dabei davon aus, dass die Menge an Boden begrenzt und gleichzeitig qualitativ unterschiedlich ist. Weil durch die Zunahme an Bevölkerung Boden von geringerer Qualität in Produktion genommen werden muss, wird für seine Benutzung eine Rente bezahlt. Die Bodenrente eines hochwertigeren Bodens erhöht sich damit sofort um den Betrag, der durch die Differenz zum neu in Bewirtschaftung genommenen Boden entsteht (RICARDO 1821, S. 41).

Bis dahin unterschied sich die Bodenrente nur durch die jeweilige Fruchtbarkeit des Bodens, was sich allerdings ein paar Jahre später änderte (ALONSO 1974, S. 3 f.). VON

THÜNEN (1842, S. 15 ff.) geht in seinen Überlegungen von einem isolierten Staat von homogen Böden aus. Ihn interessierte die Frage, inwieweit die Entfernung zum Marktplatz Einfluss auf die Landrente hat. Seiner Meinung nach führt eine größer werdende Distanz zum Marktplatz zu höheren Transportkosten. Aus diesem Grund definierte er konzentrische Kreise um den Marktplatz, in denen die jeweils beste Kultur angebaut wird (VON THÜNEN 1842, S. 15 f.). Die Definition der Bodenrente wurde also erweitert (vgl. Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: Entwicklung der Definition der Bodenrente

Gründer	Jahr	Formel
Ricardo	1821	$R = y * (p - a)$
von Thünen; Dunn	1846;1956	$R = y * (p - a) - y * f * e$
Smith;Kuhlmann	1776;2007	$R = y * (p - a) - LA - ZA$

R	= Rente in Geldeinheiten je Landeinheit
y	= Ertrag in Produkteinheiten je Landeinheit
p	= Marktpreis in Geldeinheiten je Produkteinheit
a	= Kosten in Geldeinheiten je Produkteinheit ohne Bodenanteil
f	= Frachtkosten in Geldeinheiten je Produkt- und Entfernungseinheit
e	= Entfernung zum Markt in Entfernungseinheiten
LA	= Lohnansatz in Geldeinheiten je Landeinheit
ZA	= Zinsansatz in Geldeinheiten je Landeinheit

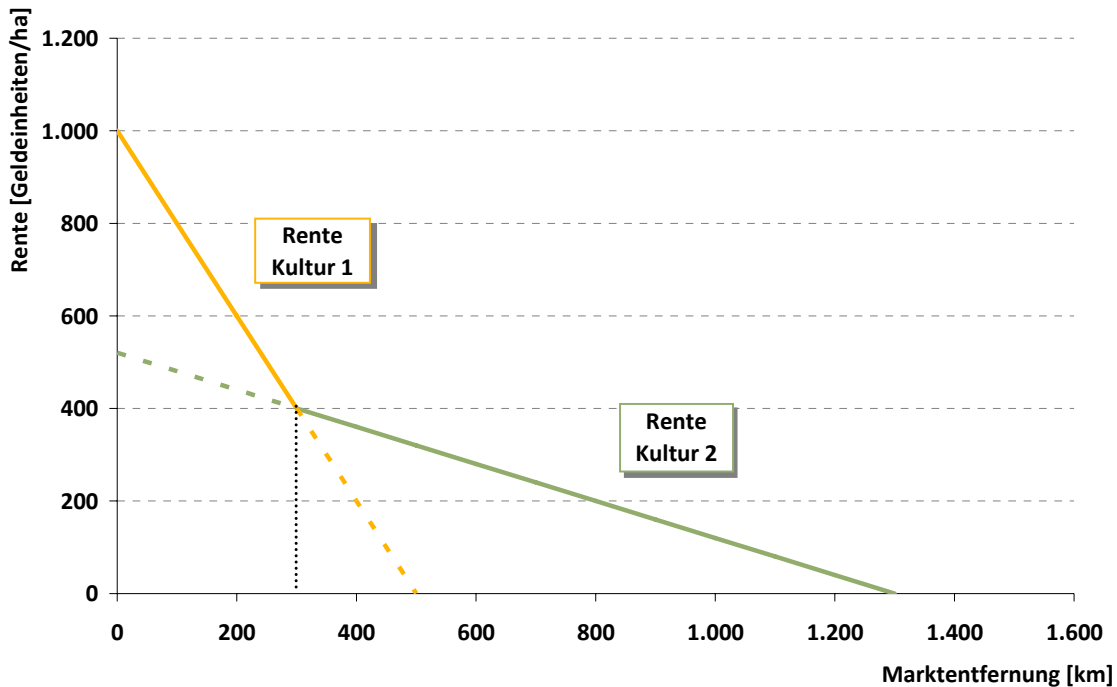
Quelle: eigene Darstellung nach KUHLMANN 2007, S. 257; STEINHAUSER et al. 1992, S. 31 ff.; ALONSO 1974, S. 3 ff. ; VON THÜNEN 1846, S. 23 ff.; RICARDO 1821, S. 39 ff

Auf der Basis dieser Überlegungen veröffentlichte DUNN (1954) sein Werk „The Location of Agricultural Production“, in dem dieser Ansatz vollständig weiterentwickelt wurde (ALONSO 1974, S. 4). Anhand von Beispielrechnungen kann gezeigt werden, dass bei Unterstellung gleicher Bedingungen je Flächeneinheit (gleiche Erträge, Marktpreise, Kosten) die Höhe der kulturspezifischen Bodenrente nur von der Marktentfernung abhängt (STEINHAUSER et al. 1992, S. 32.). Konkurrieren in einer Region zwei Anbaukulturen miteinander, kann nun mit Hilfe der Bodenrente über die Vorzüglichkeit der Kulturen entschieden werden. Es wird davon ausgegangen, dass beide Kulturen unterschiedliche Renten R_1 und R_2 erzielen, die als Funktion der Marktentfernung dargestellt werden können. Wie aus den Rentengeraden aus Abbildung 3-3 ersichtlich ist, ist in absoluter Marktnähe für die Kultur 1 eine höhere Rente zu erwarten als bei Kultur 2. Mit steigender Entfernung nimmt jedoch die Rente R_1 stärker ab als die von Kultur 2. Während die Rente beim Anbau von Kultur 1 bereits bei einer Entfernung von über 500 Kilometern unter null fällt, kann Kultur 2 bis zu einer Entfernung von 1.300 Kilometern bei einer positiven Bodenrente angebaut werden. Aus ökonomischer Sicht wird die Kultur mit der jeweils höchsten Bodenrente angebaut.

Wie in Abbildung 3-3 ersichtlich erweist sich Kultur 1 bis zu einer Entfernung von 300 Kilometern als profitablere Frucht. Im größeren Entfernungsbereich übertrifft die Ren-

te von Kultur 2 diejenige von Kultur 1. Ein gewinnmaximierender Landwirt würde daraufhin sein Produktionsprogramm dementsprechend ausrichten.

Abbildung 3-3: Rente in Abhängigkeit von der Marktentfernung beim Anbau von zwei Kulturen



Quelle: STEINHAUSER et al. 1992, S. 35

Der Wert des Bodens wird allerdings nicht nur durch seine Fruchtbarkeit und seine äußere Verkehrslage bestimmt, sondern vielmehr von einer Reihe weiterer Faktoren beeinflusst. Deswegen wird die Bodenrente heute meist allgemeiner dargestellt, so wie sie auch schon von SMITH (1789, S. 125 ff.) verstanden wurde. Nach KUHLMANN (2007, S. 257) errechnet sich die Grundrente aus dem Bilanzgewinn abzüglich des Lohn- und Zinsansatzes bezogen jeweils auf ein Hektar (vgl. Tabelle 3-1). Zur Implementierung in ein Landnutzungsmodell ist es unter Umständen nötig, die Gleichung zur Berechnung der Bodenrente um diverse Parameter zu ergänzen. So wird im oben erwähnten Landnutzungsmodell *PROLAND* folgende Formel 3-1 zur Berechnung der Bodenrente herangezogen:

Formel 3-1: Definition der Bodenrente im Modell PROLAND

$$\text{Bodenrente} = \text{Produktionswert} + \text{Transferzahlungen} - \text{Vorleistungen} - \text{Abschreibungen} - \text{Produktionssteuern} - \text{Zinsansprüche} - \text{Lohnansprüche}$$

Quelle: WEINMANN 2002, S. 25

Exkurs: Rechnungssysteme in der Landwirtschaft

Im Folgenden sollen ausgewählte Begriffe landwirtschaftlicher Rechnungssysteme noch einmal näher beleuchtet werden, um Missverständnissen in den weiteren Kapi-

teln vorzubeugen. Mit Hilfe von Rechnungssystemen wird es dem Betriebsleiter ermöglicht verschiedene Handlungsalternativen ökonomisch zu bewerten (STEINHAUSER et al. 1992, S. 152 ff). Dabei stehen grundsätzlich zwei Rechenarten zur Erfassung der Rentabilität zur Verfügung:

- Ertrags-Aufwands-Rechnung
- Leistungs-Kosten-Rechnung

Ertrags-Aufwands-Rechnungen dienen zur Bestimmung des erwirtschafteten Einkommens (KUHLMANN 2007, S. 225 ff.). Die Berechnung erfolgt dabei immer zeitraumbezogen (meist ein Wirtschaftsjahr) und meist für den Gesamtbetrieb. Anhand der damit erstellten Bilanz lassen sich eine Reihe aufschlussreicher Kennzahlen für den Gesamtbetrieb ableiten (DABBERT und BRAUN 2006, S. 155 ff).

Im Gegensatz zur Ertrags-Aufwands-Rechnung ist die Leistungs-Kosten-Rechnung meist objektbezogen und fügt kalkulatorische Kostenpositionen (z. B. Entlohnung von Familienarbeitskräften) zu den pagatorischen Kostenpositionen hinzu, wodurch auch Planungsrechnungen durchgeführt werden können (DABBERT und BRAUN 2006, S. 155 f;) und eine Vergleichbarkeit von Betrieben, unabhängig von ihrer Faktorausstattung, gewährleistet ist (KUHLMANN 2007, S. 325). Der wichtigste Unterschied ist jedoch, dass sie zudem Analysen in Teilbereichen des Betriebes ermöglicht. Je nach Zielaufgabe haben sich verschiedene Leistungs-Kosten-Rechnungssysteme entwickelt.

Ein wichtiger Aspekt ist der Zeithorizont des Rechnungssystems. Unterschieden wird hierbei zwischen Systemen zur Analyse oder Kontrolle der Vergangenheit (ähnlich der Ertrags-Aufwands-Rechnung) und Systemen die als Planungsgrundlage für die Zukunft dienen. Bei einer Leistungs-Kosten-Rechnung kann zudem zwischen einer Vollkosten- und einer Teilkostenrechnung differenziert werden. In einer Vollkostenrechnung werden alle anfallenden Kostenpositionen auf den Kostenträger umgerechnet. Es erfolgt also analog zum gewerblichen Rechnungswesen eine Ermittlung der Stückkosten (STEINHAUSER et al. 1992, S. 164 f.). Neben der Einteilung der Kosten in Spezial- und Gemeinkosten ist zusätzliche eine Unterscheidung zwischen variablen und festen Kosten möglich (DABBERT und BRAUN 2006, S. 164).

3.3.3 Definition der Bodenrente im Modell LaNuOpt

Grundsätzlich handelt es sich bei der Berechnung der Bodenrente um einen Vollkostenansatz, d. h. es werden sowohl die variablen als auch die fixen Kosten eines Produktionsverfahrens erfasst. Dadurch wird eine Vergleichbarkeit der ökonomischen Wettbewerbskraft auf lange Sicht gewährleistet, während eine Teilkostenrechnung, wie z. B. die Deckungsbeitragsrechnung, nur einen kurzfristigen Vergleich zulässt (DLG 2004, S. 23 ff.). Wie oben bereits erläutert, werden bei der Berechnung der Bodenrente alle Leistungen und Kosten, die je Hektar anfallen, miteinander verrechnet. Die Ausnahme bilden dabei die so genannten Flächenkosten, die nicht mit einbezogen wer-

den. Dazu gehören hauptsächlich die Kosten für die Pacht bzw. die Nutzungskosten der Fläche. Damit ist die Aussage der Bodenrente klar definiert. Sie ist genau der Betrag, der dem Landwirt nach Abzug aller anderen Kosten verbleibt, um die eingesetzte Fläche zu entlohnen. Aus diesem Grund müssen auch alle kalkulatorischen Kostenansätze, wie beispielsweise der Lohnansatz, berücksichtigt werden. Bei der Definition der Bodenrente, wie sie im Modell *LaNuOpt* gebraucht wird, werden die Begriffe der Betriebszweigabrechnung der DLG (2004) herangezogen (vgl. Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: Stufen der Betriebszweigabrechnung

Größe	Beispiele
+ Leistungen	Umsatzerlöse Naturalentnahmen Direktzahlungen Bestandsveränderungen
- Direktkosten (leistungsnah)	Saatgut Düngemittel Pflanzenschutz Trocknung, Lagerung Wasser
= Direktkostenfreie Leistung	
- Übrige Direktkosten und anteilige Gemeinkosten	Arbeits erledigungskosten Gebäudekosten Flächenkosten (Pacht, Grundsteuer, etc.) Sonstige Kosten (Gebühren, Versicherung, etc.)
= Gewinn des Betriebszweiges	
- Ansätze für Faktorkosten	Lohnansatz Zinsansatz Pachtansatz (eigene Flächen)
= Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis	

Quelle: eigene Darstellung nach DABBERT und BRAUN 2006, S. 172; DLG 2004, S. 24 ff

Die Bodenrente eines Produktionsverfahrens im Modell *LaNuOpt* ist in Formel 3-2 definiert. Laut dieser Definition setzt sich die Bodenrente BR_k eines Produktionsverfahrens k aus drei Hauptkomponenten zusammen. Die Erste ist hierbei die Marktleistung eines Produktionsverfahrens, wobei sich diese aus dem Verkauf verschiedener Produkte i zusammensetzen kann und je Hektar erfasst wird. Handelt es sich um ein Veredelungsverfahren (z. B. Milchviehhaltung, Bullenmast oder Biogaserzeugung) wird die dort erzielte Marktleistung auf die Futter- bzw. Substratfläche bezogen. Beträgt beispielsweise die Milchleistung einer Milchkuh bei einer Futterfläche von 0,5 ha/Kuh 6.000 kg/Kuh*a wird dementsprechend eine Milchleistung von 12.000 kg/ha*a angesetzt, die dann mit dem jeweiligen Marktpreis multipliziert wird.

Formel 3-2: Definition der Bodenrente BR eines Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt

$$BR_k = \sum_{i=1}^n p_i y_{ik} - a_k + z_k$$

Anmerkungen:

- BR_k Bodenrente des Produktionsverfahrens k
p_i Marktpreis des Produktes i in Geldeinheiten je Produkteinheit
y_{ik} Produzierte Einheiten des Produktes i im Produktionsverfahren k in Produkteinheiten je Hektar
a_k Kosten des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Hektar ohne Flächenkosten
z_k öffentliche Transferzahlungen für das Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar

Quelle: eigene Darstellung

Dasselbe gilt für die Umlage weiterer Produkte oder der Kosten (vgl. Formel 3-3) des Produktionsverfahrens bzw. der öffentlichen Transferzahlungen auf ein Hektar Fläche. Die Kosten der im Betrieb erzeugten Futtermittel entsprechen dabei der jeweiligen Bodenrente. Dies wiederum bedeutet, dass die flächengebundenen Direktzahlungen auf diesem Weg direkt beim Futtermittel erfasst werden, weswegen die innerbetrieblichen Futtermittelpreise relativ günstig sind. Das Produktionsverfahren Milchviehhaltung erfährt damit auch keine weiteren Direktzahlungen, da dieser Erlöspunkt bereits in den Futterkosten implementiert ist.

Formel 3-3: Berechnung der Kosten eines Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt

$$a_k = DK_k + KdA_k + KfL_k + KdG_k + aGK_k$$

Anmerkungen:

- a_k Kosten des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Hektar
DK_k Direktkosten des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Hektar
KdA_k Kosten der Arbeitserledigung im Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
KfL_k Kosten für Lieferrechte im Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
KdG_k Kosten der Gebäude im Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar
aGK_k anteilige Gemeinkosten des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Hektar

Quelle: eigene Darstellung

Die Kostenseite wird in Anlehnung an die Betriebszweigabrechnung der DLG in verschiedene Kostenblöcke unterteilt (vgl. DLG 2004, S. 35 ff.). Unterschieden werden dort Direktkosten, Kosten der Arbeitserledigung, Kosten für Lieferrechte, Gebäudekosten, Flächenkosten sowie sonstige Kosten (anteilige Gemeinkosten). In den einzelnen Blöcken sind bei einer Ausweisung des kalkulatorischen Betriebszweigergebnisses die Ansätze für die Faktorentlohnung (Arbeit, Kapital) bereits enthalten (vgl. Tabelle 3-3). Auch im Modell *LaNuOpt* sind die Faktorkosten berücksichtigt. Der Unterschied zur DLG-Betriebszweigabrechnung ist die Nichtberücksichtigung des Kostenblockes „Flächenkosten“ aufgrund der Definition der Bodenrente. Besonders schwierig zu erfassen ist der Kostenpunkt „anteilige Gemeinkosten“, bei dem am Gesamtbetrieb anfallende

Kosten auf einzelne Betriebszweige verteilt werden. Ein oft angewandter Ansatz zur Zuordnung ist eine Verteilung über die Fläche mit Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebstypen (KTBL 2006a, S. 137).

Tabelle 3-3: Kostenblöcke und Kostenbeispiele im Modell LaNuOpt

Direktkosten	Kosten der Arbeiterledigung	Gebäudekosten	Kosten für Lieferechte	anteilige Gemeinkosten
Saatgut	Personalaufwand	Unterhalt	Milchkontingent	Steuern
Dünger	Lohnansatz	AfA Gebäude	Rübenkontingent	Beiträge
Pflanzenschutz	Betriebsstoffe	Versicherung		Gebühren
Trocknung	AfA Maschinen	ZA Gebäude		Versicherungen
Wasser	Unterhalt Maschinen			Verwaltung
Hagelversicherung	Versicherungen			Sonstiges
Tierzukauf	ZA Maschinenkapital			
Tierarzt				
Futter				
Energie				
ZA Inventar				

Anmerkungen:

AfA = Abschreibung

ZA = Zinsansatz

Quelle: eigene Darstellung nach DLG 2004

Als dritte Komponente werden die öffentlichen Zahlungen hinzuaddiert (vgl. Formel 3-2). Hierzu zählen die entkoppelten Direktzahlungen der EU (DZ_k), die in der jeweiligen Region gewährte Ausgleichszulage (AGZ) sowie die unter Umständen beantragbaren Prämien für Agrarumweltmaßnahmen (AUM_k) (vgl. Formel 3-4).

Formel 3-4: Berechnung der öffentlichen Transferzahlungen im Modell LaNuOpt

$$z_k = DZ_k + AGZ + AUM_k$$

Anmerkungen:

z_k öffentliche Transferzahlungen für das Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar

DZ_k Direktzahlungen der EU für das Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar

AGZ Ausgleichszulage in Geldeinheiten je Hektar

AUM_k Zahlungen für Agrarumweltmaßnahmen durch das Produktionsverfahren k in Geldeinheiten je Hektar

Quelle: eigene Darstellung

Die Position der Direktzahlungen setzt sich wiederum aus mehreren Komponenten zusammen. Durch die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik wurde ein großer Teil der Flächen- und Tierprämien von der landwirtschaftlichen Produktion entkoppelt. In einem so genannten Kombimodell existieren zwei Möglichkeiten der Auszahlung von Prämien. Während ein Teil nach den Grundsätzen eines Regionalmodells mit einheitlichen Prämienhöhen in den einzelnen Bundesländern gewährt wird, erfolgt die Auszahlung des restlichen Betrages anhand historischer Prämien im Zuge des betriebsindivi-

duellen Beitrags (BIB) (BMELV 2006, S. 15 f.). Langfristig wird dieses Kombimodell in ein reines Regionsmodell mit einheitlichen Prämien für jedes Hektar Fläche überführt (BMELV 2006, S. 17 f.). Diese beiden Prämien fließen zwar in die Bodenrente mit ein, um das tatsächliche Einkommen der Landwirtschaft zu ermitteln, bilden aber keine Entscheidungsgrundlage für oder gegen ein Produktionsverfahren, da die Höhe der Prämie unabhängig von der Art der Nutzung ist. Anders hingegen gestaltet sich die Situation bei den nach wie vor produktspezifischen Direktzahlungen für Eiweißpflanzen, Schalenfrüchte, Energiepflanzen, Stärkekartoffeln sowie Tabak (BMELV 2006, S. 45 ff.), die direkt Einfluss auf die Produktionsentscheidung des Landwirtes nehmen. Weitere öffentliche Transferzahlungen werden im Rahmen der Ausgleichzulage (AGZ) für benachteiligte Gebiete oder diversen Agrarumweltmaßnahmen (AUM_k) gewährt. Während die Ausgleichzulage wiederum unabhängig von der Produktion ist, greifen Agrarumweltmaßnahmen (z. B. Kulturlandschaftsprogramm KULAP; Vertragsnaturschutzprogramm VNP) (StMLF 2008c) wieder unmittelbar in die Produktionsentscheidung ein.

3.3.4 Dynamisierung des Modells durch Definition der Bodenrente II (BR II)

Wie in Kapitel 3.2.3 bereits angedeutet, greift das Modell *LaNuOpt* grundsätzlich auf einen komparativ-statischen Ansatz zurück. Um die Entscheidungen der Landwirte realistischer simulieren zu können, wird im Modell *LaNuOpt*, im Gegensatz zum Modell *PROLAND*, der Effekt der so genannten versunkenen Kosten (sunk costs) berücksichtigt. Als versunkene Kosten werden Kosten der Vergangenheit (z. B. Investition in einen Neubau) bezeichnet, die allerdings zukunftsbezogene Kosten nicht beeinflussen (KUHLMANN 2007, S. 550). Das kann sogar dazu führen, dass eine Weiterproduktion auch dann noch erfolgt, wenn sie schon lange nicht mehr wirtschaftlich ist (BALMANN 1996, S. 503 ff.). MUSSHOF und HIRSCHAUER (2008) analysieren in ihrem Beitrag, warum die Anpassung landwirtschaftlicher Betriebe langsamer erfolgt als es die ökonomischen Rahmenbedingungen erwarten lassen (MUSSHOF und HIRSCHAUER 2008, S. 135 ff.). Dieser Effekt lässt sich durch die Investitionstheorie nach DIXIT (1992) erklären (MUSSHOF und HIRSCHAUER 2008, S. 135.), die in ähnlicher Form durch das Konzept der Pfadabhängigkeit von LATA CZ-LOHMANN et al. (2001) bestätigt wird.

Laut den Grundlagen der Investitionstheorie führt ein Preis, der die durchschnittlichen Kosten übersteigt, zu Investitionen in diesem Bereich. Im umgekehrten Fall erfolgt der Ausstieg aus der Produktion (DIXIT 1992, S. 107). Die Realität sieht allerdings anders aus. Betriebe verbleiben länger in unwirtschaftlichen Bereichen und steigen später in offensichtlich profitable Geschäftsbereiche ein. Hierfür gibt es laut DIXIT (1992, S. 108) drei Gründe. Bei einer Entscheidung für die Zukunft spielen die Unsicherheit, die versunkenen Kosten sowie die freie Wahl des Investitionszeitpunktes eine entscheidende Rolle. Die Unsicherheit und die freie Wahlmöglichkeit des Investitionszeitpunktes führen dazu, dass versunkene Kosten einen Wert erhalten. (DIXIT 1992, S. 109). Damit eine

Investition ausgeführt wird, muss deswegen der diskontierte Wert zukünftiger Einnahmen einer Neuinvestition größer als die schon getätigten Kosten eines bestehenden Verfahrens sein (vgl. Formel 3-5).

Formel 3-5: Bedingung für eine Investition bei einem bestehendem Verfahren

$$R/\rho > K$$

Anmerkungen:

R zukünftige Einnahmen aus einem neuen Verfahren

ρ Zinsansatz für die Neuinvestition

K versunkene Kosten

Quelle: DIXIT 1992, S. 110

Diese Formel bedeutet im Umkehrschluss, dass die diskontierten Einnahmen aus der Neuinvestition abzüglich der versunkenen Kosten größer als null sein müssen (siehe Formel 3-6).

Formel 3-6: Umformung von Formel 3-5

$$R/\rho - K > 0$$

Anmerkungen:

R zukünftige Einnahmen aus einem neuen Verfahren

ρ Zinsansatz für die Neuinvestition

K versunkene Kosten

Quelle: DIXIT 1992, S. 110

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird im Modell *LaNuOpt* deshalb eine zweite Bodenrente BR II ausgewiesen. Darin werden einem bestehenden Verfahren die versunkenen Kosten nicht angerechnet, wodurch diesem Verfahren ein monetärer Vorteil eingeräumt wird. Die Formel zur Berechnung der Bodenrente II eines bestehenden Verfahrens weicht also von der allgemeinen Formel 3-2 der Bodenrente ab (siehe Formel 3-7).

Formel 3-7: Definition der BR II eines bestehenden Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt

$$BR II_m = \sum_{i=1}^n p_i y_{im} - a_m + z_m + s_m$$

Anmerkungen:

BR II_m Bodenrente II des bestehenden Produktionsverfahrens m

p_i Marktpreis des Produktes i in Geldeinheiten je Produkteinheit

y_{im} Produzierte Einheiten des Produktes i im bestehenden Produktionsverfahren m in Produkteinheiten je Hektar

a_m Kosten des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar ohne Flächenkosten

z_m öffentliche Transferzahlungen für das bestehende Produktionsverfahren m in Geldeinheiten je Hektar

s_m versunkene Kosten des bestehenden Produktionsverfahrens m

Quelle: eigene Darstellung

Die versunkenen Kosten werden also nicht wie bei DIXIT (1992) von den zukünftigen Einnahmen eines neuen Verfahrens abgezogen, sondern dem bestehenden Verfahren gutgeschrieben. Dazu gehören vor allem die Kosten für Investitionen in Anlagen und Maschinen aber auch Quoten und Lieferrechte, die alle dazu führen, dass der Landwirt seine Produktion länger aufrechterhält (BALMANN 1996, S. 504 f.). Im Modell werden die in Formel 3-8 aufgeführten Positionen den versunkenen Kosten s_k zugeordnet.

Formel 3-8: Definition der versunkenen Kosten eines bestehenden Produktionsverfahrens im Modell LaNuOpt

$$s_m = fKdA_m + KdG_m + KfL_m$$

Anmerkungen:

- s_m versunkene Kosten des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar
 $fKdA_m$ fixe Kosten der Arbeitserledigung des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar
 KdG_m Kosten der Gebäude des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar
 KfL_m Kosten für Lieferrechte des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Hektar

Quelle: eigene Darstellung

Während die Gebäudekosten sowie die Kosten für Lieferrechte komplett als versunkene Kosten gelten, fließt nur ein Teil, nämlich der fixe Anteil, der Kosten der Arbeitserledigung mit ein. Dabei handelt es sich um Kosten, die durch Investition in Maschinen und Geräte entstehen (vgl. Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Kostenpositionen der versunkenen Kosten im Modell LaNuOpt

Kostenposition	Unterpunkte
fixe Kosten der Arbeitserledigung (fKdA)	Afa Maschinen Versicherung Maschinen Zinsansatz Maschinen
Gebäudekosten (KdG)	komplett
Kosten für Lieferrechte (KfL)	komplett

Quelle: eigene Darstellung

Im Fortlauf der Arbeit existieren nunmehr zwei Definitionen der Bodenrente. Zum einen die Bodenrente I, die nach der allgemeinen Definition (Formel 3-2) berechnet wird und zum anderen die gerade vorgestellte Bodenrente II (Formel 3-7). Ist die Bodenrente nicht explizit ausgewiesen, handelt es sich immer um die allgemeine Form, d. h. Bodenrente I. In diesem Fall sind noch keine Kapazitäten gebunden, so dass dem Landwirt die freie Entscheidung bleibt. Im umgekehrten Fall, unter Annahme schon bestehender Produktionsverfahren mit gebundenen Faktoransprüchen, wird die Bodenrente II verwendet.

Im Landnutzungsmodell ist die „Dynamisierung“ folgendermaßen umgesetzt. Die in einer Region existierende Agrarstruktur wird erfasst. Den darin ermittelten Umfängen der einzelnen Produktionsverfahren wird die Bodenrente II zugewiesen, wobei mit jedem zusätzlichen Jahr in der Zukunft fünf Prozent des Umfangs frei wird. Damit wird einer Abschreibungsdauer von 20 Jahren Rechnung getragen. Bei freien Kapazitäten und damit freien Flächen sind keine versunkenen Kosten mehr anzusetzen, weswegen hier zwangsläufig die Bodenrente I als Entscheidungsgrundlage für den Landwirt dient. Bestehende Verfahren werden nur dann durch Neuinvestitionen ersetzt, wenn folgender Zusammenhang aus Formel 3-9 gilt.

Formel 3-9: Regel für den Ersatz eines bestehenden Produktionsverfahrens m durch ein neues Produktionsverfahren k

$$BR I_k > BR II_m \text{ oder } BR_k > BR_m + s_m$$

Anmerkungen:

$BR (I)_k$ Bodenrente (I) des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Flächeneinheit

$BR (II)_m$ Bodenrente (II) des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Flächeneinheit

s_m versunkene Kosten des bestehenden Produktionsverfahrens m in Geldeinheiten je Flächeneinheit

Quelle: eigene Darstellung

Ein bestehendes Produktionsverfahren kann somit deutlich länger konkurrieren. Zur Verdeutlichung wird ein Beispiel herangezogen. Fällt die Bodenrente, und damit die Wettbewerbskraft, der Milchviehhaltung hinter der des Marktfruchtbaus zurück, wird eine Umstellung nicht zwangsläufig sofort erfolgen, da ein großer Teil des Kapitals (versunkene Kosten) fest im Stall gebunden ist. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass eine Umstellung auf Marktfruchtbau erst dann erfolgt, wenn dessen Wettbewerbskraft so hoch ist, dass seine Bodenrente (=Bodenrente I) die Bodenrente II der Milchviehhaltung übersteigt. Mit Hilfe der Differenzierung der Bodenrente ist eine realistischere Abbildung des Entscheidungsverhaltens von Landwirten möglich (Anwendungsbeispiel siehe Kapitel 4.5: Funktionsweise des Modells).

3.4 Einsatz Linearer Programmierung (LP) im Modell LaNuOpt

Wie bereits erwähnt wird den Landwirten einkommensmaximierendes Verhalten unterstellt. Da in der Landwirtschaft zahlreiche Produktionsalternativen zur Verfügung stehen und gleichzeitig verschiedene Restriktionen bzw. Mindestanforderungen berücksichtigt werden müssen, ist eine manuelle Optimierung nicht so einfach möglich. Im Modell *LaNuOpt* erfolgt die Maximierung der Bodenrente mit Hilfe Linearer Programmierung LP.

3.4.1 Einsatzgebiete Linearer Optimierung

Die Lineare Programmierung bzw. Lineare Optimierung ist ein Teilgebiet des Operations Research. Ziel ist dabei die Lösung eines auf linearen Zusammenhängen basierenden Problems, das durch Nebenbedingungen in Form von linearen Gleichungen und Ungleichungen eingeschränkt ist, zu finden (LAREK 2004, S. 131 f.). Unter Verwendung elektronischer Rechenanlagen ist es möglich, mehrere Alternativen gleichzeitig (simultan) konkurrieren zu lassen, bis eine Lösung mit der besten Verwertung vorhandener Ressourcen erreicht wird (STEINHAUSER et al. 1992, S. 197 f.; SEIFFART und MANTEUFFEL 1991, S. 6).

Seit dem Zweiten Weltkrieg, bei dem die Verteilung knapper Ressourcen eine entscheidende Rolle spielte, wird die Lineare Programmierung verstärkt angewandt und erforscht (HAZELL und NORTON 1986, S. 351). Danach wurde diese Methodik auch in die landwirtschaftliche Betriebslehre eingeführt, wobei nicht nur Optimierungsprobleme auf Betriebsebene gelöst, sondern auch Landnutzungsmodelle, häufig auf Basis der THÜNENSchen Standorttheorie, erarbeitet wurden (KÖHNE 2005, S. 241 f.). Daneben ist auch ein Einsatz zur Ermittlung kostenminimaler Futterrationen möglich (STEINHAUSER et al. 1992, S. 197). Die Lineare Programmierung hat sich sowohl auf Sektor- als auch auf Betriebsebene zu einem der leistungsfähigsten Werkzeuge entwickelt, um die optimale Allokation von Ressourcen zu erreichen (HAZELL und NORTON 1985, S. 1 ff.).

3.4.2 Mathematischer Hintergrund

Mathematisch gesehen lässt sich dieses Optimierungsproblem in drei Gleichungen darstellen (LAREK 2004, S. 131 f.). Als Erstes gilt es, die Zielfunktion zu definieren (Formel 3-10).

Formel 3-10: Zielfunktion eines linearen Optimierungsproblems

$$Z = \sum_{k=1}^n b_k X_k = \max$$

Anmerkungen:

Z Gesamtbodenrente in Geldeinheiten

b_k Bodenrente I oder II des Produktionsverfahrens k in Geldeinheiten je Flächeneinheit

X_k Umfang des Produktionsverfahrens k in Flächeneinheiten

Quelle: eigene Darstellung nach LAREK 2004, S. 131 f.; STEINHAUSER et al. 1992, S. 200; HAZELL und NORTON 1986, S. 362 f.

Im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* beschreibt die Zielfunktion die Gesamtbodenrente Z in einer Region, die es zu maximieren gilt. Die Gesamtbodenrente errechnet sich durch das Summenprodukt aus den einzelnen Bodenrenten b und den Umfängen X der jeweiligen Produktionsverfahren k. Dabei müssen allerdings vorhandene Nebenbedingungen bzw. Restriktionen in Form von Gleichungen oder Ungleichungen formuliert werden (Formel 3-11).

Formel 3-11: Nebenbedingungen eines linearen Optimierungsproblems

$$\sum_{k=1}^n \alpha_{ik} X_k \leq \beta_i \text{ für } i = 1, 2, \dots, n$$

Anmerkungen:

α_{ik} Faktoranspruch bzw. natürlicher Koeffizient des Produktionsverfahrens k bei der Kapazität i

X_k Umfang des Produktionsverfahrens k in Flächeneinheiten

β_i Faktorvorrat oder Kapazität i

Quelle: eigene Darstellung nach LAREK 2004, S. 131 f.; STEINHAUSER et al. 1992, S. 200; HAZELL und NORTON 1986, S. 362 f.

Die Nebenbedingungen müssen formuliert werden, damit der Faktoranspruch (z. B. beanspruchte Fläche, benötigte Arbeitszeit) der einzelnen Produktionsverfahren den Faktorvorrat bzw. die Kapazität (z. B. verfügbare Fläche, vorhandene Arbeitskräfte) nicht überschreitet. Gleichungssysteme, wie sie Formel 3-11 zeigt, beinhalten auch Gleichungen, die zur Programmierung von Transferaktivitäten dienen. Dabei müssen Zwischenprodukte (z. B. Kälber) eines Produktionsverfahrens an ein konkurrierendes Verfahren (Bullenmast im Betrieb oder Verkauf) übergeben werden. Diese so genannten intermediären Produkte vermehren die verfügbaren Kapazitäten, indem ihnen in der ersten Produktionsstufe ein negativer Faktoranspruch α zugewiesen wird. In der aufnehmenden Produktionsstufe ist wieder ein positiver Faktoranspruch α eingetragen (REISCH 1962, S. 62 f.).

Als abschließender Punkt muss noch die Nichtnegativitätsbedingung (siehe Formel 3-12) eingehalten werden (LAREK 2004, S. 132).

Formel 3-12: Nichtnegativitätsbedingung eines linearen Optimierungsproblems

$$X_k \geq 0 \text{ für } k = 1, 2, \dots, n$$

Anmerkung:

X_k Umfang des Produktionsverfahrens k in Flächeneinheiten

Quelle: eigene Darstellung nach LAREK 2004, S. 131 f.; STEINHAUSER et al. 1992, S. 200; HAZELL und NORTON 1986, S. 362 f.

Mit dieser Gleichung wird gewährleistet, dass keine negativen Mengen produziert werden. Die Formulierung eines Entscheidungsproblems in einem linearen Gleichungssystem bedingt laut STEINHAUSER (1992, S. 200 ff.) folgende Gegebenheiten:

- Linearität der Produktionsprozesse
- Beliebige Teilbarkeit der Faktoren und Produkte
- Addierbarkeit und Unabhängigkeit der Produktionsprozesse

Sind diese Voraussetzungen gegeben, ist eine Lösung mit Hilfe des Simplex-Algorithmus möglich (LAREK 2004, S. 142 ff.; STEINHAUSER 1992 S. 202 ff.). Dank moderner EDV-Geräte wird dieser komplexe Trial-and-Error-Vorgang heutzutage von Maschi-

nen übernommen, so dass es nun möglich ist, auch umfangreiche Gleichungssysteme zu lösen.

3.4.3 Vor- und Nachteile der Linearen Programmierung

Der Einsatz der Linearen Programmierung hat sich bei der Allokation begrenzter Ressourcen bewährt. Mit diesem Werkzeug, besonders mit Hilfe moderner Rechner, kann ein Optimierungsproblem relativ schnell zufrieden stellend und gleichzeitig übersichtlich und nachvollziehbar gelöst werden. Deswegen ist es nahe liegend, dass diese Methode in der Landnutzungsmodellierung verbreitet Gebrauch findet. Aber nicht ohne Grund werden in der Forschung auch weitere Ansätze diskutiert und auch angewendet, denn die Lineare Programmierung hat durchaus ihre Schwachstellen (vgl. Tabelle 3-5). Allerdings gibt es Ansätze, die es gestatten, den durch die Schwachstellen generierten Fehler zu minimieren.

Tabelle 3-5: Schwachstellen der Linearen Programmierung und Lösungsansätze

Schwachstellen	Lösungsansätze
Linearität der Produktionsprozesse, Restriktionen und Zielgleichung	spezielle Ansätze der linearen Programmierung Definierung von Gruppen mit Grenzproduktivität
beliebige Teilbarkeit	Runden der Ergebnisse auf ganze Einheiten
Addierbarkeit und Unabhängigkeit	Einbau von spezifischen Restriktionen und Grenzen
Überspezialisierung	Vorgabe von Höchstgrenzen
beschränkte Zahl an Produktionsmöglichkeiten	in der Realität sind auch nicht unendlich viele Produktionsverfahren möglich
Annahme konstanter Preise	Szenarienbildung und Sensitivitätsanalysen

Quelle: eigene Darstellung nach WEINMANN 2002, S. 58 ff.; CYPRI 2000, S. 22 ff.; BALMANN et al. 1998a, S. 225; STEINHAUSER et al. 1992, S. 200 ff.; REISCH 1962, S. 143 ff.

Die drei fundamentalen Annahmen der Linearen Programmierung (s. o.) sind gleichzeitig die Ansatzpunkte für die Kritik an diesem Verfahren. Sie sind gewissermaßen der Preis, der bezahlt werden muss, wenn Matrizenrechnungen angewendet wird (REISCH 1962, S. 143). Effekte, wie abnehmende Grenzproduktivität (z. B. abnehmender Grenzertrag bei steigenden Fruchtfolgeanteilen) oder zunehmende Grenzproduktivität (z. B. Größendegression in der Milchviehhaltung in Bezug auf die Faktoransprüche Arbeit und Kapital) können aufgrund der Linearität der Produktionsprozesse nicht direkt dargestellt werden. Durch die Aufteilung in Spannen mit gleich bleibender Grenzproduktivität kann dieses Problem annäherungsweise gelöst werden (STEINHAUSER et al. 1992, S. 237 ff.).

Eine weitere Schwachstelle ist, dass beliebige Teilbarkeit der Faktoren und Produkte vorausgesetzt wird (REISCH 1962, S. 145). Eine Optimierung kann beispielsweise zu dem Ergebnis 25,7 Kühe kommen. Ein Runden dieses Wertes auf ganze Zahlen verändert allerdings die Aussage nicht wesentlich (STEINHAUSER et al. 1992, S. 201; SEIFFART und

MANTEUFFEL 1991, S. 104 ff.; REISCH 1962, S. 145). In Bezug auf das Landnutzungsmodell erweist sich dies noch weniger als Problem, da hier größere Regionen betrachtet werden, so dass ein Runden von Optimierungsergebnissen nicht negativ ins Gewicht fällt.

Die dritte fundamentale Gegebenheit bei Linearer Optimierung, nämlich die Addierbarkeit und Unabhängigkeit von Produktionsverfahren, ist in der Realität sicher nicht gegeben. Als geeignetes Beispiel kann hier wieder die Fruchtfolge gelten. So hat das Verhältnis der Kulturen untereinander entscheidenden Einfluss auf die jeweiligen Erträge. Ein möglicher Ansatz, neben der Wahl einer nichtlinearen Methode, ist der Einbau von Fruchtfolgerestriktionen (STEINHAUSER et al. 1992, S. 201 f.), wie sie auch im Modell *PROLAND* vorkommen (WEINMANN 2002, S. 58 ff.).

Durch die Einführung von Ober- bzw. Untergrenzen lässt sich laut BALMANN et al. (1998a, S. 225) die Tendenz zu Überspezialisierung (CYPRIS 2000, S. 22 ff.) in linear optimierten Systemen verhindern. Gleichzeitig werden Nischenprodukte erst ab einem gewissen Umfang ins Produktionsprogramm genommen.

Die Frage, welche Produktionsverfahren überhaupt in Betracht gezogen werden, muss jeder Modellbauer für sich selbst entscheiden. Es ist jedoch klar, dass nicht alle Möglichkeiten in ein Modell integriert werden können. Der Grund hierfür ist nicht alleine die Einschränkung durch die Methode der Linearen Programmierung, sondern vielmehr der enorme Aufwand in der Datenerfassung. Zudem können auch in der Realität nicht unendlich viele Aktivitäten genutzt werden (REISCH 1968, S. 144 f.).

Als letzte Schwachstelle muss die Annahme konstanter Beschaffungs- und Absatzpreise angesehen werden. Diese besagt, dass Preise von den Umfängen der umgesetzten Produktionsverfahren unabhängig sind. Tatsächlich hat die Entscheidung des Produktionsumfangs Einfluss auf die Marktsituation und somit auch den Preis (REISCH 1962, S. 145). Abhilfe kann durch die Bildung von diversen Preisszenarien erreicht werden.

3.5 Visualisierung im GIS

Eine Möglichkeit der Darstellung der Ergebnisse eines Landnutzungsmodells sind Karten, die mit Hilfe von so genannten Geoinformationssystemen erstellt wurden. Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen zum Verständnis von GIS kurz erläutert. Neben dem allgemeinen Aufbau eines GIS wird auch auf die unterschiedlichen Ausprägungen und Datentypen eingegangen.

3.5.1 Allgemeines zu Geoinformationssystemen

Der Begriff Geographisches Informationssystem ist bereits seit 1963 bekannt und bezog sich auf den damals erstmalig durchgeführten Einsatz von elektronischer Datenverarbeitung im Zusammenhang mit raumbezogenen Daten (BILL und FRITSCH 1994, S. 1). Durch die fortwährend steigenden Anforderungen an die Aktualität und Komplexität von Kartenmaterialien ist die Umstellung auf die Methoden der elektronischen

Datenhaltung unausweichlich. Für diese speziellen EDV-Systeme hat sich im deutschen Sprachraum der Begriff Geoinformationssystem durchgesetzt und ist wie folgt definiert: „Ein Geoinformationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.“ (BILL und FRITSCH 1994, S. 5). Dieses Vierkomponenten-Modell kennzeichnet sowohl den Aufbau als auch die Aufgabenbewältigung.

Geoinformationssysteme lassen sich nach SCHILCHER und DONAUBAUER 2007 anhand von vier Merkmalen klassifizieren:

- Fachanwendung
- Lebensdauer der Geodaten
- Räumliche Ausdehnung und Datenauflösung
- Systemarchitektur

Im Fall einer Einteilung des GIS nach der Fachanwendung sind die Geoobjekte, deren Eigenschaften und Merkmale sowie die Datentypen durch den Anwender vorgegeben. Dabei ist eine Klassifizierung in fünf Obergruppen möglich: Landinformationssysteme, Rauminformationssysteme, Umweltinformationssysteme, Netzinformationssysteme und Fachinformationssysteme (vgl. Tabelle 3-6).

Tabelle 3-6: Klassifizierung von GIS nach Anwendungsgebiet

Gruppe	Aufgabe	Beispiele
Landinformationssysteme (LIS)	Sammlung an Grund und Boden gekoppelter Daten	Vermessungswesen (z. B. Liegenschaftskataster; Grundbuch)
Rauminformationssysteme (RIS)	Datensammlung zur Raumbesichtigung und Entwicklung	Raumordnungskataster; Flächennutzungsplan
Umweltinformationssystem (UIS)	Datensammlung von Daten zur Beschreibung des Zustands der Umwelt; Grundlage für Maßnahmen des Umweltschutzes	Umweltverträglichkeitsprüfungen
Netzinformationssysteme (NIS)	Dokumentation und Bearbeitung von Betriebsmitteldaten	Ver- und Entsorgungspläne
Fachinformationssysteme (FIS)	Spezialanwendungen von Geoinformationssystemen	Luftkarten zur Navigation von Flugzeugen

Quelle: eigene Darstellung nach Bill und Fritsch 1994, S. 41 ff.

Ausgehend von diesen Obergruppen lassen sich zahlreiche Anwendungsbereiche aufzählen, die durch den Einsatz von GIS unterstützt werden (z. B. Naturschutz, Land- und Forstwirtschaft, Versicherungswirtschaft, Geologie, Kommunale Anwendungen, Telekommunikation, Verkehrslogistik, etc. (GEOINFORMATIK GMBH 2005, S. 7 ff.)).

Ein weiteres Klassifizierungsmerkmal für GIS ist die Lebensdauer der zu Grunde gelegten Daten. Unterschieden werden kann hier zwischen einer temporären Speicherung der Geodaten und einer persistenten Datenhaltung (SCHILCHER und DONAUBAUER 2007). Während im ersten Fall die Daten nur für ein spezielles Projekt zusammengesucht werden und danach nicht weiter fortgeführt werden, hat die Qualität der Datenbank im zweiten Fall Vorrang. Die Aktualisierung der Datengrundlage ist hierbei ein entscheidendes Qualitätskriterium.

Verschiedene GIS unterscheiden sich zudem durch ihre räumliche Ausdehnung und ihre Datenauflösung (SCHILCHER und DONAUBAUER 2007). Die räumliche Ausdehnung umfasst dabei sowohl die Größe des Systems (globales, regionales, lokales GIS) als auch die Anzahl der erfassten Dimensionen (2 D, 2 D + Zeit, 3 D, 4 D). Die geometrische Auflösung der Daten ist an den verwendeten Maßstab gekoppelt.

Als letztes Klassifizierungsmerkmal beschreiben SCHILCHER und DONAUBAUER (2007) die Systemarchitektur. GIS-Software lässt sich hinsichtlich ihrer Systemarchitektur verschiedener Kategorien zuordnen. So genannte Desktop-GIS sind durch eine Integration der Datenhaltung und der Anwendungssoftware an einen Arbeitsplatz gekennzeichnet. Sie bieten die wichtigsten GIS-Funktionen, erreichen aber nicht den Funktionsumfang von High-End-GIS, die nach dem Client/Server-Modell aufgebaut sind. Hier erfolgt die Datenhaltung auf leistungsfähigen Rechnern (Server), die über ein Datenbank-Managementssystem (DBMS) von speziellen Arbeitsplätzen (Clients) aufgerufen werden können. Durch einen modularen Aufbau und die Erweiterbarkeit des Systems wird die Funktionalität von Desktop-GIS bei weitem übertroffen. Neuerdings immer weiter verbreitet ist die neue Generation von GIS. Hierbei handelt es sich um Web-GIS und Mobile GIS. Bei einem Web-GIS werden dabei die Geodaten auf einem Server im Internet gespeichert. Der Zugriff erfolgt über das Internet über einen einfachen Browser und erfordert keine spezielle GIS-Software. Beispiele hierfür sind im Internet verfügbare Routenplaner oder auch der frei zugänglich EarthViewer.

3.5.2 Datentypen in Geoinformationssystemen

Das wesentliche Element von Geodaten ist der Raumbezug, der jedem untersuchten Datensatz einzeln zugeordnet wird (SCHILCHER und DONAUBAUER 2007), wobei es grundsätzlich zwei Arten gibt, die in einem GIS zum Einsatz kommen: Vektor- und Rasterdaten (GEOINFORMATIK GMBH 2005, S. 23 ff.). Vektordaten werden als Vektoren gespeichert. Hierfür existieren Punkt-, Linien- und Flächenobjekte (Polygone), die durch xy-Koordinaten genau definiert sind. Durch anfügen von Objektattributen lassen sich zu den einzelnen Elementen thematische Informationen wie Bezeichnung, Länge, Fläche, etc. ablesen (SCHILCHER und DONAUBAUER 2007). Eine spezielle Form von Vektordaten ist das TIN (trianguläres irreguläres Netzwerk), mit dessen Hilfe Geländeformen abgebildet werden können. Dazu werden die Punktdaten (im Vektormodell) zu sich nicht überlappenden Dreiecken verbunden. Zu jedem Dreiecksknoten können dann Attribut-

werte, u. a. auch der z-Wert, festgelegt werden. Die Vor- und Nachteile solch einer Vektorstruktur sind in Tabelle 3-7 zusammengefasst. Die Firma *ESRI* hat hierzu für ihre Produktfamilie *ArcGIS* das Datenformat *shape* eingeführt, das sich zu einem Standardformat für GIS-Anwendungen entwickelt hat.

Rasterdaten entstehen meist durch Georeferenzierung von analogen Karten oder Bildern (SCHILCHER und DONAUBAUER 2007). Solche Bilder bestehen aus einer definierten Zahl von Bildpunkten (Pixel). Dabei dient der linke obere Bildpunkt als Aufhängepunkt, dessen korrekt räumliche Lage definiert ist. Durch die Kenntnis der Größe eines Pixels und die Anzahl der Pixel in x- bzw. y-Richtung ist jeder Bildpunkt räumlich festgelegt. Durch Zuordnung eines Zahlenwertes (z. B. Höhe, Farbe) können nun Informationen dargestellt werden. Eine Besonderheit stellen hierbei so genannte Griddaten dar. Es handelt sich hierbei ebenfalls um Rasterdaten, die allerdings in diesem speziellen Fall kein Bild als Ausgangsbasis besitzen, sondern rein modellhaft konstruiert werden (GEOINFORMATIK GMBH 2005, S. 24).

Tabelle 3-7: Vergleich von Vektor- und Rasterdaten

Vektordaten	Rasterdaten
Vorteile	Vorteile
höhere Punktgenauigkeit	räumliche Analysen
weniger Speicherplatzbedarf	zeitliche Veränderungen (Vegetation, Waldschäden, Gewässerverunreinigungen usw.)
effizienter Zugriff und höhere Performance	einfache Datenstruktur (Pixelmatrix)
einfache Generierung der Topologie	Überlagerungen bei Visualisierungen
homogene Datenbestände bei Transformation	geringerer Erfassungsaufwand
leichte Verbindung von Sachdaten	
Nachteile	Nachteile
hohe Rechenzeiten bei Analysen (Verschneidungen)	unklare Grenzdefinition (Punkt/Pixel)
hoher Erfassungsaufwand im großmaßstäbigen Bereich (Zeit und Kosten)	begrenzte Auflösungsgenauigkeit
	großes Datenvolumen

Quelle: SCHILCHER und DONAUBAUER 2007

Aus den oben genannten Vor- und Nachteilen der zwei Datentypen lässt sich ihr jeweiliges Haupteinsatzgebiet ableiten. So werden Vektordaten im großmaßstäbigen Bereich aber auch in kleineren Maßstäben herangezogen, wenn es vor allem um die strikte Abtrennung von Grenzgebieten geht. Rasterdaten kommen vorzugsweise im kleineren Maßstab in den Bereichen Umweltanalyse, Planung und Satellitenbildkartographie zum Einsatz. Die aktuelle Entwicklung strebt die Kombination beider Systeme in einem hybriden graphischen System (ROHIERSE 2003, S. 50).

3.5.3 Landnutzungsmodelle als Anwendung von Geoinformationssystemen

Tabelle 3-6 zeigt wie groß das Einsatzspektrum für GIS-Anwendungen ist. Auch in der Landnutzungsmodellierung werden solche Systeme eingesetzt. Dabei werden GIS nicht

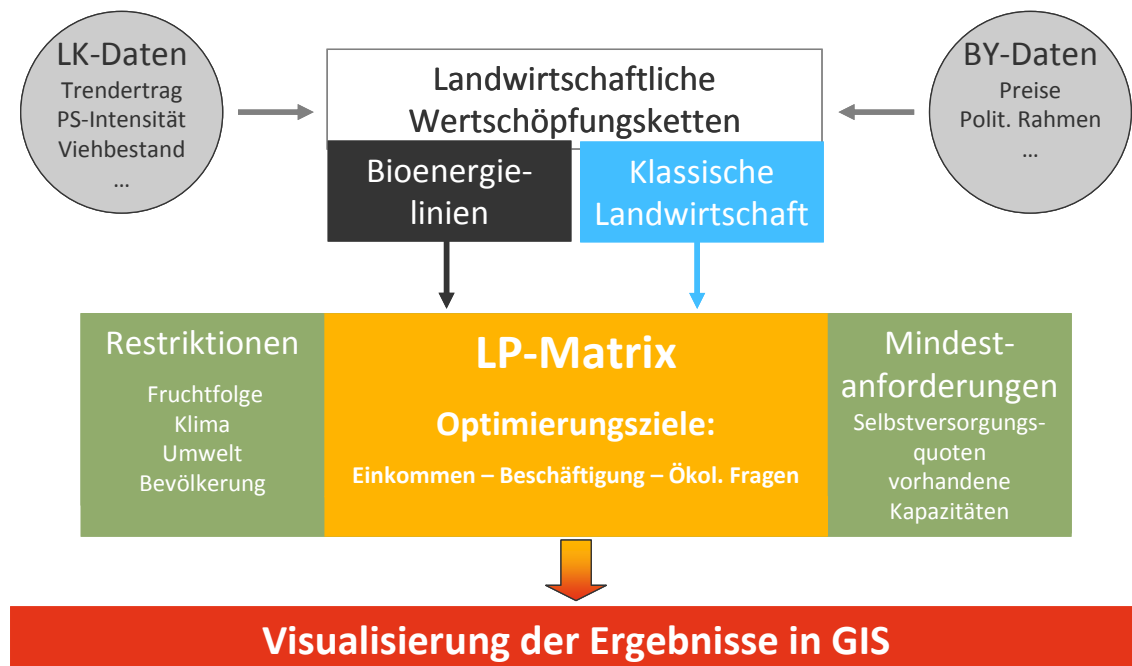
nur als Instrumente zur Visualisierung von Ergebnissen gesehen, sondern vielmehr als Instrument der interdisziplinären Zusammenarbeit (DABBERT et al. 1999a, S. 183 ff.). Anhand des Landnutzungsmodells *KRAICHGAU* zeigen die Autoren, dass mit Hilfe von GIS die Möglichkeit besteht, sowohl naturwissenschaftliche Modelle (z. B. Erosion, Nährstoffeintrag, Stickstoff) als auch ökonomische Modelle zusammenzuführen. Auch das in Kapitel 2.4 beschriebene Landnutzungsmodell *PROLAND* nutzt ein GIS zur Abschätzung der Ertragserwartung in Abhängigkeit von den räumlichen Gegebenheiten (Witterung, Boden, Höhenmodell) zusätzlich zur Visualisierungsfunktion von GIS (MÖLLER et al. 1999).

Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Modell *LaNuOpt* nutzt ebenfalls die Funktionen eines GIS, um die ermittelten Ergebnisse flächentreu wiederzugeben. Hierbei kommen so genannte Vektordaten im *shape*-Format zum Einsatz.

3.6 Überblick über den Modellaufbau

Der Gesamtüberblick über *LaNuOpt* ist in Abbildung 3-4 dargestellt. Der erste zentrale Block ist die Modellierung der landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten. Darin sind sowohl Produktionsverfahren der klassischen Landwirtschaft zur Bereitstellung von Nahrungsmitteln als auch Verfahren zur Erzeugung von Bioenergie enthalten. Dabei kann unterscheiden werden zwischen Verfahren, bei denen der Landwirt selbst Energie erzeugt (v. a. Biogasproduktion) bzw. Rohstoffe zur Energiegewinnung liefert.

Abbildung 3-4: Aufbau des Modells *LaNuOpt*



Anmerkungen:

LK Landkreis

BY Bayern

Quelle: eigene Darstellung

Bei der Modellierung fließen verschiedene „Datentypen“ mit ein. Zum einen Daten, die im ganzen Gebiet von Bayern gleich sind (BY-Daten). Dazu zählen vor allem die Preise, sowohl für Produktionsfaktoren als auch Produkte eines Produktionsverfahrens. Es wird also angenommen, dass beispielsweise die Preise für Düngemittel, Marktfrüchte und Maschinen bzw. Gebäude bayernweit gleich sind. Zum anderen Daten, bei denen sich die verschiedenen Regionen, beispielsweise die Landkreise, in ihren Eingangsparmetern unterscheiden (LK-Daten). Darunter fallen u. a. die Trenderträge der einzelnen Kulturen, die Pflanzenschutzintensität oder aber die bestehenden Viehbestände. Welche Parameter genau regionsspezifisch erfasst werden, wird in Kapitel 4 eingehend erläutert.

Die modellierten Wertschöpfungsketten werden in parametrisierter Form als konkurrierende Aktivitäten in ein LP-Tableau implementiert. Wie bereits erwähnt, bedingt ein solches LP-Tableau ausreichen Restriktionen (z. B. Fruchtfolge) um die Realität besser abbilden zu können, wobei hierbei z. T. regionsspezifische Angaben herangezogen werden. Auf der anderen Seite können neben diesen Obergrenzen auch definierte Mindestanforderungen eingebunden werden, um beispielsweise die Nahrungsmittelversorgung sicherzustellen.

Sind alle Restriktionen bzw. Mindestanforderungen je nach Optimierungsziel angepasst, kann die eigentliche Optimierung mittels eines Rechenprogramms erfolgen. Die Ergebnisse lassen sich dann in einem GIS anschaulich darstellen.

3.7 Zusammenfassung und Einschätzung des Modellansatzes

Zum Abschluss dieses Kapitels sollen die darin enthaltenen Erkenntnisse nochmals zusammengefasst werden. Zur Ermittlung künftiger Landnutzungsstrategien dient das Landnutzungsmodell *LaNuOpt*, mit dessen Hilfe das Verhalten der Landwirte in Bayern simuliert und Auswirkungen von Änderungen bei den Rahmenbedingungen (Märkte oder politische Maßnahmen) analysiert werden können.

Bei dem neu erstellten Landnutzungsmodell handelt es sich vom Grundsatz her um einen komparativ-statischen Ansatz, wobei eine Dynamisierung mit Hilfe des Einbaus einer Bodenrente II erfolgt. Allgemein ist die Bodenrente der Betrag, der einem Landwirt nach Abzug aller Kosten, mit Ausnahme der Flächenkosten, zur Entlohnung der Fläche zur Verfügung steht. Dabei werden ihm allerdings die staatlichen Transferzahlungen gutgeschrieben. Die Erlöse und Kosten eines Veredelungsverfahrens werden dabei auf die zu Grunde gelegten Flächenansprüche überwält. Der große Vorteil ist die Möglichkeit eines direkten Vergleichs der Wettbewerbskraft aller landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, da die Bodenrente immer auf ein Hektar bezogen ist. Im Gegensatz zur Deckungsbeitragsrechnung sind zudem auch die fixen Kosten enthalten, so dass langfristige Planungen abgebildet werden können.

Um die Realität besser darstellen zu können, ist der Einbau eines Elements nötig, das auch kurzfristig Entscheidungen ermöglicht. Der ausschlaggebende Punkt ist hier die Berücksichtigung so genannter versunkener Kosten, die der Grund dafür sind, dass Investitionsentscheidungen nicht so getroffen werden, wie es die Bodenrente verlangt. Vom allgemeinen Begriff der Bodenrente (=Bodenrente I) wird deswegen eine weitere Kenngröße abgeleitet, nämlich die Bodenrente II. Dort sind diese versunkenen Kosten (z. B. Gebäudekosten, Quotenkosten) nicht von den Erlösen abgezogen.

Im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* findet die Bodenrente II für die bestehende Agrarstruktur ihre Anwendung, während für Neu- oder Ersatzinvestitionen bzw. bei freien Kapazitäten die Bodenrente I als Entscheidungsgrundlage Gültigkeit besitzt. Erstmals erfolgt also eine quasi-dynamische Betrachtung für die wichtigsten Produktionsverfahren inkl. der Bioenergieverfahren in der Landwirtschaft.

Die Landnutzung der ausgewählten Regionen wird anhand komplexer Gleichungssysteme mit Hilfe Linearer Programmierung auf Basis einer möglichst hohen Gesamtbodenrente simultan optimiert, wobei die Schwachstellen dieser Methodik mit umfassenden Restriktionen ausgeschaltet werden. Die Vorteile des Landnutzungsmodells *LaNuOpt* sind in Tabelle 3-8 zusammengefasst.

Tabelle 3-8: Vor- und Nachteile des Landnutzungsmodells LaNuOpt

Vorteile
Landnutzungsmodellierung sowohl kleinräumig als auch großflächig möglich
Boden als begrenzender Faktor als gemeinsame Entscheidungsbasis
Definition der Bodenrente nach Vorgaben der DLG-Betriebzweigabrechnung
Vergleichbarkeit der Wettbewerbskraft aller Produktionsverfahren auf Basis der Bodenrente
Bodenrente als Vollkostenansatz geeignet für langfristige Prognosen
Berücksichtigung der versunkenen Kosten und damit realistischere Entscheidungsabbildung durch Implementierung der Bodenrente II
Lineare Programmierung als Lösungsansatz der Optimierung etablierte Methodik zur Verteilung knapper Ressourcen

Nachteile
Aggregationsfehler lassen sich nicht vermeiden
Definition der Wertschöpfungsketten insbesondere der Flächenansprüche gibt nicht unbedingt die Realität wieder
Integration der kalkulatorischen Kostenansätze (Arbeit und Kapital)
Schwachstellen der Linearen Programmierung
Einheitliche Mechanisierung über Verfahren und Regionen hinweg
Komparativ-statisches Modell ohne Marktanpassung

Quelle: eigene Darstellung

Auch das vorliegende Modell *LaNuOpt* weist aufgrund seiner Spezifikationen Problemfelder auf. So lässt sich der in Landnutzungsmodellen oft auftretende Aggregationsfehler nicht komplett vermeiden. Allerdings ist der Ansatz mittels der Bodenrente weniger anfällig als der Ansatz mittels Regionshof. Bei der Auswahl und Definition der Wertschöpfungsketten, muss der Konstrukteur des Modells diesen Fehler zwangsläufig in Kauf nehmen, sobald die kleinste Ebene verlassen wird. Im Modell wird zudem vereinfachend eine einheitliche Mechanisierung über alle Verfahren und Regionen hinweg angenommen. Somit ist auch nicht unbedingt sichergestellt, dass die Produktionsverfahren, wie sie im Modell vorkommen, alle in der Realität vorkommenden Eventualitäten abbilden. Wichtig ist aber eine konsistente Modellierung über alle Produktionsverfahren hinweg, was durch die Anlehnung an das Rechenschema der DLG-Betriebszweigabrechnung erreicht wird.

Wie in der DLG-Betriebszweigabrechnung werden auch im Modell *LaNuOpt* die kalkulatorischen Ansätze für das eingesetzte Kapital und die eingebrachte eigene Arbeit berücksichtigt. Die Festlegung der Ansätze kann nur über Annahmen seitens des Modellentwicklers geschehen. Gleichzeitig ist dieser Umstand auch eine Stärke des Modells, da die Arbeitsplatzsituation der jeweiligen Region über den Lohnansatz eingebracht wird.

Abschließend muss festgehalten werden, dass es sich bei dem Modell, trotz des Einbaus der Bodenrente II als dynamischem Element, immer noch um ein komparativstatisches Modell handelt. Damit haben Entwicklungen innerhalb des Untersuchungszeitraums keinen Einfluss auf das Endergebnis. Wird beispielsweise ein Verfahren im Laufe des Untersuchungszeitraums ausgeweitet, wird die u. U. folgende Marktanpassung nicht vorgenommen, da ein Marktmodell mit jährlicher Anpassung nicht integriert ist. Dessen Einbau wäre in der vorgegebenen Projektlaufzeit nicht möglich gewesen.



4 Umsetzung der Methodik im Modell

Im folgenden Abschnitt wird die Umsetzung der in Kapitel 3 vorgestellten Methodik eingehend erläutert. Als Erstes wird auf die Modellierung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren innerhalb ausgewählter Wertschöpfungsketten eingegangen. Des Weiteren wird die Berechnung der Bodenrenten genauer erläutert, bevor die Produktionsverfahren in das LP-Tableau eingebettet werden. Außerdem wird in diesem Kapitel das integrierte Treibhausgasinventar erläutert sowie die Funktionsweise des Modells anhand eines Minibeispiels dargestellt.

4.1 Modellierung der Produktionsverfahren

Bevor mit der eigentlichen Definition der Produktionsverfahren begonnen werden konnte, musste festgelegt werden, welche Produktionsrichtungen im Landnutzungsmodell überhaupt Berücksichtigung finden sollen.

4.1.1 Auswahl der Wertschöpfungsketten

Sowohl aus Gründen der Übersichtlichkeit, aber auch der Verfügbarkeit von Daten, ist es zwingend erforderlich, sich auf eine Auswahl von Verfahren zu konzentrieren. Tabelle 2-8 auf Seite 19 zeigt, dass aktuelle Landnutzungsmodelle größtenteils weniger als 30 Produktionsverfahren beinhalten. Die Ausnahme ist hier *RAUMIS* mit fast 100 Verfahren, wobei hier auch verschiedene Intensitätsstufen dazugezählt sind. Auch das Modell *LaNuOpt* beschränkt sich auf die wesentlichen bayerischen Produktionstypen.

Grundsätzlich kann zwischen zwei Hauptbereichen unterschieden werden. Zum einen gibt es Verfahren, bei denen die auf einem Hektar produzierten landwirtschaftlichen Güter direkt als Marktfrucht an den nachgelagerten Sektor verkauft werden. Zum anderen werden die geernteten Produkte im eigenen landwirtschaftlichen Betrieb veredelt (Veredelungsverfahren).

Marktfrüchte

Zuerst sollen die berücksichtigten Marktfrüchte näher betrachtet werden, die in Tabelle 4-1 zusammengefasst sind.

Tabelle 4-1: Landwirtschaftliche Marktfrüchte und deren Differenzierung

Kultur	Differenzierung
Winterweizen	Brotweizen, Futtergetreide, Getreide für Ethanol
Wintergerste	Futtergetreide, Getreide für Ethanol
Winterroggen	Brotroggen, Getreide für Ethanol
Triticale	Futtergetreide, Getreide für Ethanol
Sommergerste	Braugerste, Futtergetreide
Hafer	Futtergetreide
Körnermais	Futtergetreide, Getreide für Ethanol
Winterraps	Speiseöl, Raps für RME, Raps für Rapsölkraftstoff
Sonnenblumen	Speiseöl
Kartoffeln	Speisekartoffeln, Stärkekartoffeln
Zuckerrüben	Zuckergewinnung, Zuckerrüben für Ethanol
Ackerbohnen	Futter
Futtererbsen	Futter
Brache	Acker, Grünland intensiv, Grünland extensiv
Kup	Hackschnitzel zur Wärmegewinnung bzw. BTL-Erzeugung
Silomais	Verkauf an Biogasanlagen
Getreide-GPS	Verkauf an Biogasanlagen
Grassilage	Verkauf an Biogasanlagen

Anmerkung:

KuP = Kurzumtriebsplantage

Quelle: eigene Darstellung

Wie zu sehen ist, handelt es sich um die typischen bayerischen Kulturen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG 2009), wobei z. B. Sommerungen, wie Sommerweizen oder Sommerraps, nicht berücksichtigt werden, da deren Anbauumfänge zu gering sind. Auch weitere unübliche Kulturen mit geringen Anbauumfängen (z. B. Phacelia, Topi Nambur, Hirse, etc.) werden ausgeklammert, da sie ein geringes Gewicht in der Landnutzung Bayerns haben. Die rechte Spalte zeigt die Differenzierung der einzelnen Kulturen, je nach folgender Verwendung im nachgelagerten Bereich. Die aufgeführten Kulturen weisen bis zu drei verschiedene Nutzungsmöglichkeiten auf. Oft wird, wie beim Weizen, zwischen Anbau zur Nahrungsgewinnung, Anbau zur Futterzwecken und Anbau als Energieträger unterschieden. Die einzelnen Unterglieder differieren hierbei sowohl auf pflanzenbaulicher aber auch ökonomischer Ebene. Je nach

Nutzungsrichtung existieren u. U. spezielle Marktpreise. So wird für Futtergetreide weniger gezahlt als für Nahrungsgetreide. Bei den Alternativen der energetischen Nutzung liegt das Problem vor, dass kein direkter Marktpreis existiert, sondern sich hier die Nachfrager auf dem Futtermittel- bzw. Nahrungsmittelmarkt bedienen. Allerdings ist es im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* optional möglich, die Wettbewerbskraft der Bioenergiebranche darzustellen. Deswegen kann hier eine maximale Zahlungsbereitschaft der Bioenergiebranche eingetragen werden, woraus sich dann eine Flächenachfrage ergibt. Ausgenommen davon sind Substratpreise für Biogasanlagen sowie Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen (KuP). Hier werden regional typische Preise unterstellt bzw. der tatsächliche Preis von Waldhackschnitzeln herangezogen.

Zu den Marktfrüchten werden ebenfalls die verschiedenen Arten der Branche hinzugezählt, da es sich hier um keine Veredelungsverfahren handelt.

Veredelungsverfahren

Zur Gruppe der Veredelungsverfahren zählen die landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, die auf der Fläche geerntete Rohstoffe zu Lebensmitteln oder Energieträgern veredeln. Zuerst wird deshalb die Produktion der Rohstoffe bzw. Substrate abgebildet, die dann innerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs an die nachfolgenden Produktionsverfahren weitergegeben werden. Auch hier ist es nicht möglich, alle im Betrieb produzierbaren Futtermittel (vgl. Tabelle 4-2) in das Modell aufzunehmen.

Tabelle 4-2: Landwirtschaftliche Futtermittel/Substrate und deren Differenzierung

Kultur	Differenzierung
Winterweizen	Futtermittel, Substrat für Biogas
Wintergerste	Futtermittel, Substrat für Biogas
Triticale	Futtermittel, Substrat für Biogas
Körnermais	Futtermittel, Futtermittel (CCM)
Ackerbohnen	Futtermittel
Futtererbsen	Futtermittel
Silomais	Futtermittel, Substrat für Biogas
Getreide-GPS	Futtermittel, Substrat für Biogas
Grassilage	Futtermittel, Substrat für Biogas; je 2 Verfahren (1 x Häckselkette, 1 x Ladewagenkette)
Frischgras	Weide extensiv, Weide intensiv, Eingrasen
Heu	Futtermittel, KULAP-Heu (Futtermittel), Substrat für Biogas
Kleegrass	Eingrasen (Futtermittel), Silage (Futtermittel), Silage (Substrat für Biogas)
Weidelgras	Eingrasen (Futtermittel), Silage (Futtermittel), Silage (Substrat für Biogas)

Quelle: eigene Darstellung

Größtenteils erfolgt die Differenzierung zwischen Nutzung als Futtermittel und Nutzung als Substrat für eine Biogasanlage. Der Grund hierfür sind u. a. die unterschiedlichen Prämien dieser Nutzungen. So ist es bei Bioenergieverfahren möglich, die so genannte Energiepflanzenprämie zu beantragen. Die Unterscheidung ist deswegen von

Bedeutung, weil die Bodenrente der Rohstoffe als Verrechnungspreis für das eigentliche Veredelungsverfahren übernommen wird (vgl. Kapitel 3.3.3). Weitere Futtermittel, wie Sojaextraktionsschrot, Mineralfutter, Milchaustauscher (MAT) oder Spezialfuttermittel werden von den Veredelungsverfahren zugekauft.

Im Modell *LaNuOpt* können die in Tabelle 4-2 aufgeführten Futtermittel/Substrate in zahlreichen Veredelungsverfahren eingesetzt werden. Zum Teil sind diese in verschiedene Leistungsstufen untergliedert oder greifen auf unterschiedliche Futtermittel/Substrate zurück (vgl. Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3: Landwirtschaftliche Veredelungsverfahren sowie deren Differenzierung

Verfahren	Leistungsstufe	Futtermittel
Milchviehhaltung	6000 kg, 8000 kg, 10.000 kg	3 Fütterungsrichtungen: Ackerfutter betont, Grünland betont, Gemischt
Färsenaufzucht		3 Fütterungsrichtungen: Ackerfutter betont, Grünland betont, Gemischt
Bullenmast		3 Fütterungsrichtungen: Ackerfutter betont, Grünland betont, Gemischt
Ochsenmast		3 Fütterungsrichtungen: Ackerfutter betont, Grünland betont, Gemischt
Weidemast		extensives Grünland, intensives Grünland
Mutterkuhhaltung		extensives Grünland, intensives Grünland
Ferkelerzeugung		Winterweizen-Wintergerste, Wintergerste-Körnermais, Wintergerste-Triticale-Ackerbohnen
Schweinemast		Winterweizen-Wintergerste, Wintergerste-Körnermais, Wintergerste-Triticale-Ackerbohnen
Legehennen, Junghenne, Masthähnchen		
Biogaserzeugung	150 kW, 300 kW	Silomais, Getreide-GPS, Grassilage, Heu, Kulap-Heu, Substrat-Mix (Silomais, Getreide-GPS, Grassilage, Wirtschaftsdünger)

Quelle: eigene Darstellung

Bei den Veredelungsverfahren, die eine Futter-/Substratmischung aufweisen, ist das Mischungsverhältnis fest vorgegeben. Der Ansatz einer Zusammenstellung der Ration durch Lineare Programmierung wurde wieder fallengelassen. Der nötige Flächenbezug auf eine Flächeneinheit (Hektar) bei gleichzeitig sinnvoll gestalteter Ration war nicht immer gewährleistet. In der Biogaserzeugung ist z. T. eine in der Praxis nicht übliche Monovergärung angenommen. Beim Substratmix ist eine ausreichende Menge an Wirtschaftsdünger enthalten, um den Güllebonus (BGBL 2008, S. 2081 ff.) zu erhalten. Die drei Verfahren der Geflügelhaltung sind nur über den Flächenverbrauch integriert, jedoch nicht ökonomisch, da diese Verfahren sehr volatil auf Preisänderungen reagieren.

Insgesamt sind also im Modell *LaNuOpt* 24 Marktfruchtbauproduktionsverfahren enthalten, wobei zehn weitere Energieoptionen (Ethanol aus verschiedenen Rohstoffen, Pflanzenöl, Bio-

diesel, BTL, Wärme) zugeschaltet werden können. Weiterhin existieren 30 Futtermittel-/Substratverfahren der pflanzlichen Produktion. Alles in allem werden demnach 64 Verfahren des Pflanzenbaus unterschieden. Dazu kommen noch 31 Tierhaltungsverfahren (exklusive der drei Geflügelhaltungen) sowie 18 Biogasverfahren. Ergibt zusammen 113 Produktionsverfahren bzw. Wertschöpfungsketten.

4.1.2 Datenquellen bei der Definition der Produktionsverfahren

Sämtliche landwirtschaftliche Produktionsverfahren im Modell *LaNuOpt* sind auf der Basis der Daten der LfL (2009) und des KTBL (2006a) konstruiert. Folgende, in Tabelle 4-4 dargestellten Quellen, wurden bei der Definition der Produktionsverfahren federführend herangezogen. Im Einzelnen war es unerlässlich weitere Datenquellen hinzuzuziehen. Die ursprünglichen Produktionsverfahren der beiden Ausgangsquellen sind dadurch in gewissem Maße abgeändert worden, so dass eine bessere Differenzierung der Verfahren möglich ist. Außerdem ist es dadurch gelungen, spezifische Details und Zusatzinformationen einzubauen, die zu einer realistischeren Abbildung der Landnutzung führen.

Tabelle 4-4: Hauptdatenquellen zur Definition der Produktionsverfahren

Quelle	Information
FNR 2005ab	Biogaserzeugung
Kirchgessner 2000	Futtermittelrationen
KTBL 2005	Lagerhaltung
KTBL 2006ab	Pflanzenbau und tierische Verfahren (Gesamtverfahren)
KTBL 2007	Gebäude
KTBL 2008	Biogaserzeugung
LfL 2006	Wirtschaftsfutterbereitstellung
LfL 2007ab	Futtermittelrationen
LfL 2007c	Düngung
LfL 2009	Pflanzenbau und tierische Verfahren (Gesamtverfahren)

Quelle: eigene Darstellung

Weiterhin waren Abänderungen bei den Originalversionen nötig, um alle 113 Produktionsverfahren nach derselben Methodik aufzubauen und dementsprechend vergleichbare Bodenrenten zu erhalten. Die in Tabelle 4-4 aufgeführten weiteren Quellen dienen hauptsächlich dazu, diese Konsistenz zu erreichen, indem z. B. Futtermittelrationen eigens nachgerechnet und gegebenenfalls umgestellt wurden. Abschließend ist durch den einheitlichen Bezug zur Fläche in einem Modell auf Basis der Bodenrente eine Abänderung v. a. tierischer Verfahren, die oft je Stallplatz oder Tier kalkuliert werden, nötig.

4.1.3 Mechanisierung der Produktionsverfahren

Um eine Konsistenz bei den pflanzenbaulichen Verfahren zu garantieren, wird die in der KTBL-Datensammlung (KTBL 2006a) vorgeschlagene Mechanisierung nicht einfach

übernommen, da darin oftmals verschiedene Maschinengrößen in konkurrierenden Verfahren herangezogen werden. Zur Gleichstellung aller Anbauverfahren ist im Modell ein einheitlicher Maschinenbestand zu Grunde gelegt (vgl. Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5: Verwendete Eigenmechanisierung im Modell LaNuOpt

Arbeitsgang	Gerät	Beschreibung	Leistung Schlepper/Selbstfahrer
Bodenbearbeitung			
Grubbern	Grubber	3 m	83 kW (113 PS)
Pflügen	Anbaudrehpflug	4 Schar; 1,4 m	83 kW (113 PS)
Saatbettbereitung	Saatbettkombination	5 m	83 kW (113 PS)
Saat			
Säen	Sämaschine	pneumatisch; 4,5 m	67 kW (91 PS)
Säen	Einzelkornsäegerät	6 Reihen; 4,5 m	54 kW (73 PS)
Legen	Kartoffellegegerät	4 Reihen	67 kW (91 PS)
Säen	Durchsaatmaschine	3 m	83 kW (113 PS)
Düngung			
Düngen	Anbaudüngerstreuer	1,5 m ³	67 kW (91 PS)
Kalken	Anhängestreuer	6 m ³	54 kW (73 PS)
Gülleausbringung	Pumptankwagen	10 m ³	83 kW (113 PS)
Pflanzenschutzmaßnahmen			
Spritzen	Anbauspritze	1.500 l; 18 m	67 kW (91 PS)
Häufeln	Häufelmaschine	4 Reihen	67 kW (91 PS)
Mulchen	Mulchgerät	3 m	83 kW (113 PS)
Walzen	Grünlandwalze	5 m	67 kW (91 PS)
Striegeln	Striegel	6 m	54 kW (73 PS)
Ernte			
Mähdrusch	Mähdrescher	4,5 m	125 kW (170 PS)
Häckseln	Selbstfahrer	6 Reihen/5,2 m	250 kW (340 PS)
Roden	Kartoffelroder	1 Reihe	67 kW (91 PS)
Mähen	Rotationsmäherwerke	4,5 m	83 kW (113 PS)
Wenden	Kreiselzettwender	7,5 m	67 kW (91 PS)
Schwaden	2-Kreiselschwader	6,5 m	67 kW (91 PS)
Pressen	Rundballenpresse	1,5 m	67 kW (91 PS)
Laden	Ladewagen	28 m ³ , 7 t	83 kW (113 PS)
Festfahren	Radlader	13,5 t	105 kW (143 PS)
Transport			
Getreidetransport	Doppelzug 3-Seitenkipper	10 (5) t	67 kW (91 PS)
GPS-Transport	Häckselwagen	18 (10) t	83 kW (113 PS)

Quelle: eigene Darstellung

Die rechte Spalte von Tabelle 4-5 zeigt, dass zusammenpassende Maschinen ausgewählt sind. Alle Arbeitsgänge können mit drei Schleppern mit 54 kW, 67 kW bzw. 83 kW durchgeführt werden. Zusätzlich verfügt der 54 kW-Schlepper über einen Frontlader zur Befüllung der Sämaschine oder der Düngestreuer. Auch die einzelnen Arbeitsgänge sind nun aufeinander abgestimmt. Eine Sämaschine mit einer Arbeitsbreite von 4,5 m erfordert dazu passende Größen bei der Düngung bzw. dem Pflanzenschutz,

da hier üblicherweise mit Fahrgassen gearbeitet wird. Wie an der Mechanisierung erkennbar, wird eine wendende Bodenbearbeitung mit nachfolgendem Einsatz einer Saatbettkombination unterstellt.

Für nahezu alle Produktionsverfahren ist eine Eigenmechanisierung an der erforderlichen Abschreibungsschwelle vorgesehen, wodurch die Vergleichbarkeit konkurrierender Verfahren gewährleistet wird. Hierfür können die fixen Kosten der Mechanisierung die Werte des KTBL (2006a) übernommen werden. Einzig das Roden und Laden von Zuckerrüben erfolgt überbetrieblich, so dass dort der Maschinenringsatz anfällt. Die zugehörigen Arbeitszeiten sind wiederum aus der KTBL Datensammlung (KTBL 2006a) entnommen.

4.1.4 Gebäude der Produktionsverfahren

Ein weiterer entscheidender Punkt ist die Festlegung der Gebäudeausstattung der einzelnen Produktionsverfahren (siehe Tabelle 4-6). Dies ist besonders deshalb nicht einfach, da Änderungen in der Gebäudekapazität bzw. –ausstattung direkt zu Verschiebungen bei den Kosten führen.

Tabelle 4-6: Bauliche Anlagen (ohne Futterlager) und deren Investitionsbedarf im Modell LaNuOpt

Verfahren	Gebäudeart	Kapazität [Plätze bzw. kW]	Investitionsbedarf [€/Platz bzw. kW]	Jährliche Kosten [€/Jahr*Einheit]
Milchviehhaltung	Liegeboxenlaufstall mit Flüssigmist 2x6 FGM	103	3.730	390
Färsenaufzucht	Gruppenbucht mit Spaltenboden und Liegeboxen	87	2.226	198
Rindermast	Gruppenbucht mit Spaltenboden und Treibmist	140	1.920	189
Mutterkuhhaltung	Tretmiststall planbefestigt	110	2.583	317
Ferkelerzeugung	1-Wochen-Rhythmus, 28 Tage	320	2.058	207
Schweinemast	Wärme gedämmter Stall, Vollspalten, Großgruppen	960	352	35
Biogaserzeugung	1 Fermenter, 1.300 m ³	150	3.506	435
	2 Fermenter, 2.200 m ³	300	2.759	330

Anmerkung:

FGM = Fischgrätmelkstand

Quelle: eigene Darstellung nach KTBL 2007a; KTBL 2006a

Als Basis dient hier das Kalkulationstool Baukost 2.2 (KTBL 2007a) sowie die Gebäudeauswahl des KTBL (2006a) für die jeweiligen Verfahren. Bei der Größenordnung handelt es sich um relativ groß dimensionierte Gebäude. Neuinvestitionen werden aber durchaus in dieser Größenordnung getätigt. Außerdem ist die Datenlage bei kleineren Einheiten relativ schlecht. Auf die bestehende Wirtschaftsstruktur, mit meist geringeren Kapazitäten, hat diese Annahme keine Auswirkungen, da hier die Bodenrente II maßgeblich ist und dort die Gebäudekosten als versunkene Kosten nicht enthalten sind (vgl. Kapitel 3.3.4).

Bei den angeführten Gebäuden sind die Kosten für das Futter- bzw. Substratlager noch nicht berücksichtigt. Je nach Produktionsverfahren ergibt sich ein unterschiedlicher Raumbedarf zur Unterbringung der jeweiligen Futtermittel bzw. Substrate. Der Raumbedarf ist dabei von der Lagerungsdichte abhängig. Bei Silage bewegt sie sich, je nach TM-Gehalt des Ernteprodukts, zwischen 600 und 850 kg/m³ (KTBL 2005, S. 537), woraus sich ein Lagerraum von 1,2-1,6 m³/t ergibt. Als Investitionsbedarf werden 20-27 €/m³ angesetzt (KTBL 2006b, S. 237 ff.). Für Heu und Stroh liegt der Raumbedarf bei 10 m³/t und die Investitionssumme bei 35 €/m³.

4.1.5 Futtermittelrationen und Substratwahl in den Veredelungsverfahren

Die Bodenrente der Veredelungsverfahren wird, wie bereits beschrieben, über die benötigte Futter- bzw. Substratfläche auf die Flächeneinheit umgelegt. Da sich Tiere nicht nur von einem Futtermittel ernähren können, werden hier Rationen entworfen, die den Bedarf der jeweiligen Tierart decken. In der Biogaserzeugung ist theoretisch eine Monovergärung einzelner Substrate möglich. Ergänzend ist dennoch ein Substratmix implementiert, um die Auswirkungen des Güllebonus des neuen EEG nachvollziehen zu können.

In der Tierhaltung werden dem Modell zu jeder Tierart (vgl. Tabelle 4-3) drei Fütterungsrationen alternativ zur Verfügung gestellt. Dabei ist immer eine ausreichende Versorgung mit Energie und Eiweiß gewährleistet. Die Darstellung aller Rationen wäre zu umfangreich, so dass die Rationsberechnung exemplarisch an einer Milchkuh mit einer Leistung von 8.000 kg Milch pro Jahr veranschaulicht werden soll (vgl. Tabelle 4-7). Die Rationen unterscheiden sich hauptsächlich bei den Grundfuttermitteln. Während die grünlandbetonte Ration ausschließlich auf Grundfuttermittel vom Grünland zurückgreift, werden bei den beiden anderen Ackerfuttermittel einbezogen. Bei der ackerbetonten Fütterung kommt nur noch das Heu vom Grünland. Das benötigte Getreide als Leistungskraftfutter wird selbst angebaut bzw. zugekauft (grünlandbetonte Ration). Damit ist gewährleistet, dass auch in Grünlandregionen, wie z. B. dem Berchtesgadener Land, eine Milchviehhaltung möglich ist, da dort nicht ausreichend Ackerfläche für den Getreideanbau zur Verfügung steht. Der Preis für zugekauftes Getreide orientiert sich am Marktpreis für Futtergetreide, der in der Regel höher liegt als der

Preis des eigenproduzierten Getreides. Sojaextraktionsschrot wird zur Aufrechterhaltung der Eiweißversorgung eingesetzt und wird bei allen drei Rationen zugekauft.

Tabelle 4-7: Alternative Rationen einer Milchkuh (8.000 kg Milch pro Jahr) im Modell LaNuOpt

	Ackerfutterbetont	Grünlandbetont	Mischung
Grundfutteraufnahme [kg TM/Tag]	12,9	12,9	12,9
Grundfuttermittel I (Anteil am Grundfutter) [%]	Kleegras (50 %)	Grassilage (30 %)	Grassilage (50 %)
Grundfuttermittel II (Anteil am Grundfutter) [%]	Silomais (45 %)	Frischgras (60 %)	Silomais (40 %)
Grundfuttermittel III (Anteil am Grundfutter) [%]	Heu (5 %)	Heu (10 %)	Heu (10 %)
Getreide [kg FM/Tag]	3,2	3,3	3,1
Sojaextraktionsschrot [kg FM/Tag]	1,1	1,1	1,1

Quelle: eigene Berechnungen nach LFL 2007bc; LFL 2006; KTBL 2006a; DLG 2005; KIRCHGESSNER 2000

In Abhängigkeit der unterstellten Futterrationen ergeben sich spezifische Flächenansprüche der einzelnen Tiereinheiten bzw. einem Kilowatt elektrischer Leistung einer Biogasanlage. Diese sind in Tabelle 4-8 vergleichend gegenübergestellt. Dabei handelt es sich um den Flächenbedarf inkl. dem Getreideanteil des Kraftfutters. Der Flächenanspruch von Sojaextraktionsschrotschrot im Ausland wird hierin nicht dargestellt.

Tabelle 4-8: Flächenbedarf ausgewählter Veredelungsverfahren im bayerischen Durchschnitt

Produktionsverfahren	Futtermittel/Substrate		
	Ration 1	Ration 2	Ration 3
Tierverfahren [ha/Tierplatz]			
Milchkuh (6.000 kg)	0,69	1,09	0,61
Milchkuh (8.000 kg)	0,70	0,84	0,68
Milchkuh (10.000 kg)	0,77	0,83	0,74
Mastbulle	0,21	0,44	0,30
Mutterkuh	1,00	0,66	0,97
Zuchtsau	0,13	0,12	0,20
Mastschwein	0,09	0,08	0,14
Biogasproduktion [ha/kW]	Silomais	Getreide-GPS	Grassilage
150 kW	0,51	0,90	0,94
300 kW	0,56	0,97	1,03

Quelle: eigene Berechnungen

Je nach Ration bzw. Substrat ergeben sich verschieden hohe Flächenansprüche. Besonders hoch sind diese in Rationen, die hohe Anteile extensiven Grünlands enthalten. Ein Beispiel hierfür ist Ration 2 bei den Milchkühen. Bei der Biogasproduktion lässt sich

der niedrigere Flächenanspruch der kleineren Anlage mit dem Einsatz eines Zündstrahlmotors erklären, der einen höheren Wirkungsgrad aufweist und damit weniger Substrat benötigt um die gleiche Strommenge zu erzeugen.

4.2 Berechnung der Bodenrenten

Alle im Folgenden aufgeführten Preise und Kosten im Zuge der Berechnung der Bodenrente werden ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die Betriebe zunehmend optieren oder aufgrund ihrer Rechtsform der Regelbesteuerung unterliegen (KTBL 2006b, S. 9). Außerdem kann so einer Verfälschung der Ergebnisse durch unterschiedliche Steuersätze vorgebeugt werden.

4.2.1 Ermittlung der Markterlöse eines Produktionsverfahrens

Der erste Schritt bei der Berechnung der Bodenrente eines Produktionsverfahrens ist die Ermittlung der erzielbaren Markterlöse (vgl. Formel 3-2). Diese leiten sich wiederum aus der erzeugten Menge sowie dem angesetzten Marktpreis ab.

Bei den Verfahren der Pflanzenproduktion ergibt sich die erzeugte Menge entweder aus dem Trendertrag oder dem Durchschnittsertrag der jeweiligen Kultur (STATISTISCHES BUNDESAMT, versch. Jahrgänge). Der Trendertrag wird herangezogen, wenn eine statistisch signifikante Ertragsänderung im Zeitraum von 1990 bis 2008 vorliegt, d. h. die Steigung der Trendgeraden signifikant ungleich null ist. Ansonsten wird der Durchschnittsertrag dieses Zeitraums vorgegeben, da die Ertragsänderung nicht absicherbar ist (PRUSCHA 2006, S. 110 ff.). Bezogen auf Bayern ist beispielsweise der Ertragsanstieg beim Winterweizen nicht absicherbar, wohingegen dies bei Winterraps möglich ist. Eine Ausnahme ist bei dem Anbau von schnellwachsenden Hölzern, so genannten Kurzumtriebsplantagen (KuP), nötig. Da hier nur wenig Erfahrungswerte und auch keine statistischen Daten vorliegen, werden hier die Annahmen von KTBL (2006b, S. 290 ff.) herangezogen. Bei den Veredelungsverfahren orientiert sich die erzeugte Menge je Produktionseinheit an den zu Grunde gelegten Daten zur Definition der Produktionsverfahren (vgl. Tabelle 4-4). Über den Flächenanspruch der Veredelungsverfahren lässt sich dann der Ertrag je Hektar berechnen.

Die Preise der marktfähigen Produkte der einzelnen Produktionsverfahren sind folgenden Quellen entnommen: BDF versch. Jahrgänge; N. N. versch. Jahrgänge; UFOP versch. Jahrgänge; VMB versch. Jahrgänge; ZMP versch. Jahrgänge; LfL 2009; MWV 2009; BBV 2008; CARMEN 2008; LfL 2008; CARMEN 2007ab; N. N. 2007; KTBL 2006ab.

Die Vergütung des Stroms und der Wärme aus der Biogasproduktion ist im Rahmen von Gesetzen festgelegt. Bis Ende des Jahres 2008 galt hierbei das „EEG 2004“ (BGBl 2004), das vom „EEG 2009“ (BGBl 2008) abgelöst wurde. Andere Formen der Bioenergie werden aus Sicht der Landwirtschaft nicht vermarktet. Raps oder Getreide werden genauso wie Lebens- bzw. Futtermittel beim Landhändler verkauft. Ethanol- oder Bio-

dieselhersteller können/müssen ihren Rohstoff zu dem Preis kaufen, den die Nahrungsmittelbranche festlegt.

4.2.2 Öffentliche Zahlungen im Modell

Die zweite Einkommensquelle resultiert aus den öffentlichen Zahlungen. Berücksichtigt werden dabei sowohl flächengebundene als auch flächenunabhängige Zahlungen (vgl. Kapitel 3.3.3), wobei die flächenunabhängigen Prämien wieder über die zu Grunde liegende Fläche umgelegt werden.

Im Durchschnitt von Bayern betrug die Betriebsprämie auf Ackerland 408,98 € bzw. Grünland 222,57 € (KILIAN et al. 2008). Diese steht dem Landwirt unabhängig von der Bewirtschaftung zur Verfügung, sofern er die Regelungen des Cross-Compliance erfüllt. Im Modell *LaNuOpt* bildet dieser Betrag sozusagen den Grundstock, der jeder Flächeneinheit zufällt, aber von Region zu Region unterschiedlich ist. Der Betrag wird allerdings bis zum Jahr 2014 mit Hilfe des so genannten Gleitflugs auf einen einheitlichen Betrag reduziert. Dieser soll etwa 340 € betragen (BMELV 2006, S. 17 ff.) und gilt für Acker- bzw. Grünland gleichermaßen. Kulturen, die der Energiegewinnung dienen, erhalten zusätzlich die so genannte Energiepflanzenprämie in Höhe von 45 €/ha. Im Jahr 2007 wurden allerdings aufgrund der großen Anmeldefläche lediglich 31,65 €/ha ausbezahlt (LFL 2008). Ab dem Jahr 2010 wird diese jedoch im Zuge des Health Check abgeschafft (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2008, S. 3). Ähnlich wie die Energiepflanzen erhalten Eiweißpflanzen eine zusätzliche Prämie. Im Modell bekommen Ackerbohnen und Futtererbsen zusätzliche 55,57 €/ha.

Im Zuge der Ausgleichszahlung für benachteiligte Gebiete erhalten landwirtschaftliche Betriebe je nach Region einen gewissen Geldbetrag je Flächeneinheit ausbezahlt. Im Durchschnitt für Bayern beträgt dieser momentan 35,12 €/ha. Im Modell *LaNuOpt* wird dabei den Regionen der jeweilige Betrag zugewiesen.

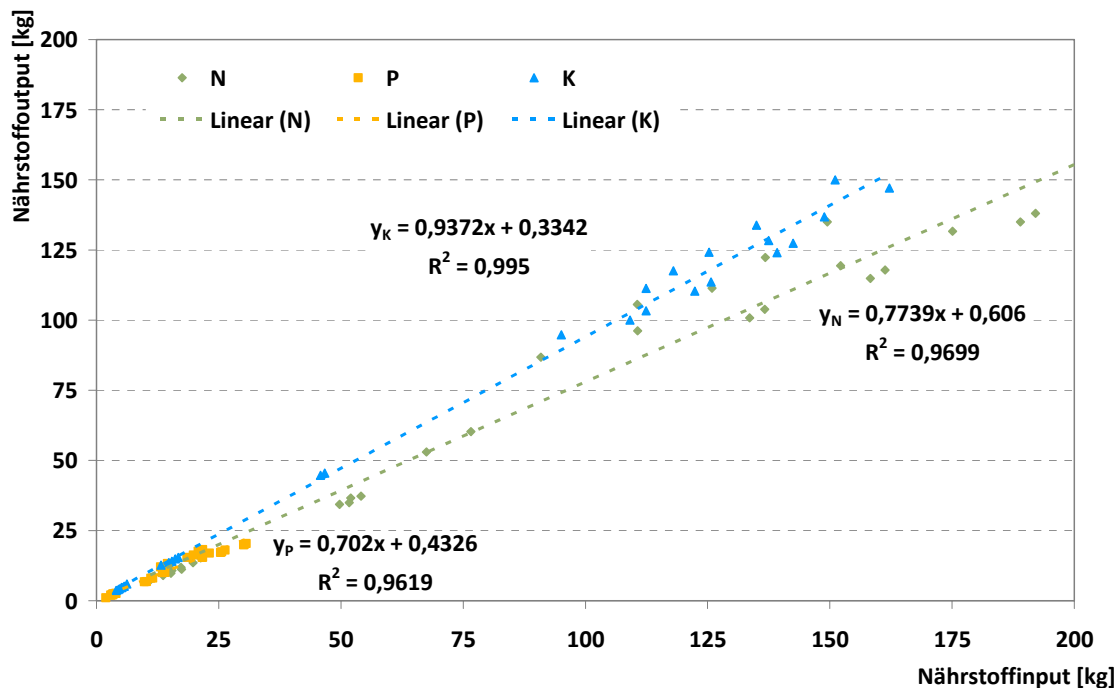
Einige Produktionsverfahren erfüllen die Auflagen für eine Förderung im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen (AUM). Rinderhaltung mit Weidehaltung (Maßnahme A 49) wird bis zu einer Obergrenze von 2,4 GV/ha mit 30 €/GV gefördert (StMLF 2008b, S. 22). Im Rahmen von *LaNuOpt* werden extensive Weiden mit 30 €/ha und intensive Weiden mit 72 €/ha bedacht. Die Maßnahme A 28 (Extensivierung von Wiesen mit Schnittzeitpunktaufgabe) erlaubt die erste Schnittnutzung erst ab 1. Juli. Dadurch ist der Aufwuchs in der Regel nur noch als minderwertiges Heu nutzbar und die Folgeschnitte verschieben sich nach hinten. In Folge dessen wird der Landwirt mit 300 €/ha entschädigt (StMLF 2008b, S. 14). Produktionsverfahren, die das so genannte KULAP-Heu entweder als Futtermittel oder Substrat einsetzen, werden entsprechend vergütet. Weiterhin wird im Modell angenommen, dass ein Teil der extensiven Rinderhaltung (Mutterkuhhaltung, Weidemast) innerhalb der Vorgaben des Ökolandbaus geschieht. Auch hier sieht das Kulturlandschaftsprogramm Transferzahlungen in Höhe von 210 €/ha vor (StMLF 2008b, S. 6 f.).

4.2.3 Berechnung des Güllewertes

Neben den Erlösen aus dem Verkauf von erzeugten Produkten sowie den öffentlichen Transferzahlungen wird bei Produktionsverfahren mit geschlossenen Nährstoffkreisläufen der Wert der Gülle berücksichtigt. Dazu gehören die Verfahren der Futtermittel- und der Substratbereitstellung. Bei der Berechnung ihrer Bodenrente werden die zurückfließenden Nährstoffmengen berücksichtigt.

Wie bei den sonstigen Kulturen auch, wird zuerst der Nährstoffentzug auf der Fläche anhand von Richtwerten der LFL (2007c, S. 76 ff.) ermittelt, wobei bei Stickstoff ggf. ein Aufschlag von 30 kg N/ha hinzukommt. Dies entspricht der Menge an mineralischem Dünger, die gedüngt werden müsste. Bei Futter- bzw. Substratfrüchten wird davon die zurückkommende Nährstofffracht wieder abgezogen. Dabei wird zwischen einer Verwertung im Tiermagen und der im Fermenter unterschieden. Während Tiere Stickstoff, Phosphor und Kalium für die eigene Retention benötigen, ist dies bei Biogas nicht der Fall. Aus diesem Grund wurden die Nährstoffbilanzen von landwirtschaftlichen Nutztieren analysiert. Als Datengrundlage dienen die Ausführungen von BOHNENKEMPER et al. (2005). Demnach lassen sich die Zusammenhänge wie in Abbildung 4-1 darstellen.

Abbildung 4-1: Zusammenhang zwischen Nährstoffinput und Nährstoffoutput in der Tierhaltung

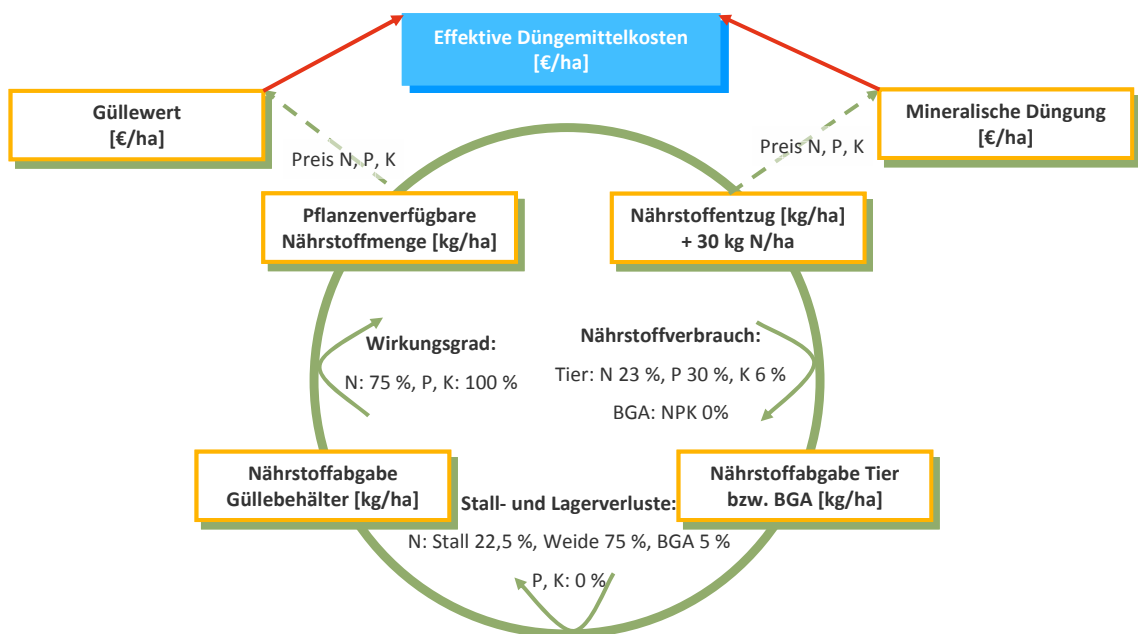


Quelle: eigene Darstellung (Datengrundlage: BOHNENKEMPER et al. 2005)

Die darin eingeklinkten Gleichungen geben an, welcher Anteil der durch das Futter aufgenommenen Nährstoffe das Tier wieder verlässt. Beim Stickstoff sind das etwa 77 %, bei Phosphor etwa 70 % und beim Kalium sogar fast 94 %. Mit Hilfe dieser Beziehungen wird im Modell *LaNuOpt* die Nährstoffmenge berechnet, die in den Ausschei-

dungen der Tiere zu finden ist. Allerdings kann nicht die gesamte Stickstoffmenge als Rückfluss berücksichtigt werden, da unvermeidbare Stall- und Lagerverluste auftreten (LfL 2007c, S. 50). Diese sind von Tierart zu Tierart verschieden, weswegen bei Futtermitteln ein übergreifender Mittelwert (22,5 %) angenommen wird. Werden Rinder auf einer Weide ernährt, ergeben sich sogar Verluste in Höhe von 75 %. In Biogasanlagen treten Verluste nur in Höhe von 5 % auf. Abschließend wird bei allen Verfahren noch der N-Wirkungsgrad (75 %) eingerechnet. Der gesamte Nährstoffkreislauf ist in Abbildung 4-2 zusammengefasst.

Abbildung 4-2: Berechnung der effektiven Düngemittelkosten im Modell LaNuOpt



Anmerkung:

BGA: Biogasanlage

Quelle: eigene Darstellung (Datengrundlage: LfL 2007c)

Die effektiven Düngemittelkosten ergeben sich aus der Differenz zwischen mineralischer Düngung und dem Güllewert. Die Berechnung für Silomais ist beispielhaft in Anhang-Tabelle 1 aufgeführt. Allgemein entstehen im Biogaskreislauf geringere Verluste, so dass dort der der Güllewert immer höher ist als in der Futteralternative.

Bis dahin ist der Unterschied in der Mechanisierung noch nicht berücksichtigt. Dies erfolgt im Bereich der Kosten der Arbeitserledigung. Verfahren mit Güllekreislauf erfordern zusätzlich noch Maschinen zur Gülleausbringung, so dass die Kosten der Mechanisierung höher ausfallen.

4.2.4 Ableitung der Faktoransätze

Wie bereits mehrfach erwähnt, setzt sich die Kostenseite der Produktionsfaktoren aus mehreren Komponenten zusammen, die in Anlehnung an etablierte Quellen (z. B. KTBL oder LfL) erfasst werden (vgl. Kapitel Tabelle 4-4). Eine Besonderheit, die noch nicht in

den vorangegangenen Kapiteln besprochen wurde, wird im Folgenden explizit erläutert.

Ein komplexer Aspekt bei der Berechnung der Kosten eines Produktionsverfahrens sind die Faktoransätze für Arbeit und Kapital. Dabei ist die Festlegung des so genannten Zinsansatzes für die Entlohnung des eingesetzten Eigenkapitals weitaus weniger schwierig wie die Bestimmung des Lohnansatzes für die geleistete Arbeit.

Ein Anhaltspunkt für die Wahl des Zinsansatzes sind die Datensammlungen des KTBL (KTBL 2006a, S. 9). Dort wird meist ein Kalkulationszinssatz von 6 % zu Grunde gelegt, der dann sowohl für Fremd- als auch Eigenkapital gilt. Nach SCHEUERLEIN (1997, S. 184 ff.) sollte das Eigenkapital aber eigentlich höher entlohnt werden, um das Unternehmerrisiko angemessen zu berücksichtigen. Er geht dabei von bis zu 10 % aus. Die Buchführungsergebnisse der LFL (versch. Jahrgänge) zeigen jedoch ein anderes Bild in der Realität (vgl. Tabelle 4-9). Um dem gerecht zu werden, wird im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* als Standardeinstellung ein Zinssatz in Höhe von 6 % herangezogen.

Beim Lohnansatz wird ein anderer Ansatz gewählt, d. h. es werden hier nicht die Werte von diversen Datensammlungen übernommen. Die vom KTBL (2006a, S. 9) angegebenen 15 €/Akh (Arbeitskraftstunde) dienen somit nur als Anhaltspunkt ebenso wie die Buchführungsergebnisse der bayerischen Betriebe (LFL versch. Jahrgänge). Deren Analyse zeigt nämlich, dass eine Entlohnung in Höhe dieser 15 €/Akh nur selten der Fall ist (vgl. Tabelle 4-9).

Tabelle 4-9: Zinsertrag des Eigenkapitals und Entlohnung der eigenen Arbeit ausgewählter Betriebstypen auf der Basis der Buchführungsergebnisse

Betriebstyp	Jahr	Getreide- baubetrieb	Zucker- rüben- baubetrieb	Milchvieh- betrieb in Nordbayern	Rinder- mast- betriebe	Ferkel- erzeuger- betriebe
Zinsertrag	2004/2005	-1,43	0,49	-1,31	0,40	2,23
Eigenkapital [%]	2005/2006	-3,19	0,30	-0,87	-0,49	0,12
	2006/2007	-2,26	0,82	-0,19	-0,52	-0,42
	2007/2008	-0,68	2,04	2,08	1,00	-3,26
Gesamtarbeits- ertrag	2004/2005	493	17.783	10.876	17.473	25.037
Unternehmen [€/Akh]	2005/2006	-2.723	16.956	13.001	13.235	16.709
	2006/2007	4.206	21.212	15.774	12.879	15.087
	2007/2008	12.479	30.039	25.396	22.289	5.448
Arbeitsstunden [Akh/Ak]		2.380	2.380	2.380	2.380	2.380
Entlohnung eigene Arbeit [€/Akh]	2004/2005	0,21	7,47	4,57	7,34	10,52
	2005/2006	-1,14	7,12	5,46	5,56	7,02
	2006/2007	1,77	8,91	6,63	5,41	6,34
	2007/2008	5,24	12,62	10,67	9,37	2,29

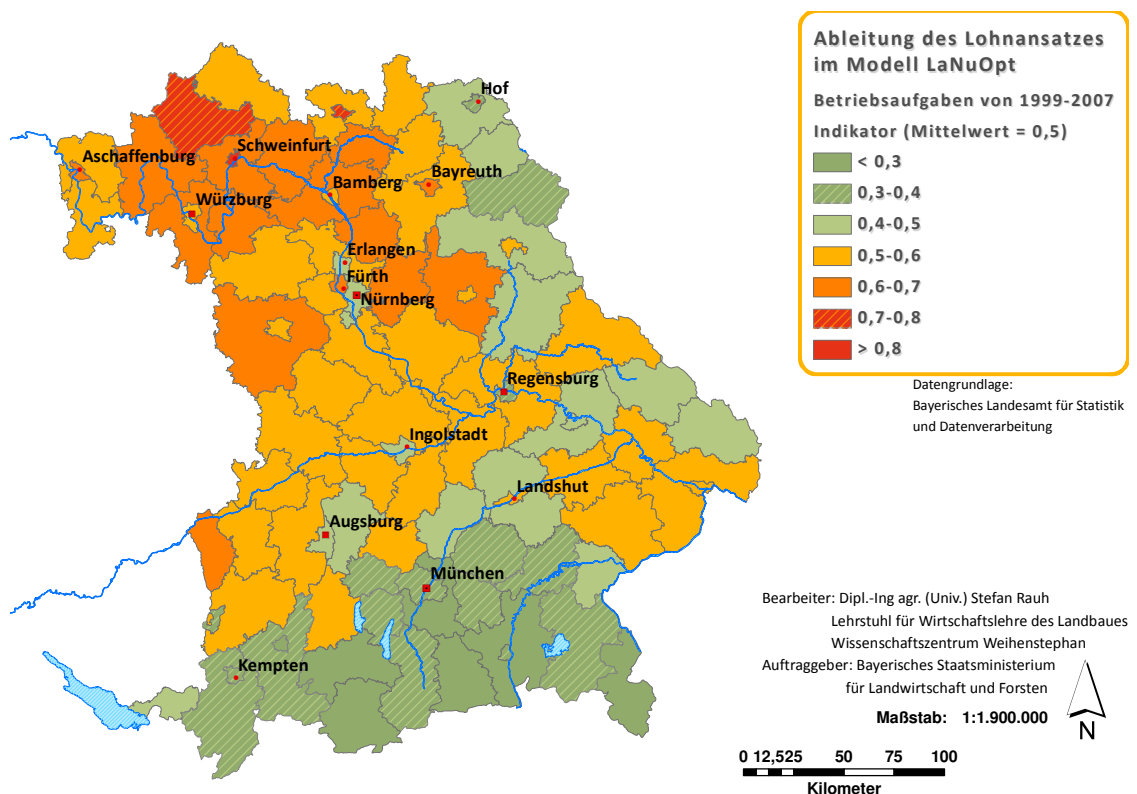
Quelle: eigene Berechnung nach LFL versch. Jahrgänge

Ausgehend vom Gesamtarbeits-ertrag der einzelnen Betriebstypen sowie den zu Grunde liegenden eingesetzten Arbeitsstunden lässt sich die Entlohnung der eigenen Arbeit

ableiten. Die Entlohnung der eigenen Arbeit ist den Angaben zufolge immer geringer als die veranschlagten 15 €/Akh. Auch zwischen den Betriebstypen können Unterschiede ausgemacht werden. Die Buchführungsergebnisse weisen für einen reinen Ackerbaubetrieb eine sehr geringe Entlohnung der Arbeit aus, während sich die anderen Betriebstypen im Bereich zwischen 5 und 10 €/Akh bewegen. Der Grund für die z. T. sehr niedrigen Werte im Ackerbaubetrieb liegt in der von den Betrieben angegebenen hohen Arbeitskraftausstattung, so dass die eigentliche Entlohnung höher liegt.

Im Modell *LaNuOpt* werden zwei regionale Indikatoren als Grundlage für den Lohnansatz herangezogen. Es wird angenommen, dass der Strukturwandel in der Landwirtschaft und die Arbeitslosenquote entscheidenden Einfluss darauf nehmen, welche Entlohnung in einem landwirtschaftlichen Produktionsverfahren gegeben sein muss, um eine Abwanderung in andere Wirtschaftsbereiche zu verhindern. Der Strukturwandel wird dabei durch die Anzahl der Betriebsaufgaben im Zeitraum der letzten beiden Agrarstrukturerhebungen in den Jahren 1999 und 2007 repräsentiert (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERWALTUNG, 2009). Karte 4-1 zeigt die Betriebsaufgaben der verschiedenen Landkreise in Bayern.

Karte 4-1: Darstellung des Strukturwandels in Bayern anhand der Betriebsaufgaben



Anmerkungen:

Ein Indikatorwert von 0,5 entspricht 21 % Betriebsaufgaben im Zeitraum 1999-2007.

Je höher der Indikator, desto mehr Betriebsaufgaben.

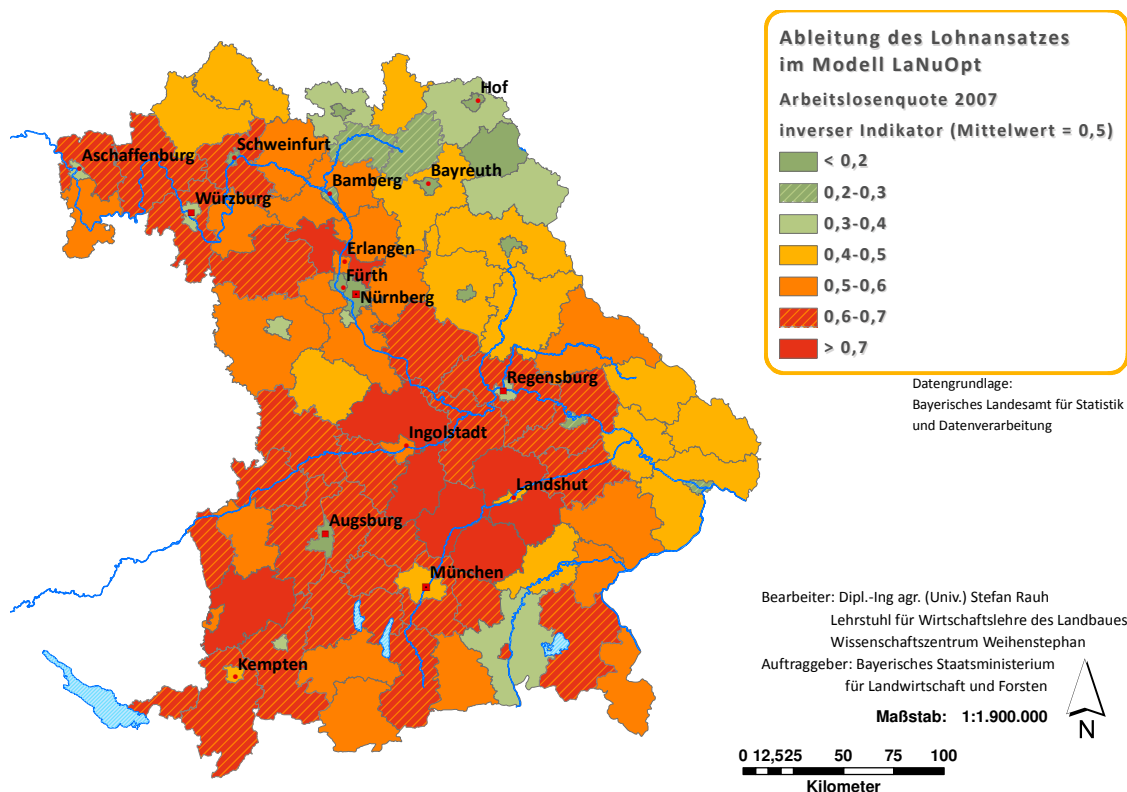
Quelle: eigene Darstellung nach BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERWALTUNG 2009

Es handelt sich dabei jedoch nicht um absolute Zahlen, sondern um eine Darstellung mittels eines Indikators. Je niedriger dieser ist, desto langsamer verläuft der Strukturwandel, d. h. desto weniger Betriebe gaben im betrachteten Zeitraum auf. Der bayerische Durchschnitt (21 % Betriebsaufgaben im Zeitraum 1999-2007) ist dabei auf den Wert 0,5 festgelegt.

Es kann deutlich herausgearbeitet werden, dass der (Vor-) Alpenraum sowie die Regionen der ostbayerischen Mittelgebirge einen langsameren Strukturwandel aufweisen als die restlichen Landkreise. Hierfür gibt es zwei Erklärungsansätze. Zum einen das touristische Potenzial der Gebirgsregionen, das eine Einkommenskombination aus Landwirtschaft und Fremdenzimmern ermöglicht und zum anderen die u. U. in geringem Umfang vorhandenen Arbeitsplatzalternativen in einer Region.

Ob in einer Region Beschäftigungsmöglichkeiten außerhalb der Landwirtschaft existieren, kann mit Hilfe der Arbeitslosenquote abgeschätzt werden. Allerdings besteht hier ein gegensätzlicher Zusammenhang zum Strukturwandel in Bayern. Deswegen ist in Karte 4-2 der inverse Indikator der Arbeitslosenquote dargestellt. Um deutlich zu machen, dass sich eine hohe Arbeitslosenquote nachteilig auf den Strukturwandel auswirkt, wurde ein niedriger Wert für den Indikator gewählt.

Karte 4-2: Darstellung des Strukturwandels anhand der Arbeitslosenquote



Anmerkungen:

Ein Indikatorwert von 0,5 entspricht 5,88 % Arbeitslose in 2007.

Je höher der Indikator, desto niedriger die Arbeitslosenquote.

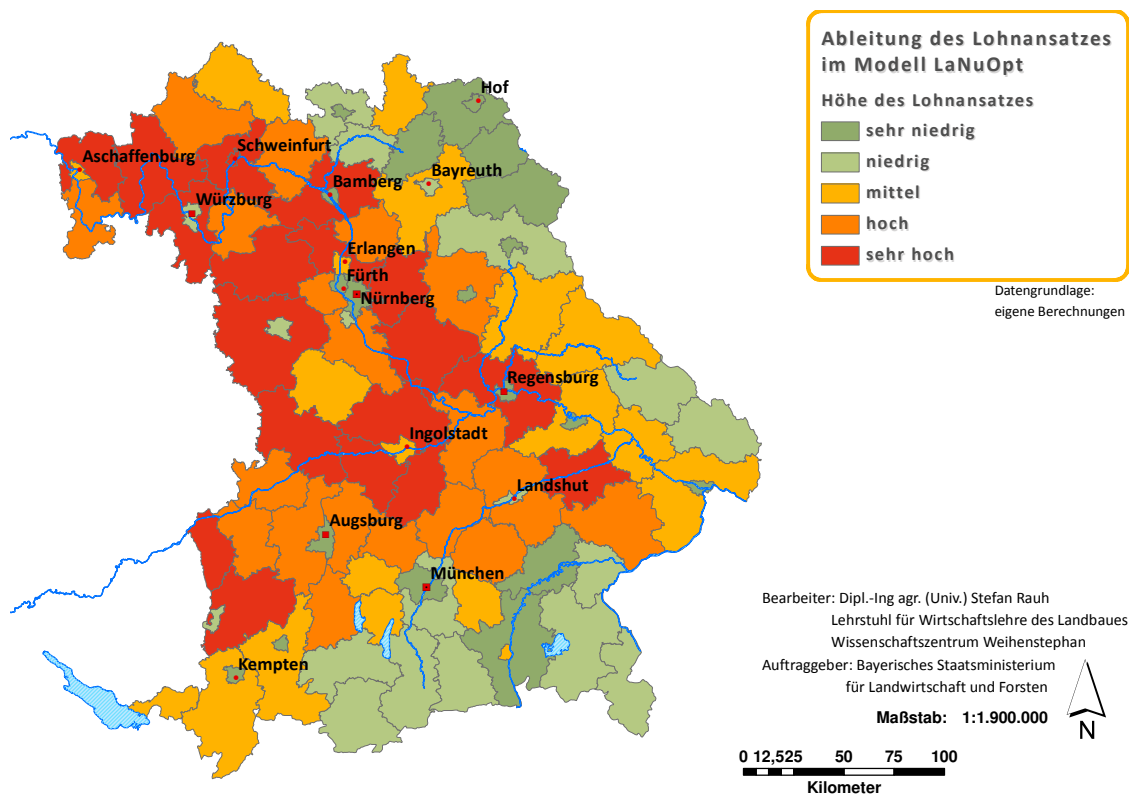
Quelle: eigene Darstellung nach BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERWALTUNG 2009

Die Farbgebung dieser Karte weicht von der vorherigen ab. Zwar sind auch hier die Gebiete der ostbayerischen Mittelgebirge benachteiligt, nicht jedoch die südlichen Gebiete. Rund um die Landeshauptstadt München sowie die Städte Landshut, Ingolstadt und Regensburg kann eine niedrige Arbeitslosenquote beobachtet werden. Im Umkehrschluss bestehen hier Verdienstmöglichkeiten im außerlandwirtschaftlichen Bereich, was den Strukturwandel in Zukunft beschleunigen könnte.

Der Indikator der Arbeitslosenquote ist invers gewählt, um eine Addition beider Indikatoren zu ermöglichen. Somit führt ein hoher Indikator bei den Betriebsaufgaben (d. h. viele Betriebsaufgaben) bei gleichzeitig hohem Indikator bei der Arbeitslosenquote (d. h. geringe Arbeitslosigkeit) zu einem hohen Gesamtindikator für den prognostizierten Strukturwandel. Dieser Gesamtindikator ist dann ausschlaggebend für die Höhe des Lohnansatzes. Wird beispielsweise ein Basislohn von 7,50 €/Akh angenommen, kann mittels des Gesamtindikators der jeweilige Lohnansatz der einzelnen Regionen ermittelt werden. Für Bayern mit dem Gesamtindikator 1 ergibt sich damit ein Lohnansatz von 7,50 €/Akh. Regionen mit hohem Indikator, d. h. schnellem Strukturwandel, wird ein hoher Lohnansatz zugeordnet, da dort die Entlohnung dementsprechend hoch sein muss, um eine Abwanderung in andere Berufe zu verhindern.

Als Ergebnis der Kombination zweier Faktoren (Betriebsaufgaben und Arbeitslosenquote) lässt sich Karte 4-3 präsentieren. Hier ist jetzt kein spezieller Basislohn unterstellt, sondern es wird nur zwischen niedrigem und hohem Lohnansatz unterschieden.

Karte 4-3: Ableitung des Lohnansatzes in Abhängigkeit vom Strukturwandel



Quelle: eigene Darstellung

Auffällig sind der niedrig eingeschätzte Strukturwandel und damit auch der niedrige abgeleitete Lohnansatz in den Gebirgsregionen. Durch die Kombination der beiden Indikatoren wird erreicht, dass Regionen mit allgemein starker Wirtschaft einen höheren Lohnansatz haben als bei der alleinigen Einordnung nach Betriebsaufgaben. Als Beispiel kann hier die Region um Freising/Erding (Flughafenumland) gelten. Eine alleinige Betrachtung der Anzahl der Betriebsaufgaben hatte hier einen langsamen Strukturwandel in der Vergangenheit offenbart. Die Zunahme der Arbeitslosenquote fügt der vergangenheitsorientierten Betrachtungsweise die Aussichten für die Gegenwart und die Zukunft hinzu. Weiterhin strukturschwach präsentieren sich die Gebiete in Nordostoberfranken.

4.3 Einbindung der Produktionsverfahren in ein LP-Tableau

Im Folgenden werden der Aufbau des LP-Tableaus im Modell sowie die im Modell eingebetteten Nebenbedingungen dargestellt. Dabei kann es sich sowohl um Restriktionen als auch Mindestanforderungen handeln.

4.3.1 Aufbau des LP-Tableaus

Um die Umsetzung eines Linearen Optimierungsprozesses im Modell *LaNuOpt* zu erklären, wird zuerst der grundlegende Aufbau des LP-Tableaus erläutert. Einen exemplarischen Ausschnitt zeigt hierbei Abbildung 4-3.

Abbildung 4-3: Aufbau des LP-Tableaus im Modell *LaNuOpt*

Blatt leeren			Blatt kopieren			maximieren							
						minimieren							
Produktionsverfahren						Einheit							
						A		B		C		D	
						ha		ha		ha		ha	
Zielzeile						€		-					
Umfang						auf Null setzen							
Restriktionen						Einheit		Grenze					
1 Restriktion 1						ha		β_1		≥			
2 Restriktion 2						ha		β_2		≥			
						α_{11}		α_{12}		α_{13}		α_{14}	
						α_{21}		α_{22}		α_{23}		α_{24}	

Quelle: eigene Darstellung

In dieser Berechnungsmatrix werden die mathematischen Zusammenhänge der Theorie (vgl. Kapitel 3.4) in die Praxis umgesetzt. Auf der rechten Seite sind dabei die Produktionsverfahren (A-D) angeordnet, deren zugehörigen Bodenrenten (b_1 - b_4) drei Zeilen darunter in der Zielzeile eingeordnet sind. Wiederum zwei Zeilen darunter befindet sich der Umfang (X_1 - X_4) den die einzelnen Produktionsverfahren in der Lösung einnehmen. Aus den Umfängen der aktivierten Verfahren sowie den zugehörigen Bodenrenten lässt sich als Summenprodukt die Gesamtbodenrente (orange Zelle in Abbildung 4-3) berechnen. Bei der Maximierung der Gesamtbodenrente müssen allerdings die Nebenbedingungen (Restriktionen) eingehalten werden, die im unteren Teil des LP-Tableaus zu finden sind. Die Grenzen β der jeweiligen Restriktion dürfen dabei

durch das Summenprodukt der Faktoransprüche α und der Umfänge X nicht überschritten werden. Dieses Summenprodukt ist dann in der Spalte zu sehen, in der sich momentan das Ungleichheitszeichen befindet.

4.3.2 Fruchtfolgerestriktionen

Ein essentieller Parameter bei der Modellierung der Landnutzung ist die Berücksichtigung der Fruchtfolgewirkung (KUHLMANN et al. 2002, S. 369 ff.). Dies ist von entscheidender Bedeutung, da somit reine Monokulturen der relativ lukrativsten Feldfrucht vermieden werden können. Unter dem Begriff „Fruchtfolge“ ist die zeitliche Aufeinanderfolge von Kulturpflanzen auf einem Schlag zu verstehen (KÄMPF 1987, S. 22). Ein sinnvoller Wechsel der Fruchtarten ist aus pflanzenbaulicher Sicht aus mehreren Gründen unumgänglich. Die wichtigste Aufgabe stellt dabei die Absicherung der Ertragskraft dar (KÄMPF 1987, S. 10 ff.). Zum einen gilt es die Humus- und Nährstoffbilanz mit Hilfe einer geeigneten Fruchtfolge aufrecht zu erhalten und zum anderen gilt es Fruchtfolgeschäden durch Pflanzenkrankheiten oder Parasiten zu minimieren.

Bevor der Anbau nach charakteristischen Fruchtfolgesystemen überhaupt eingeführt wurde, stand nicht der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, sondern allein der Bedarf an Getreide im Mittelpunkt der Bestrebungen (KÄMPF 1987, S. 16 ff.). Durch den alleinigen Anbau von Getreide ohne Einsatz von Düngern sanken die Erträge, so dass nach wenigen Jahren dieses Stück Land verlassen wurde und ein neues in Produktion genommen wurde (ein Grund der Völkerwanderung). Mit vermehrter Sesshaftigkeit wurde ab 800 n. Chr. die so genannte Brachfeldwirtschaft oder alte Dreifelderwirtschaft eingeführt, und zwar meist in der Folge Brache-Getreide-Getreide. Die brach liegende Fläche diente hierbei als Weide für das Vieh. Erst ab Mitte des 18. Jahrhunderts wurde diese „Unkrautweide“ durch den Anbau von Rotklee ersetzt. Diese verbesserte Dreifelderwirtschaft wurde durch die folgende Einführung der Blattfrüchte Kartoffeln und Rüben als weitere Brachfrüchte zu Beginn des 19. Jahrhunderts manifestiert. Dieser Wandel, im Zusammenspiel mit der nun möglichen Stallfütterung des Viehs sowie der Ausbringung des anfallenden Stallmistes auf die ehemals brachen Flächen, führte zu einer beträchtlichen Verbesserung der Fruchtbarkeit der Flächen sowie einem Anstieg der Erträge. Besonders der Einsatz von Leguminosen als Stickstoffsammler erwies sich als überaus positiv. In der jetzt vorherrschenden Fruchtfolge Blattfrucht-Halmfrucht-Halmfrucht wies die zweite Halmfrucht einen schlechteren Ertrag auf als im Vorjahr, weswegen oftmals ein jährlicher Wechsel zwischen Blattfrucht und Halmfrucht gefordert wurde (KÄMPF 1987, S. 19 ff.).

Damit waren die Grundlagen auch für die heutigen Fruchtfolgen gelegt, die allerdings durch das Aufkommen der intensiven Landwirtschaft (erhöhter Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zunehmend vereinfacht wurden (FREYER 2003, S. 11 ff.). Dabei kann zwischen diversen Fruchtfolgliedern unterschieden werden, die in die klassi-

schen Fruchtfolgesysteme eingeordnet werden können (KÄMPF 1987, S. 22 ff.). Tabelle 4-10 zeigt eine Übersicht dieser klassischen Fruchtfolgesysteme.

Eine Sonderstellung nimmt die „einfachste“ Fruchtfolge, nämlich die Monokultur, als einfeldrige Fruchtfolge ein, während alle weiteren Fruchtfolgeglieder mindestens zwei Kulturen beinhalten (STEINHAUSER et al. 1992, S. 41 ff.). Felder- und Fruchtwechselwirtschaften sind hauptsächlich in Marktfruchtbaubetrieben vorzufinden. Während bei den Felderwirtschaften Halmfrüchte (Getreide) im Vordergrund stehen, dominieren in Fruchtwechselwirtschaften die Blattfrüchte (Hackfrüchte, Leguminosen, Ölfrüchte). In Gebieten mit Feldfutterbau für die Viehhaltung werden oftmals Wechselwirtschaften eingesetzt. Auf einen zwei- oder dreijährigen Anbau von Luzerne/Kleegras/Wiese/Weide folgt ein fünf- bis acht-jährige Pause für diese Kulturen, in der andere Blatt- und Halmfrüchte wechselnd angebaut werden (KÄMPF 1987, S. 26 ff.). Die einzelnen Fruchtfolgeglieder lassen sich nahezu beliebig kombinieren, so dass sich Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Anteilen an Blatt- und Halmfrüchten ergeben. Natürlich sind noch weitere diverse Kombinationen, u. a. Wechselwirtschaften, möglich mit unterschiedlicher Gewichtung des Blatt- bzw. Halmfruchtanteils. Eine Bewertung der Fruchtfolge anhand des Verhältnisses von Blatt- zu Halmfrüchten sollte allerdings nicht vorgenommen werden (KÄMPF 1987, S. 34).

Tabelle 4-10: Klassische Fruchtfolgesysteme und zugehörige Fruchtfolgeglieder

Fruchtfolgesystem	Fruchtfolgeglieder	Schema
Felderwirtschaften		
	verbesserte Dreifelderwirtschaft	BF-HF-HF
	verbesserte Vierfelderwirtschaft	BF-HF-HF-HF
	verbesserte Fünffelderwirtschaft	BF-HF-HF-HF-HF
Fruchtwechselwirtschaften		
	normaler Fruchtwechsel	BF-HF
	Doppelfruchtwechsel	BF-BF-HF-HF
	Überfruchtwechsel	BF-BF-HF
Wechselwirtschaften		
	Luzerne-Wechselwirtschaften	-
	Kleegras-Wechselwirtschaften	-
	Wiesen-Wechselwirtschaften	-
	Weiden-Wechselwirtschaften	-
BF = Blattfrucht		
HF = Halmfrucht		

Quelle: eigene Darstellung nach KÄMPF 1987, S. 31; FREYER 2003, S. 22 ff.

Eine extreme Form der Fruchtfolgegestaltung ist die so genannte „freie Fruchtfolge“, bei der die Auswahl der Feldfrüchte aufgrund des aktuell maximal möglichen wirtschaftlichen Ertrags erfolgt (KÄMPF 1987, S. 36 f.). Durch gezielte Düngemaßnahmen kann zwar die Bodenfruchtbarkeit unter Umständen aufrechterhalten werden, aller-

dings kann es zum verstärkten Auftreten von Krankheiten und tierischen Schädlingen kommen, die den Ernteertrag langfristig gefährden.

Aufgrund der unterschiedlichen Wirkung der einzelnen Kulturen auf die Bodenfruchtbarkeit kann eine Einstufung der Kulturpflanzen hinsichtlich ihres Vorfruchtwertes geschehen (KÄMPF 1987, S. 93 ff.). Dabei muss allerdings beachtet werden, dass einige Kulturen aus phytosanitärer Sicht nicht geeignet sind, aufeinander zu folgen oder eine Anbaupause zwischen dem erneuten Anbau der gleichen Kultur erforderlich ist, da ansonsten Ertragsrückgänge die Folge wären (FREYER 2003, S. 26 ff.; KÄMPF 1987, S. 96 ff.). Vorfrucht-Nachfrucht-Wirkungen werden in der Literatur kontrovers diskutiert. Gleichlautende Empfehlungen sind hier, genauso bei den Anbaupausen, nur selten zu finden (WEINMANN 2002, S. 58 ff.). FREYER (2003, S. 29) stellt unter anderem fest, dass durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln die Anbaupause von selbstunverträglichen Kulturen reduziert werden kann. Daraus lassen sich folgende Bandbreiten für maximale Anbauanteile in Tabelle 4-11 zusammenfassen.

Die Anbauanteile aus Tabelle 4-11 können allerdings nur als Anhaltspunkt dienen, da gegebenenfalls betriebsspezifische Fruchtfolgen durchaus sinnvoll sind. Die Formulierung von Obergrenzen einzelner Kulturen ist nur eine Möglichkeit, die in der Modellierung eingesetzt wird. Genauso ist ein Ansatz mit positiver quadratischer Programmierung denkbar, bei dem die Erträge in Abhängigkeit von den Flächenanteilen abnehmen und die variablen Kosten ansteigen (KUHLMANN et al. 2002, S. 369 f.). Die Definition der benötigten quadratischen Funktionen ist allerdings sehr komplex und mit hohem Forschungsaufwand verbunden.

Tabelle 4-11: Maximale Anbauanteile in der Fruchtfolge

Fruchtart	Anbauanteil in [%]	Kultur	Anbauanteil in [%]
Blattfrüchte	33	Winterroggen	100
Halmfrüchte	66	Winterweizen	33-50
		Wintergerste	50-67
		Körnermais	33-67
		Silomais	25-50
		Winterraps	25-33
		Zuckerrüben	25-33

Quelle: FREYER 2003, S. 29; WEINMANN 2002, S. 59

Im Modell *LaNuOpt* wird allerdings auf Obergrenzen einzelner Fruchtfolgeglieder zurückgegriffen, die in Tabelle 4-12 zusammengefasst sind. Hierbei ist u. a. von Bedeutung, dass verschiedene Kulturen zu Obergruppen zusammengefasst sind. So können beispielsweise einzelne Getreidearten bis zu 50 % Anteil an der Fruchtfolge haben, aber gleichzeitig muss die Restriktion aller Getreidearten (67 %) eingehalten werden. Deshalb ist es relativ unwahrscheinlich, dass einzelne Kulturen ihren Rahmen komplett ausschöpfen, da immer noch auf weitere Restriktionen geachtet werden muss. Dazu

zählt auch die Mindestanforderung nach mindestens 25 % Blattfrüchten. Durch die Vielzahl der einzuhaltenden Restriktionen ist somit eine realistische Fruchtfolge als Optimierungsergebnis wahrscheinlich. Durch geeignete Gleichungen im LP-Tableau wird zudem eine komplette Nutzung der Ackerfläche erreicht. In diesem Fall ist Brache eine „Nutzung“ der Ackerfläche.

Dem entsprechend wird auch die Nutzung des Grünlandes sichergestellt. Hier gibt es keine Fruchtfolgerestriktionen. Allerdings erfolgt eine Unterteilung in intensives und extensives Grünland, die sich in ihrer Ertragsfähigkeit und damit indirekt den möglichen Nutzungspfaden unterscheiden. Je nach Landkreis ist der Anteil des intensiven Grünlandes unterschiedlich hoch.

Tabelle 4-12: Fruchtfolgerestriktionen im Modell LaNuOpt

Restriktion	Anbauanteil in [%]	Restriktion	Anbauanteil in [%]
Winterweizen	< 35	Winterraps	< 25
Wintergerste	< 35	Sonnenblumen	< 25
Winterroggen	< 40	Ölsaaten	< 33
Triticale	< 35	Kartoffeln	< 20
Sommergerste	< 30	Zuckerrüben	< 25
Hafer	< 40	Hackfrüchte	< 33
Getreide-GPS	< 50	Ackerbohnen	< 20
Getreide	< 67	Felderbsen	< 20
Körnermais	< 50	Leguminosen	< 25
Silomais	< 50	Blattfrüchte	> 25
Mais	< 50	Leguminosen	> 1

Quelle: eigene Darstellung

In Abhängigkeit vom Grünlandanteil der einzelnen Regionen wird zudem die Möglichkeit der Aktivierung von Produktionsverfahren mit Weideaustrieb geregelt. Je höher der Grünlandanteil (bis zu 100 % im Oberallgäu), desto größer ist die Wahrscheinlichkeit von arrondierten Weideflächen und damit gleichzeitig auch von Verfahren mit Austrieb.

4.3.3 Einbindung der aktuellen Wirtschaftsstruktur mittels Bodenrente II

Die Gründe für die Unterscheidung von Bodenrente I & II wurden im Rahmen dieser Arbeit bereits eingehend erläutert. Im LP-Tableau ist jedes Produktionsverfahren zweimal vertreten. Einmal ist ihm Bodenrente I zugewiesen und einmal die höhere Bodenrente II. Würde jetzt eine Optimierung durchgeführt werden, würden immer das Verfahren mit einer Bodenrente II aktiviert werden und zwar u. U. auch über die momentane Ausdehnung des Produktionsverfahrens hinaus. Um das zu verhindern, wird hier eine Obergrenze als Restriktion eingesetzt. Dies soll anhand von Abbildung 4-4 veranschaulicht werden.

Abbildung 4-4: Ausschnitt aus dem LP-Tableau von LaNuOpt zur Verdeutlichung der Strukturobergrenzen

				91	92	93	150	151
				MV I	MV II	MV III	MV I	MV II
				Tsd. ha	Tsd. ha	Tsd. ha	Tsd. ha	Tsd. ha
Produktionsverfahren				MV I [Tsd. ha]	MV II [Tsd. ha]	MV III [Tsd. ha]	MV I [Tsd. ha]	MV II [Tsd. ha]
Zielzeile				129,78	61,23	43,05	1.276,93	781,16
Umfang				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Restriktionen								
	Einheit	Grenze	genutzt					
50			-					
51	Obergrenze Struktur		-					
57	Stallplätze 6000er Milchvieh	Tsd. Stück	14,55				1,66	1,08
58	Stallplätze 8000er Milchvieh	Tsd. Stück	2,40					
59	Stallplätze 10000er Milchvieh	Tsd. Stück	-					
60	Stallplätze Aufzuchtfernen	Tsd. Stück	10,51					
61	Stallplätze Bullen	Tsd. Stück	1,22					
62	Stallplätze Mutterkühe	Tsd. Stück	0,80					
63	Stallplätze Weidemast	Tsd. Stück	0,91					
64	Stallplätze Rinder	Tsd. Stück	38,98				1,66	1,08
65	Anzahl Zuchtsauen	Tsd. Stück	-					
66	Stallplätze Zuchtsauen	Tsd. Stück	-					
69			-					
70	Biogas 100	Tsd. kW	1,20					
71	Biogas 300	Tsd. kW	1,64					
73			-					
74	Fläche Winterweizen	Tsd. ha	0,21					
75	Fläche Gerste	Tsd. ha	0,30					
76	Fläche Roggen	Tsd. ha	0,02					
77	Fläche Triticale	Tsd. ha	0,12					
78	Fläche Hafer	Tsd. ha	0,09					
79	Fläche Körnermais	Tsd. ha	-					
80	Fläche Silomais	Tsd. ha	0,63					
81	Fläche Winterraps	Tsd. ha	0,10					
82	Fläche Sonnenblumen	Tsd. ha	0,00					
83	Fläche Kartoffeln	Tsd. ha	0,02					
84	Fläche Zuckerrüben	Tsd. ha	0,00					
85	Fläche Ackerbohnen	Tsd. ha	0,00					
86	Fläche Futtererbsen	Tsd. ha	0,00					
87	Fläche Brache	Tsd. ha	3,18					

Quelle: eigene Darstellung

In der Zeile der Produktionsverfahren sind fünf Verfahren abgebildet. Dabei basieren die schwarz geschriebenen Verfahren der Milchviehhaltung (MV I-III) auf den niedrigeren Bodenrenten I, während es sich bei den weiß geschriebenen, unter sonst gleichen Annahmen, jeweils um Bodenrente II handelt. Dies ist deutlich an dem Verfahren Milchviehhaltung I (MV I) zu erkennen (schwarz mit Bodenrente I: ca. 130 €; weiß mit Bodenrente II: ca. 1.280 €). In der jeweiligen Region steht aber nur eine begrenzte Anzahl an Stallplätzen bereits zur Verfügung, die das Verfahren mit Bodenrente II rechtfertigen. Der Anspruch an Stallplätzen beträgt bei MV I mit Kühen der 6.000 kg-Leistungsklasse 1,66 Plätze je Hektar (siehe Abbildung 4-4, Spalte 150, Zeile 57). Zur Verfügung stehen in dieser Region ca. 15.000 dieser Stallplätze. D. h. ungefähr 9.000 ha des Bodenrente II-Verfahrens können aktiviert werden. Darüber hinaus muss dann Bodenrente I herangezogen werden. Analog existieren diese Maßnahmen für weitere Tierhaltungs-, Marktfruchtbau- oder Energieerzeugungsverfahren.

4.3.4 Festlegung der Obergrenzen für Neubauten

Das vorherige Kapitel veranschaulicht die Implementierung der bestehenden Wirtschaftsstruktur mittels Obergrenzen im LP-Tableau. Als sinnvoll erweist sich die Einführung von Obergrenzen für Neubauten, d. h. für die Produktionsverfahren der Bodenrente I. Somit wird gewährleistet, dass kein Produktionsverfahren aufgrund seiner vor-

züglichen Wettbewerbsstellung sofort bis zum Maximum erweitert wird. Diese Maßnahme ist allein schon wegen der eingeschränkten Kapazitäten von Baufirmen zu vertreten. So können innerhalb eines Jahres nicht beliebig viele Milchviehställe oder Biogasanlagen gebaut werden. Besonders bei der Biogasproduktion als neuem Betriebszweig würden ohne die vorgenommene Einschränkung innerhalb kürzester Zeit enorme Zuwächse modelliert werden. Im Modell *LaNuOpt* wird ein begrenzter jährlicher Zubau festgelegt, so dass in Abhängigkeit des Untersuchungszeitpunktes eine definierte Obergrenze vorliegt.

Die Vorgehensweise bei der Festlegung dieser Obergrenze unterscheidet sich grundlegend im Vergleich der Tierhaltungsverfahren und der Biogasproduktion. Bei den Verfahren der Tierhaltung besteht eine etablierte Wirtschaftsstruktur mit vorhandenen Kapazitäten. In Relation dazu wird im Modell der jährliche Zubau geregelt (siehe Formel 4-1).

Formel 4-1: Festlegung des jährlichen Zubaus bei Tierhaltungsverfahren im Modell *LaNuOpt*

$$ZB_{\text{Tier}} = AZ_{\text{SP}} \times 0,2$$

Anmerkungen:

ZB_{Tier} jährlicher Zubau bei Tierhaltungsverfahren

AZ_{SP} Anzahl vorhandene Stallplätze

Quelle: eigene Annahme

Normalerweise werden bauliche Anlagen auf 20 Jahre abgeschrieben. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass sich bei Annahme einer konstanten Zahl an Stallplätzen ein Faktor von 0,05 für den jährlichen Zubau ergibt. Im Modell wird angenommen, dass maximal die vierfache Menge zugebaut werden kann. Daraus folgt ein Faktor von 0,2.

Im Gegensatz dazu existiert im Bereich Biogas keine etablierte Wirtschaftsstruktur. Die Vorgehensweise kann aus diesem Grund nicht übernommen werden. Stattdessen wird der Zubau der vergangenen Jahre in Bayern analysiert. Den höchsten Anstieg der Leistung gab es vom Jahr 2006 zum Jahr 2007. In diesem Zeitraum wuchs die Biogaskapazität von 258 kW (RÖHLING und KEYMER 2007, S. 10) auf 335 kW (RÖHLING und WILD 2008, S. 108 ff.). Die Differenz beträgt somit 77 kW. Im Modell *LaNuOpt* wird unterstellt, dass dieser Zuwachs in einem „Boomjahr“ maximal um 25 % übertroffen werden kann. Als Zubau pro Jahr ergibt das für Gesamtbayern maximal 96,25 kW.

4.3.5 Erfassung regionaler Aspekte

Innerhalb des LP-Tableaus und damit auch innerhalb des Gesamtmodells sind einige Parameter regionsspezifisch erfasst (u. a. die Pflanzenschutzintensität oder die Bodenrente; LK-Daten siehe Kapitel 3.6). Die Pflanzenschutzmittelintensität wird dabei für die jeweilige Einzelkultur nach den Vorschlägen des Netzwerkes zur Ermittlung des

Pflanzenschutzmanagements in bestimmten Kulturen in unterschiedlichen Naturräumen mit wesentlicher landwirtschaftlicher Nutzung (*NEPTUN*; LFL 2009) gewählt.

Im Modell werden hinsichtlich der Futterrationen verschiedenartige Verfahren der Rinderhaltung aufgerufen. Dabei ist es von Belang welchen Anteil so genanntes intensives Grünland im Verhältnis zum extensiven Grünland einnimmt und in welchem Umfang ein Austrieb möglich ist. Laut STMLF (2008a, S. 92) werden in Bayern durchschnittlich 60 % des Grünlandes extensiv genutzt, was auch in das Modell für Gesamtbayern übernommen wird. Auf Landkreisebene wird der Anteil des Intensivgrünlandes allerdings in Abhängigkeit des Ertragspotenzials differenziert modelliert: je höher der durchschnittliche Ertrag von Dauergrünland, desto größer der Anteil intensiven Grünlands (vgl. Formel 4-2).

Formel 4-2: Berechnung des Anteils intensiven Grünlands eines Landkreises in Abhängigkeit vom Grünlandertrag

$$A_{iGL}(LK) = A_{iGL}(BY) \times \frac{\text{Ertrag GL}(LK)}{\text{Ertrag GL}(BY)}$$

Anmerkungen:

$A_{iGL}(LK)$ Anteil intensives Grünland im Landkreis in Prozent

$A_{iGL}(BY)$ Anteil intensives Grünland in Bayern in Prozent (= 40 %)

Quelle: eigene Annahme

Anhand dieser Formel ergeben sich dann die jeweiligen Kapazitäten für intensives bzw. extensives Grünland im LP-Tableau. In ähnlicher Weise wird auch festgelegt, welcher Anteil beweidet werden kann, da einige Verfahren der Rinderhaltung Rationen mit Weidehaltung anfordern. Ob Weidehaltung möglich ist, ist eng verknüpft mit der Arrondiertheit der Grünlandflächen. Da diese bei hohen Grünlandanteilen wahrscheinlicher ist, wird der Anteil analog zum Grünlandanteil berechnet. Den Vergleichsmaßstab bildet wiederum der Wert für Bayern (25 %; STMLF 2008a, S. 92), der dann auf den Landkreiswert umgelegt wird (Vorgehensweise wie in Formel 4-2).

Ein weiterer regionalspezifischer Aspekt ist die Milchleistung. Diese ist von Landkreis zu Landkreis unterschiedlich. Schwierig in diesem Zusammenhang ist dabei die Bestimmung der vorhandenen Milchviehstallplätze je Leistungsklasse. Im Modell *LaNu-Opt* gibt es bekanntlich drei Leistungsklassen, wobei die höchste (10.000 kg) in der Gegenwart nur in sehr geringem Umfang erreicht wird. Deswegen werden die vorhandenen Stallplätze nach einer sinnvollen Einordnung als 6.000er bzw. 8.000er-Plätze ausgewiesen. In Gesamtbayern liegt die durchschnittliche Milchleistung bei ca. 5.800 kg Milch pro Jahr bei ca. 1,23 Mio. Stallplätzen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG 2009). Dieser Mittelwert liegt jedoch unter der Leistung der niedrigsten Leistungsklasse im Modell.

Deswegen wird folgende Grundannahme getroffen: Für Gesamtbayern werden die Stallplätze jeweils zur Hälfte dem 6.000er und dem 8.000er Leistungsbereich zugeord-

net, was einer durchschnittlichen Milchleistung von 7.000 kg Milch pro Jahr entspräche. Der jeweilige Anteil der Leistungsbereiche wird darauf aufbauend nach folgendem Schema (siehe Formel 4-3) ermittelt. Dabei wird zuerst die durchschnittliche Milchleistung des Landkreises ebenfalls nach oben transformiert. Liegt die Milchleistung im Landkreis über der im Schnitt von Bayern, errechnet sich ein Wert über 7.000 kg Milch. Liegt er so hoch, dass der Wert die Marke von 8.000 kg Milch überschreitet, liegt der Anteil der 6.000er Stallplätze bei null, d. h. alle Kühe stehen auf 8.000er Plätzen. Errechnet sich ein Wert unter 6.000 kg Milch stehen alle Milchkühe in der niedrigsten Klasse. Für den Zwischenbereich erfolgt die Verteilung der Stallplätze nach der mittleren Vorgabe (vgl. Formel 4-3).

Formel 4-3: Formeln zur Berechnung des Anteils an Stallplätzen in der Leistungsklasse 6.000 kg Milch pro Jahr

$$A_{6000} = 100 \quad \text{für} \left[\frac{DML(LK)}{DML(BY)} \times 7.000 \right] \leq 6.000$$

$$A_{6000} = \frac{\left\{ \left[\frac{DML(LK)}{DML(BY)} \times 7.000 \right] - 8.000 \right\} \times 100}{-2.000} \quad \text{für } 6.000 \leq \left[\frac{DML(LK)}{DML(BY)} \times 7.000 \right] \leq 8.000$$

$$A_{6000} = 0 \quad \text{für} \left[\frac{DML(LK)}{DML(BY)} \times 7.000 \right] \geq 8.000$$

Anmerkungen:

A_{6000} Anteil an Stallplätzen in der Leistungsklasse 6.000 kg Milch in Prozent

DML (LK) durchschnittliche Milchleistung im Landkreis in kg Milch

DML (BY) durchschnittliche Milchleistung in Bayern in kg Milch

Quelle: eigene Annahmen

Durch diese Vorgehensweise der Transformation der Milchleistung wird allerdings das Leistungspotenzial der Milchviehhaltung leicht überschätzt, so dass im Modell weniger Kühe benötigt werden, um die existierende Milchquote zu erfüllen.

Im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* werden bei der Biogaserzeugung ebenfalls zwei Leistungsklassen unterschieden. Analog zur Festlegung der anteiligen Stallplätze (siehe oben) werden die anteiligen Biogasanlagen ermittelt. Je nach durchschnittlich installierter Anlagengröße in einem Landkreis ergibt sich ein bestimmter Anteil an Kleinanlagen. Im Unterschied zur Milchviehhaltung ist allerdings keine Transformation nach oben notwendig (vgl. Abbildung 4-4, Zeile 70/71).

4.3.6 Ökologische Parameter

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Ausformung des LP-Tableaus ist die Implementierung von ökologischen Komponenten. Diese tragen dazu bei, das Optimierungsergeb-

nis möglichst nachhaltig zu gestalten. Im Modell *LaNuOpt* werden hierbei die Auflagen der Düngeverordnung sowie Erosionsschutzaspekte berücksichtigt.

Um Böden in ihrem fruchtbaren Zustand zu belassen, ist es dringend erforderlich, den Verlust wertvollen Bodens durch Erosion zu minimieren (SCHWERTMANN et al. 1987, S. 5 f.). Die ABAG-Methode (Allgemeine Bodenabtragungsgleichung) stellt dabei eine Möglichkeit dar, den Erosionsgrad abzuschätzen, wobei regionspezifische Faktoren die Basis der Berechnung sind. Eine Rolle spielen dabei die Charakteristik des Regengehens, die Eigenschaften des Bodens, die Länge und Neigung des Hanges, die Bedeckung und Bearbeitung des Bodens sowie die Art von Erosionsschutzmaßnahmen (SCHWERTMANN et al. 1987, S. 9 ff.). Anthropogen, also vom Menschen beeinflussbar, sind dabei lediglich die letzten beiden Faktoren (C-Faktor = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor; P-Faktor = Erosionsschutzfaktor) (AUERSWALD und SCHMIDT 1986, S. 32). Da Erosionsschutzmaßnahmen, wie Terrassierung, Grünstreifen, o. ä. wohl kaum regionsübergreifend angewandt werden können, wird im Rahmen von *LaNuOpt* einzig der C-Faktor betrachtet, um zu entscheiden, welche Kulturen in den jeweiligen Regionen angebaut werden dürfen. Laut SCHWERTMANN et al. (1987, S. 52) kann die ABAG dazu herangezogen werden, maximal zulässige C-Faktoren zu berechnen. AUERSWALD (2009) befindet allerdings diese Methode auf Landkreisebene für sehr ungenau, da hier mit Durchschnittswerten gerechnet werden müsste. Aus diesem Grund wird auf diese Abschätzung verzichtet. Stattdessen beschränkt sich das Modell *LaNuOpt* darauf, die Erosionsgefährdung im Vergleich zur momentanen Bewirtschaftung nicht noch zusätzlich zu erhöhen.

Dazu werden die C-Faktoren im „Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern“ (AUERSWALD und SCHMIDT 1986, S. 22 f.) analysiert. Die mittleren Werte der jeweiligen Landkreise dienen im Folgenden als Vergleichsbasis, die nicht überschritten werden soll. Im Durchschnitt von Bayern ergibt das einen maximal erlaubten C-Faktor in Höhe von 0,19. Den niedrigsten Wert haben mit 0,13 dabei Landkreise aus Oberfranken (Wunsiedel im Fichtelgebirge, Kronach) während andere Landkreise (z. B. Günzburg, Neuburg an der Donau) C-Faktoren in Höhe von 0,26 aufweisen dürfen.

Der C-Faktor der jeweiligen Region wird anschließend mit der zugehörigen Ackerfläche multipliziert. Dieser Wert darf dann durch die Summe der C-Faktoren der einzelnen angebauten Ackerkulturen nicht überschritten werden. Die Bestimmung der C-Faktoren einzelner Kulturen ist nicht so ohne weiteres möglich. U. a. müssen Fruchtfolgeaspekte sowie die zu Grunde liegende Bodenbearbeitung berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Arbeit mehrere Quellen (vgl. Tabelle 4-13) analysiert und auf dieser Basis ein passender C-Faktor gewählt.

Von Bedeutung sind hierbei besonders erosionsanfällige Kulturen, d. h. Kulturen deren C-Faktor den Zielwert einer Region überschreitet. Ein C-Faktor über 0,2 erfordert damit in Bayern beispielsweise den Anbau von Kulturen mit niedrigerem C-Faktor als Aus-

gleich. Hauptsächlich der Anbau von Kartoffeln, Zuckerrüben oder Mais kann hier zu Problemen führen, so dass diese Restriktion die Lösung des LP-Tableaus einschränkt.

Tabelle 4-13: C-Faktoren verschiedener Kulturen im Modell LaNuOpt

Kultur	C-Faktor	Kultur	C-Faktor
Dauergrünland	0,004	Wintertriticale	0,12
Kleegras	0,03	Sommergerste, Hafer	0,17
Stilllegung	0,03	Erbsen, Bohnen	0,20
Ackerfutter	0,04	Kartoffeln	0,29
Winterraps	0,07	Sonnenblumen	0,32
Wintergerste	0,07	Zuckerrüben	0,32
Winterroggen	0,08	Mais	0,35
Winterweizen	0,12	Brache	0,4

Quelle: eigene Darstellung nach TLL 2009; NEMECEK et al. 2004, S. 34; RIPPEL et al. 2004

Die Brache, wie sie in Tabelle 4-13 aufgeführt ist, dient nur als anschaulicher Vergleichspunkt, um zu verdeutlichen, welche Erosion maximal möglich ist. Im Modell *LaNuOpt* wird allerdings davon ausgegangen, dass auf „brach liegenden“ Flächen keine Bodenbearbeitung erfolgt und sich somit eine Vegetation aufbauen kann. Der zugehörige C-Wert wäre demnach der der Stilllegung (0,03).

4.3.7 Sonstige Restriktionen und Anforderungen

Neben den wichtigsten Restriktionen (Fruchtfolge, Umfang Bodenrente II, Ökologische Parameter) sind noch zahlreiche weitere Nebenbedingungen erforderlich, um eine realistische Abbildung der Landnutzung zu generieren. Im Folgenden sollen diese allerdings nur kurz angerissen werden, da eine detaillierte Erläuterung der Umsetzung aller eingesetzten Restriktionen zu umfangreich wäre.

Von Belang ist hier u. a. die Verknüpfung der einzelnen Tierarten. Dies geschieht innerhalb des LP-Tableaus jeweils über eine Doppelzeile im Bereich der Nebenbedingungen mit der Obergrenze null. Nun liefert in dieser Zeile das eine Tierverfahren positive Koeffizienten (z. B. Milchviehhaltung liefert Bullenkälber) und andere Verfahren bedienen sich mit negativen Koeffizienten (z. B. Bullenmast, Weidemast, Ochsenmast). Die zweite Zeile enthält die gleichen Werte nur mit umgekehrten Vorzeichen. Dadurch wird ein ausgeglichener Saldo bei den Bullenkälbern gewährleistet.

Neben der Erfassung der Stallplätze oder der Anbaufläche ist auch die Berücksichtigung von Lieferverpflichtungen und Quoten vorgesehen. So gibt es bei Zuckerrüben Quoten für verschiedene Verwertungslinien (Zuckergewinnung, Ethanolherstellung), die die Anbaufläche eingrenzen. Ähnlich gestaltet sich die Lage bei den Kartoffeln. Auch hier ist eine Ausweitung nicht so einfach möglich, denn der dortige Markt ist über Lieferverpflichtungen sehr stark reglementiert. Die Milcherzeugung ist momentan ebenfalls noch an eine Quote gebunden, die allerdings 2014 abgeschafft werden soll. Aktuell ist bayernweit eine Steigerung der Milchproduktion nicht möglich.

Zusätzlich sind in das LP-Tableau aber auch Mindestanforderungen integriert. Über diese ist die Versorgung von Pferden und Schafen mit Futtermitteln geregelt, für die zum jetzigen Stand des Modells keine eigenen Produktionsverfahren modelliert sind. Und auch für Biogasoptionen, die einen Güllebonus beanspruchen, sind Verknüpfungen erstellt, um die ausreichende Menge an Gülle zu gewährleisten.

Weiterhin existieren noch einige Restriktionen, die optional eingeschaltet werden können, falls es zur Beantwortung einer Fragestellung nötig ist. Dazu zählt u. a. die Begrenzung des Importes von Eiweißfuttermitteln oder des An- und Verkaufs von Tieren von bzw. nach außerhalb von Bayern.

4.4 Treibhausgasinventare im Modell LaNuOpt

Zusätzlich zur Modellierung einer möglichen künftigen Landnutzung, ist es auch möglich, Aussagen bezüglich der Auswirkungen auf das Treibhausgasinventar der Landwirtschaft zu treffen. Dies ist deshalb von Belang, weil die Bundesrepublik Deutschland im Rahmen vielfältiger Abkommen (z. B. Kyoto-Protokoll) dazu verpflichtet ist, die Reduzierung der Emissionen nachzuweisen (DÄMMGEN 2009a, S. 1). In einer Zusammenarbeit des vTI (von Thünen Institut) und des BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) wird regelmäßig der nationale Emissionsbericht für den Bereich der Landwirtschaft veröffentlicht. Dessen Ergebnisse werden anschließend in den nationalen Inventarbericht (UBA 2009, S. 328 ff.) überführt. Zur Quellgruppe Landwirtschaft gehören in Deutschland die Emissionen aus der enterischen Fermentation (Verdauung), aus der Behandlung von Wirtschaftsdüngern und aus den landwirtschaftlichen Böden. Reisanbau und Brandrodung kommen in Deutschland nicht vor. Im Rahmen dieser Arbeit werden die drei wichtigsten Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O = Lachgas) berücksichtigt, d. h. flüchtige organische Verbindungen außer Methan (NMVOC), Ammoniak (NH_3), und Stickstoffmonoxid (NO) werden nicht betrachtet. Die jeweiligen Emissionsquellen sind in Tabelle 4-14 zusammengefasst.

Für das Jahr 2007 werden im nationalen Inventarbericht für die Quellgruppe Landwirtschaft Emissionen in Höhe von ca. 51,5 Mio. t $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ermittelt, was in etwa 5,4 % der Gesamtemissionen Deutschlands entspricht (UBA 2009, S. 47 f.). Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass energiebedingte Emissionen sowie Emissionen der Düngemittelherstellung nicht der Landwirtschaft zugeordnet werden. Werden diese mit einbezogen erhöhen sich die Emissionen auf ca. 130 Mio. t $\text{CO}_{2\text{eq}}$ (DÖHLER und DÄMMGEN 2008, S. 199). Inklusive des vorgelagerten Bereichs, d. h. Bereitstellung von Futtermitteln sowie Maschinen und Gebäuden, werden bei OSTERBURG et al. (2009, S. 23) 156 t $\text{CO}_{2\text{eq}}$ (entspricht ca. 16,4 % der Gesamtemissionen Deutschlands) angegeben.

Tabelle 4-14: Emissionsquellen der Landwirtschaft im nationalen Inventarbericht

Quellgruppe	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Tierhaltung			
Enterische Fermentation		X	
Wirtschaftsdünger-Management		X	X
Pflanzenbau			
Landwirtschaftliche Böden		X	X

Anmerkungen:

CO₂ Kohlenstoffdioxid

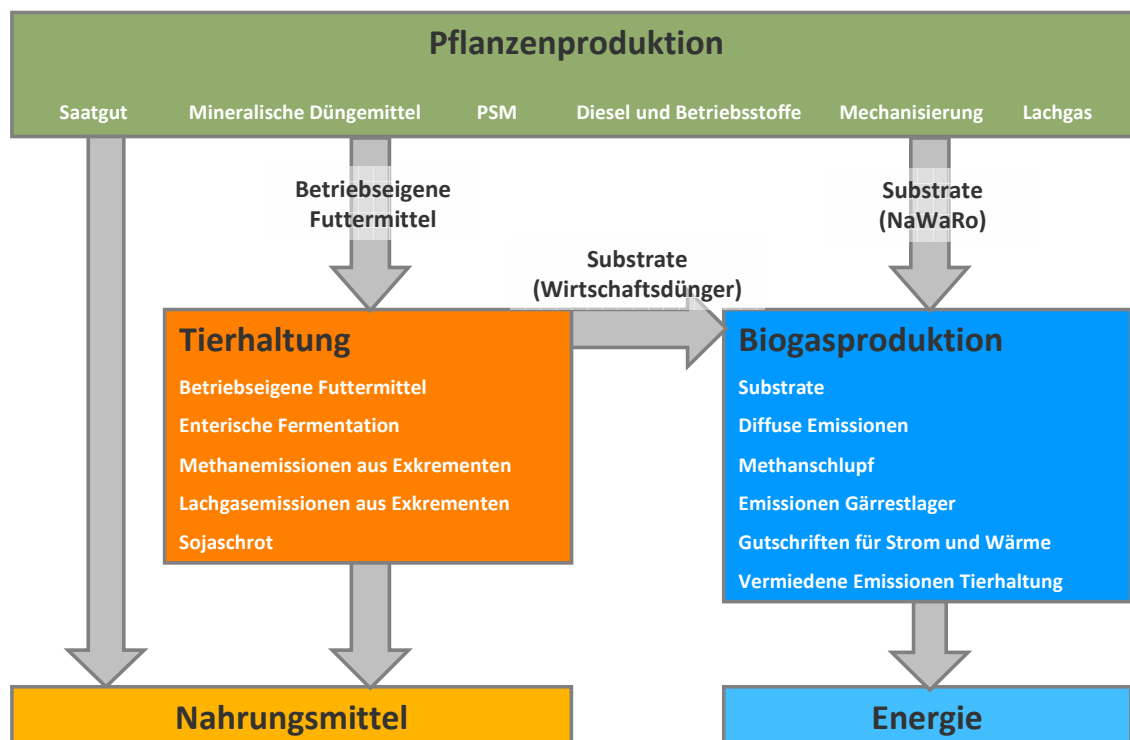
CH₄ Methan

N₂O Lachgas

Quelle: DÄMMGEN 2009ab, UBA 2009, S. 328 ff.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation werden sowohl Treibhausgase des „klassischen“ Inventars als auch weitere Positionen, die mit angemessen Aufwand zu bestimmen sind, erfasst. Dabei handelt es sich um die in Abbildung 4-5 dargestellten Emissionsquellen.

Abbildung 4-5: Berücksichtigte Treibhausgasemissionen im Modell LaNuOpt



Anmerkung:

PSM Pflanzenschutzmittel

Quelle: eigene Darstellung

Die Basis der Berechnungen waren Vorarbeiten am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues (FRIEDL 2009; ZEHETMEIER 2009), so dass auch Emissionen, die bei der Produktion von pflanzlichen Rohstoffen (Nahrungsmittel, Futtermittel, Substrate) oder bei

dem Betrieb von Biogasanlagen anfallen, berücksichtigt werden können. Verwendung finden in diesem Zusammenhang Daten aus dem Modell *RegEnOpt*, das im Rahmen der Dissertation von BERENZ (2009) konstruiert wurde.

Daraus ergeben sich im Modell drei Hauptgruppen, in denen klimarelevante Gase ausgestoßen werden. Zum einen die Pflanzenproduktion, in der neben den bodenbürtigen Lachgasemissionen auch Erzeugnisse der Vorkette einbezogen werden. Zum zweiten die Tierhaltung, die im Gegensatz zum nationalen Treibhausgasinventar auch die zugehörigen betriebseigenen Futtermittel (Grundfutter, Getreidekraftfutter) berücksichtigt und drittens die Biogasproduktion, die im Inventar bisher überhaupt nicht erfasst wird. Dort werden die vergorenen Substrate, diffuse Emissionen (z. B. Leitungsverluste, sonstige Undichtigkeiten) sowie der vorhandene Methanschluß im BHKW (Blockheizkraftwerk) negativ angerechnet. Demgegenüber werden in der Biogasproduktion Emissionen vermieden. Darunter fallen die Gutschriften für die eingesparten fossilen Energieträger zur Produktion von Strom und Wärme. Gleichzeitig werden beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern aus der Tierhaltung Methanemissionen der Lagerung vermieden. Was im Modell *LaNuOpt* unberücksichtigt bleibt, sind die organischen Böden, die annähernd 1/3 der Emissionen in der Kalkulation von SIEBNER et al. (2008) ausmachen. Der Anteil an landwirtschaftlich genutzten organischen Böden liegt allerdings bei nur 8 % (HIRSCHFELD et al. 2008, S. 52), so dass im Rahmen der vorliegenden Arbeit angenommen wird, dass die Produktion auf mineralischen Böden stattfindet. Ein weiterer Punkt, der keine Berücksichtigung findet, sind die so genannten indirekten Emissionen der Böden, die sich durch Auswaschung von Nährstoffen und N-Deposition ergeben, da sie relativ schwer abschätzbar sind und nur indirekt mit der Bewirtschaftung zusammenhängen. Weiterhin werden die Emissionen, die bei der Bereitstellung von Gebäuden und Maschinen in der Tierhaltung bzw. der Biogasproduktion entstehen, vernachlässigt. Deren Berechnung stellt sich aufgrund der Vielfalt und Variabilität der Gebäude als zu komplex dar. Hinzu kommt, dass der Anteil an den Gesamtemissionen unter 10 % liegt (SIEBNER et al. 2008). BRUNSCH et al. (2008, S. 41) beurteilen den Anteil der Investitionsgüter auch als vernachlässigbar gering.

4.4.1 Berechnung der Emissionen in der Pflanzenproduktion

Ausgangsbasis der Berechnung der Emissionen der Pflanzenproduktion ist das Schema, das auch im Modell *RegEnOpt* (BERENZ 2009) Anwendung findet und damit über das nationale Treibhausgasinventar hinausgeht. Die bei der Herstellung von Betriebsmitteln (Saatgut, PSM, mineralische Düngemittel) benötigten Energiemengen und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen in der Vorkette werden anhand von Kennzahlen und der eingesetzten Menge berücksichtigt (vgl. Anhang-Tabelle 2). Für die Bereitstellung der Mechanisierung der jeweiligen Produktionsverfahren werden die Werte von BERENZ (2009) übernommen. Als letzte Position werden noch die auftretenden Lachgasemissionen berücksichtigt. Allerdings wird dabei nicht auf die Methodik von

DÄMMGEN (2009a) zurückgegriffen, sondern ein problemloser zu integrierender Ansatz von BOUWMAN (1996) gewählt. Demnach hängen die Lachgasemissionen (N_2O) direkt von der eingesetzten Düngemenge ab (vgl. Formel 4-4). Dieser Ansatz bildet auch die Basis der Richtlinien des IPCC (2006).

Formel 4-4: Formel zur Berechnung der Lachgasemissionen in CO_2 -Äquivalenten

$$E(N_2O)_{CO_2eq} = (1 + 0,0125 \times D) \times \frac{M_{N_2O}}{M_{N_2}} \times GWP_{N_2O}$$

Anmerkungen:

$E(N_2O)_{CO_2eq}$	Lachgasemissionen in CO_2 -Äquivalenten
D	gedüngte Stickstoffmenge in kg Reinnährstoff
M_{N_2O}	Molmasse von Distickstoffoxid (44 g/mol)
M_{N_2}	Molmasse von Stickstoff (28 g/mol)
GWP_{N_2O}	Global Warming Potential von Distickstoffoxid (298)

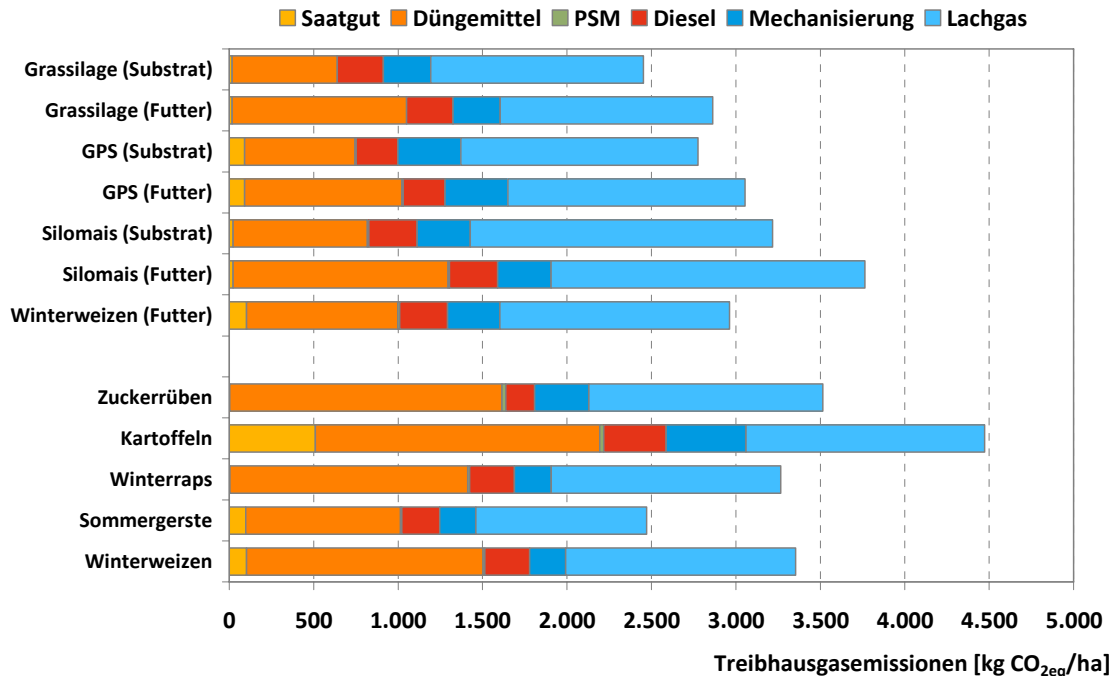
Quelle: eigene Darstellung nach IPCC 2006; BOUWMAN 1996, S. 59

Für die Höhe der Emissionen ist es dabei irrelevant, ob es sich um mineralische Düngemittel oder Wirtschaftsdünger handelt. Das Verhältnis der Molmassen ist für die Umrechnung von Lachgasstickstoff zu Lachgas erforderlich, während das GWP (Global Warming Potential) die Wirksamkeit von Lachgas im Verhältnis zu Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre anzeigt. Da die Lachgasemissionen auf Grünland in der Regel unter denen von Ackerland liegen wird hier die Addition des Faktors 1 unterlassen. Diese Addition entspricht ansonsten dem so genannten „Grundrauschen“ der Kultur, die bei Grünland weit weniger stark ausgeprägt ist (vgl. HIRSCHFELD et al. 2008, S. 44 ff.; JUNGKUNST et al. 2006, S. 344).

Abbildung 4-6 zeigt die Treibhausgasemissionen ausgewählter Verfahren der Pflanzenproduktion. Dabei handelt es sich im unteren Teil um Marktfrüchte, während die darüber aufgetragenen Verfahren als Futtermittel bzw. Substrat im Betrieb verarbeitet werden. Mit Ausnahme der Kartoffel spielt dabei die Bereitstellung von Saatgut keine nennenswerte Rolle. Größere Bedeutung kommt der Bereitstellung von Düngemitteln, wobei es sich hier um künstlich hergestellte mineralische Düngemittel handelt, zu. Rohstoffe der Pflanzenproduktion, die innerhalb des Betriebes genutzt werden, unterliegen einem Nährstoffkreislauf (vgl. Kapitel 4.2.3), weswegen nur die Menge zugekauft werden muss, die innerhalb des Kreislaufes als Verluste anzurechnen sind. Unterschieden wird dabei zwischen Futtermitteln und Substraten. In der Biogaserzeugung verlassen weniger Nährstoffe den Kreislauf, da die Verkaufsprodukte Strom und Wärme im Gegensatz zu tierischen Produkten keine Nährstoffe enthalten. Dementsprechend wird weniger mineralischer Dünger benötigt. Gänzlich belanglos sind die Emissionen, die im Zuge der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln anfallen. Die Herstellung von Diesel und die Produktion der eingesetzten Mechanisierung weisen eine ähnliche Größenordnung auf, liegen in ihrer Bedeutung jedoch hinter der Düngemittelbereit-

stellung und den Lachgasemissionen zurück, die zusammen mehr als 2/3 der Gesamtemissionen darstellen.

Abbildung 4-6: Treibhausgasemissionen in CO₂eq-Äquivalenten je Hektar ausgewählter Verfahren der Pflanzenproduktion



Anmerkung:

PSM Pflanzenschutzmittel

Quelle: eigene Berechnungen

Die gesamten Emissionen bewegen sich für alle Kulturen größtenteils im Bereich von 2.500-4.000 kg CO₂eq/ha. Aus dieser Sicht positiv zu bewerten ist die Branche und der Anbau von schnell wachsenden Hölzern mit 500-700 kg CO₂eq/ha, was hauptsächlich auf das niedrigere Düngungsniveau zurückgeführt werden kann.

4.4.2 Berechnung der Emissionen in der Tierhaltung

Die auf der Fläche produzierten Agrarrohstoffe können auch in Form von Futtermitteln in der Tierhaltung eingesetzt werden (vgl. Abbildung 4-5). Anhand der zu Grunde liegenden Futterfläche werden die Emissionen der Pflanzenproduktion je nach Rationsgestaltung der Tierhaltung zugeordnet. Die nächste wichtige Quellgruppe in der Tierhaltung, die auch im nationalen Inventarbericht erfasst ist, sind die CH₄-Emissionen die durch Fermentationsprozesse während der Verdauung entstehen. Wiederkäuende Tierarten, insbesondere Rinder, sind dabei die Hauptemittenten (UBA 2009, S. 330 ff.). Für die einzelnen Tiergruppen gibt DÄMMGEN (2009ab) jeweils Emissionsfaktoren je Tierplatz an. Dadurch kann keine individuelle Berechnung in Abhängigkeit der Futteraufnahme oder der Leistungsklasse erfolgen. Um dies zu ermöglichen wird im Modell *LaNuOpt* ein alternativer Ansatz verfolgt. Hierzu werden die Methanausscheidungen

von Tiergruppen nach FLACHOWSKY (2008, S. 98) herangezogen. Wiederkäuer emittieren demnach ca. 22,5 g CH₄/kg TM-Aufnahme und Schweine emittieren ca. 2,5 g CH₄/kg TM-Aufnahme. Anhand der Futteraufnahme sowie den hinterlegten Futterflächen können nun die Treibhausgasemissionen je Hektar berechnet werden. Die Abweichung der nach diesem Prinzip kalkulierten CH₄-Emissionen von den Standardemissionsfaktoren des nationalen Inventars können als marginal bezeichnet werden.

Neben den Emissionen aus der enterischen Fermentation entsteht weiteres Methan durch das Wirtschaftsdünger-Management im Stall. In diesem Punkt wird analog zur Berechnungsmethode von DÄMMGEN (2009a) verfahren, die auch von HIRSCHFELD et al. (2008, S. 103) übernommen wurde. Die zugehörige Berechnungsformel ist nachfolgend dargelegt (vgl. Formel 4-5). Entscheidend hierbei ist die Festlegung der Menge an „Volatile Solids“ (VS), die die jeweilige Tierart pro Jahr ausscheidet. Volatile Solids sind Kohlenstoffbestandteile, die als Glühverlust bei 800°C anfallen (DÄMMGEN 2009a, S. 56). Die Menge jeder Tierart kann in DÄMMGEN (2009b) nachgeschlagen werden.

Formel 4-5: Formel zur Berechnung der Methanemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

$$E(CH_4)_{CO_2eq} = VS \times b_0 \times \rho_{CH_4} \times MCF \times GWP_{CH_4}$$

Anmerkungen:

$E(CH_4)_{CO_2eq}$	Methanemissionen in CO ₂ -Äquivalenten
VS	Volatile Solids in kg C pro Jahr
b_0	Methanbildungspotenzial in m ³ CH ₄ je kg C (VS)
ρ_{CH_4}	Dichte Methan (0,67 kg/m ³ CH ₄)
MCF	Methankonversionsfaktor in kg je kg
GWP_{CH_4}	Global Warming Potential von Methan (25)

Quelle: eigene Darstellung nach DÄMMGEN 2009, S. 58

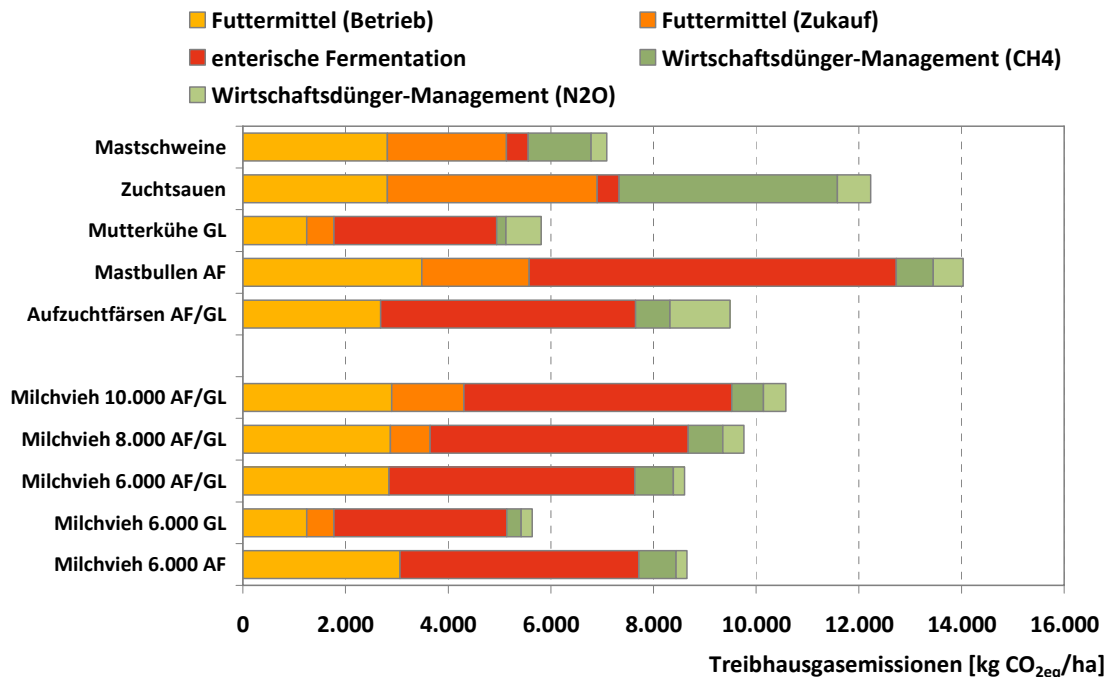
Diesen Volatile Solids wird ein spezifisches Methanbildungspotenzial b_0 zugewiesen, was je nach Tiergruppe unterschiedlich (vgl. Anhang-Tabelle 3) ist. Genauso wird der jeweiligen Haltungsform ein definierter Methankonversionsfaktor beigemessen. Die Emissionen in der Stallhaltung fallen dabei höher aus.

Neben Methanemissionen fallen zusätzlich Lachgasemissionen im Bereich Wirtschaftsdünger-Management an. Auch hier weist die Methodik Emissionsfaktoren aus (siehe Anhang-Tabelle 3). Diese sind bezogen auf die N-Ausscheidungen der einzelnen Tierarten und abhängig vom Haltungssystem. Die N-Ausscheidungen wurden dabei nicht von DÄMMGEN (2009ab), sondern von BOHNENKEMPER et al. (2005) übernommen. Darin werden sowohl unterschiedliche Leistungsklassen als auch unterschiedliche Futterrationen aufgeführt.

Somit ergeben sich Gesamtemissionen in der Tierhaltung, die in Abbildung 4-7 zusammengefasst sind. Als erstes zeigt sich, dass die auf die Futterfläche bezogenen Emissionen weitaus höher sind als im Marktfruchtbau. Dessen Niveau wird allein schon durch die Bereitstellung eigener Futtermittel erreicht, was nur logisch ist, da diese Emissio-

nen der Pflanzenproduktion entstammen. Allerdings addieren sich in der Tierhaltung weitere Positionen hinzu. Zugekaufte Futtermittel, insbesondere Sojaextraktions-schrot, spielen speziell in der Fleischproduktion eine tragende Rolle. Große Unterschiede gibt es bei der Zusammensetzung der Gesamtemissionen. So kommt der enterischen Fermentation in der Rinderhaltung eine tragende Rolle zu, während sie in der Schweinehaltung als nebensächlich bezeichnet werden kann.

Abbildung 4-7: Treibhausgasemissionen in CO_{2eq}-Äquivalenten je Hektar ausgewählter Verfahren der Tierhaltung



Anmerkungen:

Die Anmerkungen hinter den Produktionsverfahren geben die Leistungsklasse (in kg Milch pro Jahr) und die Futtergrundlage an.

AF Ackerfläche

GL Grünland

Quelle: eigene Berechnungen

Außerdem wird deutlich, dass intensivere Verfahren, also Verfahren die eine hohe Produktion je Fläche aufweisen, größere Emissionen auf eben dieser Fläche hervorrufen. Extensive Verfahren, wie die Milchviehhaltung ausschließlich auf Grünland oder die Mutterkuhhaltung weisen dementsprechend geringere Emissionen auf, haben aber gleichzeitig eine geringere Leistung je Hektar. Aus diesem Grund soll in Tabelle 4-15 kurz auf die Emissionen je erzeugter Produktionseinheit am Beispiel Milch eingegangen werden. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass die Verfahren mit weiteren Produktionsverfahren verknüpft sind. Ein Wechsel von einer Milchkuh mit einer Jahresleistung von 6.000 kg/Jahr zu einer mit 10.000 kg/Jahr hat weit reichende Auswirkungen auf alle nachfolgenden Produktionsverfahren der Nachzucht und der Mast, so dass eine

alleinige Betrachtung der Milchproduktion nur begrenzte Rückschlüsse zulässt (vgl. ZEHETMEIER 2009, S. 60 ff.).

Tabelle 4-15: Treibhausgasemissionen in der Milchviehhaltung – Vergleich der Emissionen je Hektar, je Tier und je kg Milch

Leistung Futtergrundlage	Verfahren der Milchviehhaltung				
	6.000 AF	6.000 GL	6.000 AF/GL	8.000 AF/GL	10.000 AF/GL
Milchleistung [kg/Tier]	6.000	6.000	6.000	8.000	10.000
Flächenbedarf [ha/Tier]	0,63	0,90	0,61	0,67	0,74
Milchleistung [kg/ha]	9.562	6.660	9.902	11.896	13.507
Emissionen [kg CO _{2eq} /ha]	8.653	5.636	8.604	9.763	10.577
Emissionen [kg CO _{2eq} /Tier]	5.430	5.077	5.214	6.566	7.831
Emissionen [kg CO _{2eq} /kg Milch]	0,90	0,85	0,87	0,82	0,78

Anmerkungen:

AF Ackerfläche

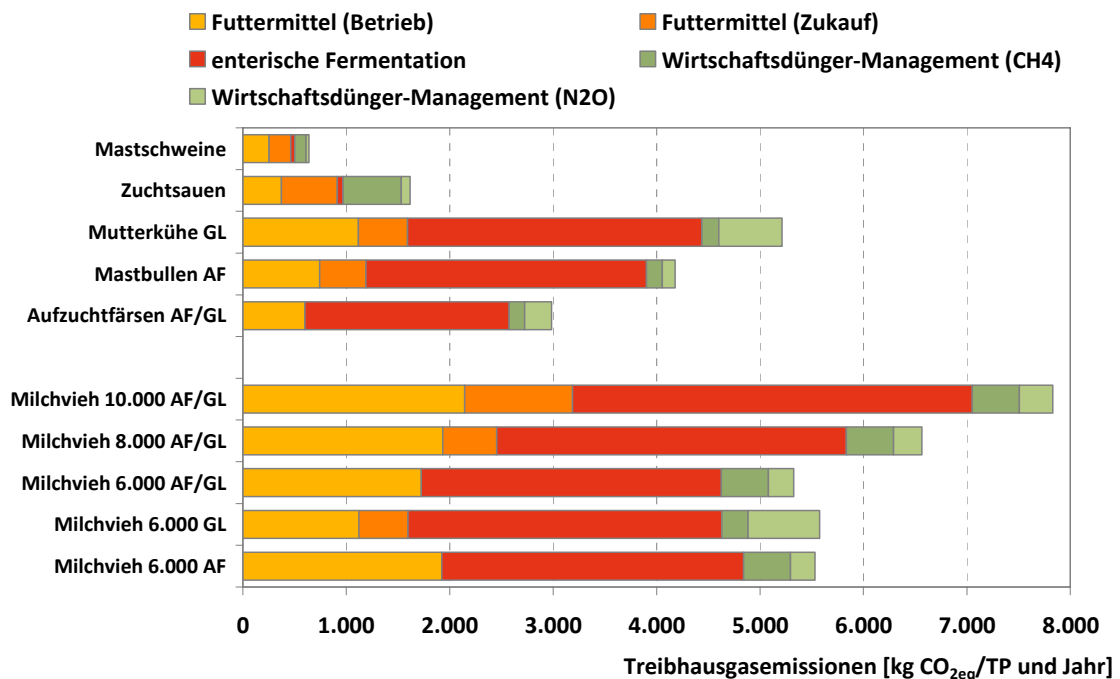
GL Grünland

Quelle: eigene Berechnungen

Hierbei wird klar, dass die Emissionen, bezogen auf die Fläche oder das Einzeltier, bei einer Steigerung der Leistung zunehmen. Wird die Produktivität als Maßstab herangezogen, hat die leistungsstarke Gruppe einen Vorteil. Die Emissionen sinken von ca. 0,87 kg CO_{2eq}/kg Milch auf 0,78 kg CO_{2eq}/kg Milch. HIRSCHFELD et al. (2008, S. 104) kommen in ihren Rechnungen für konventionelle Betriebe auf Werte in der gleichen Größenordnung (0,85 kg CO_{2eq}/kg Milch). Gleichzeitig werden auch weniger Kälber geboren, so dass weitere Emissionen eingespart würden. Allerdings sinkt damit auch die Fleischproduktion. Soll diese aufrechterhalten werden, muss zusätzlich Fleisch produziert werden. Dadurch würden dann wiederum Emissionen freigesetzt werden. ZEHETMEIER (2009, S. 88 ff.) kommt beispielsweise zu dem Ergebnis, dass eine Milchleistungssteigerung nur dann die Treibhausgasemissionen reduziert, wenn die fehlende Rindfleischmenge nicht durch Mutterkuhhaltung ersetzt werden muss.

Abschließend werden in diesem Unterpunkt die im Modell *LaNuOpt* verwendeten Treibhausgasemissionen in der Tierhaltung je Tierplatz beschrieben. Die Werte aus Abbildung 4-7 werden über den modellierten Flächenbedarf pro Tierplatz umgelegt. Dadurch wird es leichter möglich einzelne Tierarten zu vergleichen. Besonders der Unterschied zwischen den Wiederkäuern und den Schweinen wird dadurch illustriert (vgl. Abbildung 4-8). Die relativ niedrigen Emissionswerte bei der Schweinehaltung ergeben sich hauptsächlich aus zwei Gründen. Zum einen handelt es sich um kleinere Tiere, die damit automatisch einen geringeren Umsatz vorweisen und zum anderen besitzen sie als Monogastrier keine Pansenbakterien. Die Quellgruppe „enterische Fermentation“ entfällt somit fast vollständig.

Abbildung 4-8: Treibhausgasemissionen in CO_{2eq}-Äquivalenten je Tierplatz ausgewählter Verfahren der Tierhaltung



Anmerkungen:

Die Anmerkungen hinter den Produktionsverfahren geben die Leistungsklasse (in kg Milch pro Jahr) und die Futtergrundlage an.

TP Tierplatz

AF Ackerfläche

GL Grünland

Quelle: eigene Berechnungen

Offensichtlich sind die höheren Lachgasemissionen aus Exkrementen bei Weidehaltung (Milchvieh 6.000 GL, Mutterkühe GL). Bei beiden Verfahren liegen diese etwa dreimal so hoch wie bei den restlichen Verfahren der Rinderhaltung.

4.4.3 Berechnung der Emissionen in der Biogaserzeugung

Im Gegensatz zu den Treibhausgasinventaren, die die Biogasproduktion noch nicht erfasst haben, wird sie im Modell *LaNuOpt* bilanziert. Ihr steht eine exponierte Stellung zu, da in diesem Bereich sowohl Emissionen entstehen als auch Emissionen eingespart werden können. Dabei werden nicht nur Emissionen durch die Substitution fossiler Energieträger eingespart, sondern zusätzlich werden Emissionen, die im Wirtschaftsdünger-Management der Tierhaltung auftreten (siehe oben), vermieden (BACHMEIER et al. 2009, S. 2 ff.; BACHMEIER et al. 2008, S. 194 ff.; DÖHLER 2009, S. 36 ff; DÖHLER et al. 2008, S. 179 ff. LFU 2007, S. 89 ff.). Bei der Biogaserzeugung können diese diversen Gutschriften den bei der Strom- und Wärmeproduktion anfallenden Emissionen gegengerechnet werden (vgl. Abbildung 4-5).

Ähnlich wie in der Tierhaltung werden in der Biogasproduktion Rohstoffe aus der Pflanzenproduktion eingesetzt. Ebenso möglich ist die Einbringung von Wirtschafts-

düngern in den Fermenter. Die beim Anbau entstehenden Emissionen werden nach dem Berechnungsschema aus Kapitel 4.4.1 berücksichtigt. Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung haben dagegen keinen „Treibhausgasrucksack“. Deren klimarelevante Gase werden bereits in der Tierhaltung erfasst (Kapitel 4.4.2).

Als zweite Emissionsquelle, nach der Bereitstellung der Substrate, wird in vielen Studien der so genannte Methanschlupf aufgeführt. Methanschlupf bezeichnet dabei die Methanemissionen, die im Zuge des Verbrennungsvorgangs im Motor entstehen. Laut BACHMEIER et al. (2008, S. 198) entweicht zwischen 0,25 % und 1,30 % des zugeführten Methans. Für Berechnungen im Rahmen des Modells *LaNuOpt* wird ein Wert von 0,5 % angenommen, der u. a. im EU-Agro-Biogasprojekt verwendet wird (DÖHLER 2009, S. 36; FRIEDL 2009, S. 32).

Bevor das Gas im Motor ankommt, treten jedoch bereits verschiedenartige diffuse Methanemissionen auf. Hier wird die Annahme von BACHMEIER et al. (2008, S. 198) übernommen. Über die Überdrucksicherung oder technische Undichtigkeiten entweicht ca. 1 % des Biogases (auch so übernommen im EU-Agro-Biogasprojekt; FRIEDL 2009, S. 32).

Im Anschluss an die Vergärung der Substrate müssen die anfallenden Gärreste gelagert werden. Dabei kann es zu diffusen Methanemissionen kommen, wenn das Gärrestlager nicht abgedeckt ist. Das Restmethanpotenzial kann dabei laut LFU (2007, S. 88) bzw. MAJER und DANIEL (2008, S. 191) bis zu 10 % des produzierten Methans betragen. Unter Praxisbedingungen wurden z. T. aber weitaus geringere Emissionen gemessen (0,8 %; BACHMEIER et al. 2008, S. 199). Im Modell wird ein Wert von 3 % angesetzt. Im Modell kann optional festgelegt werden, dass die Gärrestlager überdacht sind. In diesem Fall entfällt diese Quellgruppe.

Die Emissionen der Bauwerke und der Mechanisierung der Biogasanlage werden nicht erfasst, um einheitliche Systemgrenzen zu erhalten, da in der Tierhaltung Bauwerke und Mechanisierung ebenfalls nicht berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4.4.2). Genauso wird mit dem Punkt Prozessstrom verfahren.

Wie oben bereits angekündigt, bieten Biogasanlagen die Möglichkeit, Treibhausgase einzusparen. Am offensichtlichsten sind hierbei die Gutschriften für die Erzeugung von Strom und Wärme. Der auf der Basis von Biomasse gewonnene Strom ist in der Lage fossilen Strom zu ersetzen. Je nachdem, welcher Brennstoff dafür eingesetzt wird, werden mehr oder weniger Treibhausgase emittiert. Im bayerischen Strommix betragen die Emissionen lediglich 0,202 kg CO_{2eq}/kWh_{el} (BERENZ 2009), während für den deutschen Strommix 0,720 kg CO_{2eq}/kWh_{el} (FRIEDL 2009, S. 36) anzusetzen sind. Diese Differenz ergibt sich aus dem hohen Anteil von Atomstrom in Bayern, der aus Sicht der Klimawirksamkeit sehr sauber ist. Im Zuge einer Vergleichbarkeit mit anderen deutschen Studien, wird der deutsche Strommix herangezogen. Außerdem würde die Anwendung des bayerischen Maßstabes die positive Klimawirkung von Biogasanlagen in

Frage stellen, nur weil die Anlage in Bayern steht. Das Koppelprodukt der Stromerzeugung ist die anfallende Wärme, die ebenfalls die fossile Referenz substituieren kann. Der fossile Wärmemix (56,9 % Erdgas, 40,5 % Heizöl und 2,6 % Kohle) verursacht Emissionen in Höhe von 0,288 kg CO_{2eq}/kWh_{th} (FRIEDL 2009, S. 34), die je nach abgegebener Wärmemenge gutgeschrieben werden.

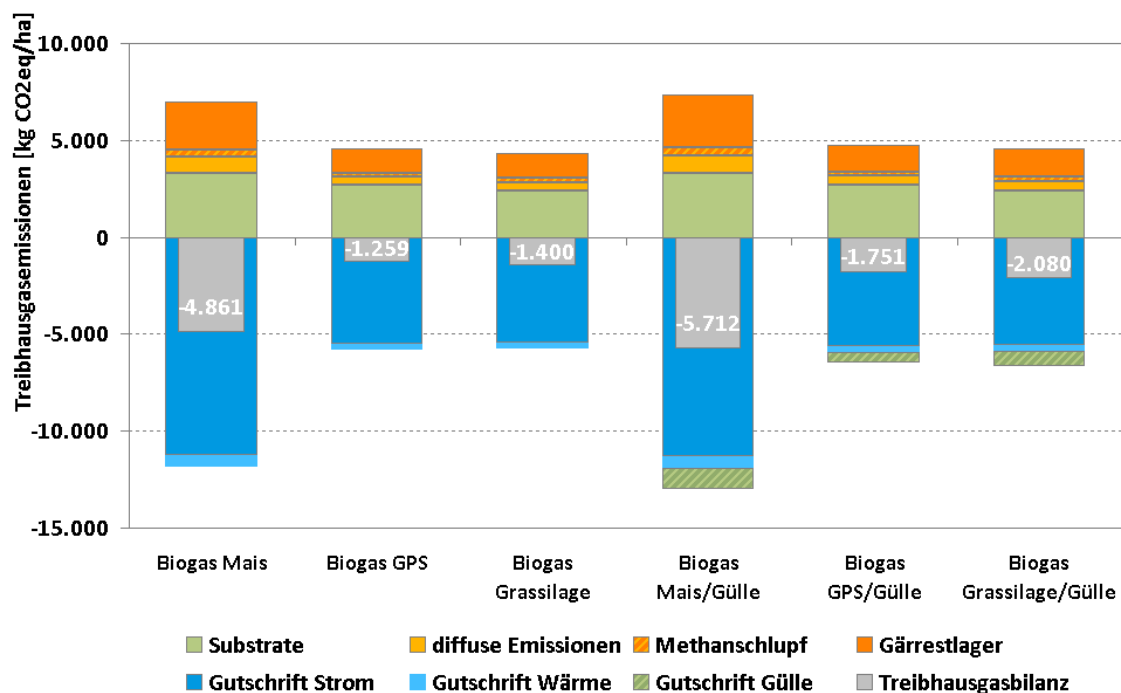
Schließlich können noch Minderemissionen aus der Wirtschaftsdüngervergärung ausgewiesen werden. DÖHLER et al. (2008, S. 179 ff.) zeigen, dass durchaus ein beachtliches Einsparpotenzial vorhanden ist, wenn größere Methanverluste vermieden werden. Dieser Umstand wird beispielsweise auch im Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung hervorgehoben (WBA 2007, S. 74). Die Abschätzung der Höhe der Minderemissionen wird von BACHMEIER et al. (2009, S. 2) bzw. BACHMEIER et al. (2008, S. 199) übernommen und entspricht den Daten im EU-Agro-Biogasprojekt des KTBL (FRIEDL 2009, S. 33). Dabei wird davon ausgegangen, dass bei Gülle 15 % des Methantragungspotenzials eingespart wird. Bei Festmist kann von 10 % ausgegangen werden.

Aufgrund der zahlreichen Gutschriften weisen Biogasanlagen oftmals eine positive Treibhausgasbilanz auf (BACHMEIER et al. 2009, S. 3 ff.; BACHMEIER et al. 2008, S. 199; DÖHLER 2009, S. 36 f.; Friedl 2009, S. 49 ff.; GRONAUER et al. 2008, S. 78 ff.; LFU 2007, S. 90 ff.), d. h. sie tragen dazu bei, das Treibhausgasinventar zu verkleinern. Zu der gleichen Erkenntnis führen auch die Kalkulationen für eine 150 kW-Anlage im Modell *LaNuOpt* (vgl. Abbildung 4-9).

Alle sechs dargestellten Beispiele zeigen eine negative Treibhausgasbilanz, d. h. es werden mehr Emissionen eingespart wie ausgestoßen. Den größten Beitrag je Hektar liefert der Silomais dank seines hohen Energieertrages. Annähernd 5.000 kg CO_{2eq}/ha werden eingespart. Durch den Einsatz von Gülle erhöht sich dieser Wert sogar noch. Andere Kulturen erzielen einen weniger hohen Beitrag zum Klimaschutz. Deutlich herausgehoben werden die entscheidenden Parameter der Treibhausgasbilanz. Auf der einen Seite die Emissionen im Zuge der Substratbereitstellung und im Gärrestlager und auf der anderen Seite die Gutschriften für die Substitution fossilen Stroms. Liegt, wie für den Neubau von nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftigen Anlagen vorgeschrieben (BGBL 2008, S. 2093), ein geschlossenes Gärrestlager vor, entfällt diese Emissionsquelle, was sich positiv auf die Treibhausgasbilanz auswirkt (vgl. auch Tabelle 4-16). Die Treibhausgaseinsparung beträgt in diesem Fall bei Einsatz von einem Hektar Silomais fast 7.000 kg CO_{2eq}/ha. Ähnliche Werte errechnet BERENZ (2008, S. 208). Wird die verfügbare Wärme komplett genutzt, sind demnach sogar Einsparungen bis zu 11.000 kg CO_{2eq}/ha möglich. Einschränkend muss an dieser Stelle auf das Referenzsystem hingewiesen werden. Würde anstatt des deutschen der bayerische Strommix (siehe oben) herangezogen, würde sich die Treibhausgasbilanz umkehren. Dann würden in der Biogasoption mehr Klimagase frei werden als die fossilen Alternative.

In vielen Studien wird die Treibhausgasbilanz nicht je Hektar ausgedrückt, sondern je Kilowattstunde erzeugten Strom. Tabelle 4-16 zeigt die umgerechneten Ergebnisse aus Abbildung 4-9. Auch hier zeigt die C4-Pflanze Mais ihre Stärke. Bei offenem Gärrestlager wird eine Einsparung von ca. 43 %, bei geschlossenem Gärrestlager von ca. 60 %, erreicht. Auch bei anderen Substratkombinationen können beachtliche CO₂-Minderungspotenziale festgestellt werden. So erreicht beispielsweise die Kombination Grassilage/Gülle mit 59 % eine ähnlich hohe Treibhausgaseinsparung wie Maissilage.

Abbildung 4-9: Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen (Leistung 150 kW) im Modell LaNuOpt je Hektar Substratfläche bei unterschiedlichen Substraten



Anmerkungen:

Nutzung von 12,5 % der auskoppelbaren Wärme

Gülleanteil: 35 FM % des Substratinputs

Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt deuten die vorliegenden Bilanzen an, welchen enormen Einfluss gewisse Parameter auf die Treibhausgasbilanz haben können. MAJER und DANIEL (2008, S. 188 ff.) bestätigen dies in ihrem Beitrag. Darin wird auch deutlich, dass vor allem in einer stärkeren Wärmenutzung Potenziale für die Zukunft zu finden sind. Bei hohen Gülleanteilen, geschlossenem Gärrestlager und vernünftigem Wärmekonzept werden im Vergleich zum fossilen Strommix sogar mehr als 100 % eingespart. Auch bei BACHMEIER et al. (2008, S. 196 ff.) zeigt sich das breite Spektrum der Treibhausgasbilanzierung bei Biogasanlagen. In seinen Untersuchungen im Rahmen des EU-Agro-Biogasprojektes kommt FRIEDL (2009, S. 49 ff.) ebenfalls auf Emissionen im Bereich der in Tabelle 4-16 gezeigten Resultate.

Tabelle 4-16: Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen (Leistung 150 kW) im Modell LaNuOpt je kWh erzeugtem Strom Substratfläche bei unterschiedlichen Substraten

Substrat	Verfahren der Biogaserzeugung					
	Mais	GPS	Grassilage	Mais Gülle	GPS Gülle	Grassilage Gülle
Stromerzeugung [kWh _{el} /ha]	15.639	7.700	7.591	15.739	7.829	7.757
Emissionen fossiler Strom [kg CO _{2eq} /kWh _{el}]	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
offenes Gärrestlager						
Treibhausgasbilanz [kg CO _{2eq} /ha]	-4.861	-1.259	-1.400	-5.712	-1.751	-2.080
Treibhausgasbilanz [kg CO _{2eq} /kWh _{el}]	-0,31	-0,16	-0,18	-0,36	-0,22	-0,27
Einsparung [%]	43	23	26	50	31	37
geschlossenes Gärrestlager						
Treibhausgasbilanz [kg CO _{2eq} /ha]	-6.734	-2.219	-2.438	-7.802	-2.820	-3.269
Treibhausgasbilanz [kg CO _{2eq} /kWh _{el}]	-0,43	-0,29	-0,32	-0,50	-0,36	-0,42
Einsparung [%]	60	40	45	69	50	59

Anmerkungen:

Nutzung von 12,5 % der auskoppelbaren Wärme

Gülleanteil: 35 FM % des Substratinputs

Quelle: eigene Berechnungen

Für das Modell *LaNuOpt* wurden diese Berechnungen auch für die höhere Leistungsstufe (300 kW) durchgeführt. Die Treibhausgasbilanzen liegen dabei in einem ähnlichen Bereich.

4.5 Funktionsweise des Modells

Zum Abschluss wird die Funktionsweise des Modells anhand eines einfachen Beispiels erläutert. Dabei kann nicht auf alle Einzelheiten des Gesamtmodells eingegangen werden. Vielmehr soll nur ein kurzer Einblick gegeben werden, um die Ergebnisse des Modells leichter zu verstehen. Im Modell erfolgen die Optimierung der Landnutzung und damit die Simulierung der Verhaltensweise von Landwirten auf der Basis mehrerer Parameter. Einige davon sind in Tabelle 4-17 zusammengefasst.

Entscheidend für das Ergebnis einer zukünftigen Landnutzung ist erst einmal der Ist-Zustand. Hierzu wird ein vereinfachtes Beispiel für einen Betrieb mit 100 ha erstellt. Dabei wird angenommen, dass alle miteinander verknüpften Produktionsverfahren in diesem Betrieb zu finden sind. Dies ist zwar in einem Einzelbetrieb üblicherweise nicht der Fall, jedoch für Modelle, die über den Einzelbetrieb hinausgehen durchaus zielführend.

Tabelle 4-17: Ausgewählte Parameter zur Verdeutlichung der Funktionsweise des Modells LaNuOpt

Produktionsverfahren	BR I	BR II	innerbetriebliche Anforderungen
Fruchtfolge (WW-WG-WRa)	381	594	1 ha AF
Milchkuh 6.000	-52	1.103	0,42 ha AF & 0,58 ha GL; Abgabe: 1,49 Kälber/ha u. Jahr; Anspruch: 0,46 Aufzuchtfärsen/ha u. Jahr
Milchkuh 8.000	603	1.705	0,44 ha AF & 0,56 ha GL; Abgabe: 1,43 Kälber/ha u. Jahr; Anspruch: 0,41 Aufzuchtfärsen/ha u. Jahr
Aufzuchtfärsen	-445	216	1 ha GL; Abgabe: 1,07 Aufzuchtfärsen/ha u. Jahr Anspruch: 1,20 Kuhkälber/ha u. Jahr
Mastfärsen	-303	625	0,81 ha AF & 0,19 ha GL; Anspruch: 3,28 Kuhkälber/ha u. Jahr
Mastbullen	-62	1.145	0,96 ha AF & 0,04 ha GL; Anspruch: 3,74 Bullenkälber/ha u. Jahr
Ferkelerzeugung	48	2.031	1 ha AF; Abgabe: 167 Ferkel/ha u. Jahr Anspruch: 3,42 Jungsauen/ha u. Jahr
Schweinemast	548	954	1 ha AF; Anspruch: 29 Ferkel/ha u. Jahr
Biogas 150 kW Mais	661	1.695	1 ha AF
Biogas 150 kW Grassilage	-77	508	1 ha GL
Biogas 150 kW Mais mit Güllebonus	1.377	2.467	1 ha AF; Anspruch: 23 m ³ Gülle/ha u. Jahr
Biogas 150 kW Grassilage mit Güllebonus	576	1.224	1 ha GL; Anspruch: 19 m ³ Gülle/ha u. Jahr

Anmerkungen:

- BR Bodenrente
- AF Ackerfläche
- GL Grünland
- WW Winterweizen
- WG Wintergerste
- WRa Winterraps

Quelle: eigene Berechnungen

In der Ist-Situation entfallen 10 ha (4,2 ha Ackerland + 5,8 ha Grünland) der Betriebsfläche auf eine Milchviehherde (ca. 16 Kühe) in der Leistungsklasse 6.000 kg/Jahr. Die geborenen Kälber (14,9 Stück) werden auf die verschiedenen Anschlussverfahren verteilt, so dass die gesamte Rinderhaltung 6,7 ha Ackerland und 10,3 ha Grünland beansprucht. Auf der restlichen Fläche wird eine Fruchtfolge aus Winterweizen, Wintergerste und Winterraps angenommen. Für die Ist-Situation ist die Bodenrente II der jeweiligen Verfahren von Relevanz, so dass sich die in Tabelle 4-18 abgebildete Gesamtbodenrente errechnet.

Tabelle 4-18: Gesamtbodenrente in der Ist-Situation des Minibeispiels

Anzahl	Produktionsverfahren	Fläche	BR I	BR II	Gesamtbodenrente
	Fruchtfolge (WW-WG-WRa)	83,0	381	594	49.309
16,0	Milchkuh 6.000	10,0	-52	1.103	11.027
4,6	Aufzuchtfärsen	4,3	-445	216	931
2,3	Mastfärsen	0,7	-303	625	437
7,5	Mastbullen	2,0	-62	1.145	2.290
	Summe				63.995

Anmerkungen:

BR Bodenrente

WW Winterweizen

WG Wintergerste

WRa Winterraps

Quelle: eigene Berechnungen

Um zu entscheiden, ob es für die Zukunft eine wirtschaftlichere Verfahrenskombination gibt, wird die Bodenrente I der Alternativen dem gegenübergestellt. Verfahren der Schweinehaltung sind aus dieser Sicht wenig attraktiv. Allerdings zeigt sich die Biogaserzeugung auf Ackerland als konkurrenzfähig. Soll dieses ins Betriebssystem aufgenommen werden, muss dafür ein anderes Verfahren, nämlich das wettbewerbschwächste, weichen. Dies sind nicht die Aufzuchtfärsen, die eine relativ niedrige Bodenrente II (216 €/ha) aufweisen. Zum einen wird diese auf Grünland erzielt, wo auch die Biogaserzeugung nicht so lukrativ ist, und zum anderen sind die Aufzuchtfärsen mit weiteren Verfahren verknüpft, die eine höhere Bodenrente II aufweisen. Insgesamt werden im Schnitt in der Rinderhaltung über 900 € unter den gegebenen Rahmenbedingungen erreicht. Im Marktfruchtbau besteht ein Verfahren, das von der Biogaserzeugung geschlagen wird. Die dafür bisher zu Grunde liegenden 83,0 ha Erlösen durch die Umstrukturierung ca. 55.000 €, so dass sich die Gesamtbodenrente in diesem Fall um über 5.000 € erhöht (vgl. Tabelle 4-19).

Tabelle 4-19: Gesamtbodenrente bei Umstellung auf Biogas ohne Güllebonus im Minibeispiel

Anzahl	Produktionsverfahren	Fläche	BR I	BR II	Gesamtbodenrente
	Biogas 150 kW Mais	83,0	661	1.695	54.844
16,0	Milchkuh 6.000	10,0	-52	1.103	11.027
4,6	Aufzuchtfärsen	4,3	-445	216	931
2,9	Mastfärsen	0,7	-303	625	437
7,5	Mastbullen	2,0	-62	1.145	2.290
	Summe				69.529

Anmerkung:

BR Bodenrente

Quelle: eigene Berechnungen

Diese aufgeführte Lösung stellt aber noch nicht das Optimum dar. Es könnte durchaus sinnvoll sein, weniger Fläche für die Biogasanlage zu Verfügung zu stellen, so dass die vorhandene Gülle ausreicht, um den zusätzlichen Güllebonus zu erreichen. In diesem Fall ergibt das eine deutlich höhere Gesamtbodenrente (vgl. Tabelle 4-20). Im Einzelbetrieb wäre diese Lösung nicht umsetzbar, da die Fläche zum Substratanbau nur für eine installierte Leistung von ca. 50 kW ausreicht. Aber überregional ist solch ein Szenario im Zuge von Gemeinschaftsanlagen oder Substratlieferverträgen realisierbar.

Tabelle 4-20: Gesamtbodenrente bei Umstellung auf Biogas mit Güllebonus im Mini-beispiel

Anzahl	Produktionsverfahren	Fläche	BR I	BR II	Gesamtbodenrente
	Fruchtfolge (WW-WG-WRa)	60,0	381	594	35.645
	Biogas 150 kW Mais mit Güllebonus	23,0	1.377	1.695	31.671
16,0	Milchkuh 6.000	10,0	-52	1.103	11.027
4,6	Aufzuchtferßen	4,3	-445	216	931
2,3	Mastferßen	0,7	-303	625	437
7,5	Mastbullen	2,0	-62	1.145	2.290
	Summe				82.002

Anmerkungen:

BR Bodenrente
 WW Winterweizen
 WG Wintergerste
 WRa Winterraps

Quelle: eigene Berechnungen

Aber auch diese mögliche Lösung muss noch nicht unbedingt das Optimum darstellen. Es könnte u. U sinnvoll sein in die Schweinehaltung einzusteigen, die ja auch Gülle bereitstellen könnte. Da es nicht so ohne weiteres möglich ist manuell eine optimale Lösung zu finden, ist das Hilfsmittel Lineare Programmierung vorzuziehen. Abbildung 4-10 zeigt einen Ausschnitt des einfachen Tableaus für das Mini-beispiel. Ein erster Blick gilt der orange eingefärbten Zelle der Gesamtbodenrente. Mit 108.000 € fällt diese definitiv höher aus als in den beiden manuell durchgeführten Optimierungen.

Der entscheidende Optimierungsschritt liegt in diesem Fall in der Einführung der Schweinehaltung. Knapp 23 ha werden dafür herangezogen (vgl. Spalte 13 und 14 in Abbildung 4-10), so dass ausreichend Gülle vorhanden ist, um auf 60 ha Mais für die Biogasproduktion anzubauen (Spalte 16). Die ausreichende Güllemenge in der Biogasanlage wird durch Zeile 25 gewährleistet. Die ehemals für den Marktfruchtbau bestellten Ackerflächen, werden nun zur Erzeugung von Schweinefutter bzw. Substrat verwendet. Auch hier muss einschränkend angemerkt werden, dass auf einzelbetrieblicher Ebene diese Lösung keine Anwendung finden wird, da die einzelnen Produktionsrichtungen keine ausreichende Größe vorweisen können. In einem Landnutzungs-

dell auf überregionaler Ebene stellen diese Splitterverfahren kein Problem dar, da dort genügend Kapazitäten zur Verfügung stehen.

Abbildung 4-10: Ausschnitt aus dem Lösungstableau für das Minibeispiel

				13	14	15	16	17
				FeEr	MaSc	BG 150 Mais	BG 150 Mais GB	BG 150 GS
				ha	ha	ha	ha	ha
				FeEr [ha]	MaSc [ha]	BG 150 Mais [ha]	BG 150 Mais GB [ha]	BG 150 GS [ha]
Zielzeile				48,00	548,00	661,00	1.377,00	-77,00
Umfang				3,37	19,39	0,00	60,27	0,00
Restriktionen								
				Einheit	Grenze	genutzt		
1	Ackerland	ha	89,70	89,70	1,00	1,00	1,00	1,00
2	Grünland	ha	10,30	10,30	-	-	-	1,00
3			-	-				
4	Aktuelle Struktur							
5	Fruchtfolge	ha	83,00	-				
6	Milchkuh 6000	ha	10,00	9,99				
7	Milchkuh 8000	ha	-	-				
8	Aufzuchtferäsen	ha	4,30	4,29				
9	Mastferäsen	ha	0,70	0,70				
10	Mastbullen	ha	2,00	1,99				
11	Ferkelerzeugung	ha	-	-				
12	Schweinemast	ha	-	-				
13	Biogas 150	ha	-	-				
14			-	-				
15	Innerbetriebliche Verknüpfungen							
16	Kuhkälber	Stück	-	-0,00				
17	Kuhkälber	Stück	-	0,00				
18	Bullenkälber	Stück	-	0,00				
19	Bullenkälber	Stück	-	-0,00				
20	Aufzuchtferäsen	Stück	-	-0,00				
21	Aufzuchtferäsen	Stück	-	0,00				
22	Ferkel	Stück	-	-0,00	-167,00	29,00		
23	Ferkel	Stück	-	0,00	167,00	-29,00		
24			-	-				
25	Güllehandel	m³	-	-0,00	-60,83	-33,00	23,00	

Anmerkungen:

FeEr Ferkelerzeugung

MaSc Mastschweine

BG Biogas

GB Güllebonus

GS Grassilage

Quelle: eigene Berechnungen

In diesem Minibeispiel fehlen weiterhin noch etliche im Modell *LaNuOpt* integrierte Restriktionen (z. B. Fruchtfolge). Außerdem werden dort viele weitere Nutzungsoptionen und –Nutzungskombinationen bereitgestellt. Manuell noch eine Lösung zu finden ist deshalb unmöglich. Diese Lösung ist zudem geprägt durch die regionalen Rahmenbedingungen. So steht im obigen Minibeispiel kein zusätzliches Grünland zur Verfügung. Ein Ausbau der Milchviehhaltung anstatt des Neueinbaus einer Schweineproduktion ist aus diesem Grund nicht möglich. Allgemein gestattet es das Modell den komplexen Entscheidungsprozess zu automatisieren, ohne dabei die Interpretationsmöglichkeiten zu verlieren.



5 Beschreibung der untersuchten Szenarien

Das Modell *LaNuOpt* ermöglicht zahlreiche unterschiedliche Rahmenbedingungen, unter denen der Benutzer eine zukünftige Landnutzung simulieren kann. Da so viele Varianten rechenbar sind, ist die Festlegung von Szenarien notwendig. Davon ausgehend können, falls es nötig erscheint, weitere kleinere Szenaretten (=Unterszenario) entwickelt werden, bei denen nur einzelne Parameter innerhalb eines Szenarios verändert werden, um die Sensitivität der Ergebnisse zu analysieren. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation werden vier Hauptszenarien untersucht, denen z. T. Szenaretten zugeordnet sind.

5.1 Ausgangsszenario („AS“)

Dieses erste Szenario ist von besonderer Bedeutung, da es zur Modellvalidierung dient. Die Validierung ist eine Grundanforderung bei der Erstellung von Modellen (ODENING und BALMANN 1997, S. 378 ff.). Eine Möglichkeit dem nachzukommen, ist ein Vergleich der Modellergebnisse mit der Realität (MCCARL und APLAND 1986, S. 156 ff.). Die Modellergebnisse sollten dabei nur in geringem Umfang von der tatsächlich existierenden Landnutzung abweichen. Weiterhin dient das Ausgangsszenario als Vergleichsmaßstab für alle weiteren Szenarien, die, im Gegensatz zum Ausgangsszenario, eine Abschätzung für mögliche zukünftige Entwicklungen darstellen. Während im Ausgangsszenario das Jahr 2008 modelliert wird, werden bei den weiteren Szenarien Entwicklungen bis zum Jahr 2015 abgebildet. Dieser Untersuchungszeitpunkt wird gewählt, da bis zu diesem Zeitpunkt einige politische Änderungen, wie z. B. die Etablierung einheitlicher Flä-

chenprämien oder die Abschaffung der Milchquoten, durchgesetzt werden. Auf der anderen Seite liegt das Jahr 2015 noch nicht soweit in der Zukunft, als dass die Ergebnisse als rein spekulativ anzusehen sind, zumal noch unklar ist, wie sich die Gemeinsame Agrarpolitik nach 2015 gestaltet. Im Folgenden werden die Grundbedingungen des Ausgangsszenarios dargelegt.

5.1.1 Hektarerträge im Ausgangsszenario

Eine entscheidende Rolle bei der Modellierung der Landnutzung mittels der Bodenrente ist die Ermittlung der Leistung auf einem Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche. Die Basis hierfür sind die Hektarerträge der jeweiligen Kulturen auf Acker- bzw. Grünlandflächen. Dazu wurden die Hektarerträge in den einzelnen Landkreisen ab dem Jahr 1990 analysiert. Ergibt sich in diesem Zeitraum ein statistisch signifikant absicherbarer Trend, wird der errechnete Trendertrag als Berechnungsgrundlage herangezogen. Ist dies nicht der Fall, wird der Durchschnittsertrag dieses Landkreises eingesetzt. Tabelle 5-1 zeigt anhand ausgewählter Kulturen, wie oft statistisch signifikant absicherbare Trenderträge in den Landkreisen feststellbar sind. Die rechte Spalte gibt dabei an, in wie vielen Landkreisen nicht ausreichend Ertragsdaten zur jeweiligen Kultur vorliegen. Im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* kann diese Anbaualternative nicht aktiviert werden, da angenommen werden muss, dass ein Anbau dieser Frucht nur in minimalem Umfang oder gar nicht erfolgt und deswegen keine entscheidende Rolle spielt.

Tabelle 5-1: Anzahl der Landkreise mit Durchschnitts- bzw. Trenderträge ausgewählter Kulturen

Kultur	Anzahl der Landkreise mit ... Ertrag			
	∅	↑	↓	--
Winterweizen	60	36	0	1
Sommergerste	88	0	8	1
Winterraps	43	53	0	1
Ackerbohnen	71	9	1	16
Silomais	78	18	0	1
Wiesen	43	54	0	0

Anmerkungen:

- ∅ Durchschnittsertrag
- ↑ steigender Trendertrag
- ↓ sinkender Trendertrag
- keine ausreichenden Ertragsdaten

Quelle: eigene Darstellung (Datengrundlage: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERWALTUNG 2009)

Bei Winterweizen ist dies in einem Landkreis der Fall. Ansonsten wird überwiegend der Durchschnittsertrag verwendet. In den restlichen Landkreisen ist ein steigender Ertrag feststellbar. Etwas anders gestaltet sich die Situation bei der Sommergerste, die meist als Braugerste vermarktet wird. Hier ist eher eine Tendenz zu stagnierenden oder so-

gar fallenden Erträgen (v. a. in Mittelfranken) zu beobachten. Im Gegensatz dazu ist bei Raps in der Zukunft mit höheren Erträgen zu rechnen. In der Mehrzahl der Regionen existiert ein signifikanter Ertragsanstieg. Eher stagnierende Erträge sind in Alpengebieten sowie den ostbayerischen Mittelgebirgen festzustellen. Nur wenig züchterischer Fortschritt ist auch bei Ackerbohnen auszuweisen. Gleichzeitig wird diese Kultur in 16 Landkreisen so gut wie gar nicht angebaut. Auch bei Silomais kann ein signifikanter Ertragsanstieg nur in wenigen Landkreisen nachgewiesen werden, wobei sich hier keine räumliche Präferenz feststellen lässt. Wiesen sind die einzige „Kultur“, die in jedem Landkreis einen Ertrag vorzuweisen hat. Dabei ist bei gut der Hälfte ein Anstieg des Ertrags ablesbar.

5.1.2 Preise

Bei der Berechnung der Leistungen und Kosten im Szenario „AS“ bilden grundsätzlich die Preise der Jahre 2005 bis 2008 die Ausgangsbasis. Der aus diesem Zeitraum errechnete Mittelwert wird im Modell herangezogen. Eine Besonderheit weisen die Biogasverfahren auf, da es hier keine Verkaufspreise gibt, sondern festgelegte Vergütungssätze. Im Szenario „AS“ wird dann analog ein mittlerer Vergütungssatz auf Basis des bis zum Ende letzten Jahres gültigen EEG (BGBL 2004) zu Grunde gelegt.

Der unterstellte Lohnansatz für die jeweiligen Regionen wird, wie in Kapitel 4.2.4 beschrieben, berechnet. Als Basislohn werden 7,50 €/Akh angenommen. Die regionale Verteilung bezüglich der Landkreise mit hoher bzw. niedriger Entlohnung kann Karte 4-3 entnommen werden. Die niedrigste Lohnansatz ergibt sich aus dem Zusammenspiel von Betriebsaufgaben und Arbeitslosigkeit im Landkreis Hof (Stadt) mit 2,21 €/Akh, während die Höchste in Schweinfurt (Stadt) mit 11,00 €/Akh zu finden ist. Da die kreisfreien Städte landwirtschaftlich gesehen von geringer Bedeutung sind, werden auch die Spitzenreiter der „wirklichen“ Landkreise angegeben. Die niedrigste Lohnansatz wird dann in Wunsiedel im Fichtelgebirge (4,55 €/Akh), der Höchste in Eichstätt (10,28 €/Akh) im Modell angenommen. Die Verteilung kann Anhang-Abbildung 1 entnommen werden. Extremwerte kommen nur sehr selten vor. Der Hauptteil der Landkreise bewegt sich im Bereich zwischen sechs und zehn Euro je Arbeitskraftstunde.

5.1.3 Sonstige Modellannahmen im Szenario „AS“

Um mit Hilfe des Landnutzungsmodells *LaNuOpt* im Ausgangsszenario in etwa die heutige Landnutzung darstellen zu können, erfordert es noch einiger weiterer Modellannahmen. Als Erstes ist vorgesehen, dass kein Handel mit den umliegenden Bundesländern oder Nationen vorkommt. Weder Futtermittel noch Tiere (z. B. Kälber, Färsen, Ferkel) können von Außen zugekauft werden, da die Verknüpfung der aufeinander aufbauenden Komponenten ein entscheidender Faktor in der Landwirtschaft ist. Eine positive ökonomische Situation eines Teilbereichs (z. B. Schweinemast) führt u. U. zu

Nachteilen in anderen Teilbereichen (z. B. niedrige Ferkelpreise in der Ferkelaufzucht). Einzig die Futtermittelkomponente Sojaextraktionsschrot kann aus dem Ausland zugekauft werden, da sie auf dem bayerischen Markt nicht verfügbar ist.

Zum Zweiten wird angenommen, dass bei der Biogasproduktion 12,5 %, d. h. 1/8, der zur Verfügung stehenden Wärme extern genutzt wird. Diese Einstellung hat maßgeblichen Einfluss auf die Bodenrente der Biogasproduktion und damit auch auf die Landnutzung.

Schlussendlich sind die Produktionsverfahren der Milchviehhaltung mit einer Milchleistung von 10.000 kg Milch pro Jahr im LP-Tableau nicht verfügbar, da dieser Leistungsbereich in Bayern erst in der Zukunft in größerem Maßstab erreicht werden wird. Erst ab dem Jahr 2018, also nach zehn Jahren, ist es vorgesehen dieses Verfahren auswählen zu können.

5.2 Szenario „Business as usual“ („BAU“)

Das erste Szenario mit Blickrichtung 2015 ist das Szenario „Business as usual“. Dieses in vielen Modellen vorkommende Szenario beschreibt Entwicklungen unter der Voraussetzung, dass sich die gegenwärtigen Rahmenbedingungen nicht ändern. In der vorliegenden Arbeit werden die Bedingungen des Referenzszenarios, also des Ausgangsszenarios, bis in das Jahr 2015 übernommen. In Bezug auf die Biogasproduktion bedeutet dies, dass das alte EEG weiter Gültigkeit besitzt. Mit Ausnahme des Untersuchungszeitpunktes ist das Szenario „BAU“ identisch mit dem Ausgangsszenario. Der Untersuchungszeitpunkt hat allerdings Einfluss auf die bestehende Wirtschaftsstruktur, da ein größerer Teil der Wirtschaftsgebäude abgeschrieben ist. Die frei werdenden Flächenkapazitäten werden in Abhängigkeit der Höhe von Bodenrente I verteilt. Der Einfluss der aktuellen Wirtschaftsstruktur wird also kleiner, da Verfahren der Bodenrente II in geringeren Umfang aktivierbar sind. Die Frage, die mit Hilfe dieses Szenarios beantwortet wird, lautet wie folgt: **„Wie könnte sich die Landnutzung in Bayern bis 2015 entwickeln, wenn die Rahmenbedingungen der zurückliegenden Jahre 2005 bis 2008 Bestand hätten?“**

5.3 Szenario „EEG 2009“ („EEG“)

Das dritte untersuchte Szenario trägt den Namen „EEG 2009“. Wie der Name schon andeutet, beschäftigt sich dieses mit der Neufassung des EEG (BGBL 2008). Die Vergütungsvorschriften werden darin dem Gesetz entsprechend angepasst. So ist u. a. der Güllebonus oder der erhöhte KWK-Bonus enthalten. Auch die geänderten Grundvergütungen werden berücksichtigt (vgl. Anhang-Tabelle 4). Alle weiteren Annahmen entsprechen denen des Szenarios „BAU“. Dieses Szenarios lässt die Beantwortung folgender Frage zu: **„Wie könnte sich die Landnutzung in Bayern bis 2015 entwickeln, wenn**

die Rahmenbedingungen der zurückliegenden Jahre 2005 bis 2008 Bestand hätten, aber das aktuell gültige EEG angewandt wird?“

Gleichzeitig zeigt ein Vergleich der Ergebnisse der Szenarien „BAU“ und „EEG“ die Auswirkungen der Veränderungen im EEG.

Um der aktuellen Preissituation in der Milchproduktion Rechnung zu tragen, wird von Szenario „EEG 2009“ eine Szenarettete abgeleitet. Der Erzeugerpreis für Milch ist flächendeckend eingebrochen (VMB, versch. Jahrgänge), so dass der Durchschnittspreis der Jahre 2005 bis 2008 nicht unbedingt das Preisniveau der Jahre 2009/2010 widerspiegelt. Aus diesem Grund werden unter sonst gleichen Annahmen die Auswirkungen eines niedrigeren Milchpreises untersucht. Anstatt des zuvor gewählten Durchschnittspreises von 32 ct/kg Milch werden nun 23 ct/kg Milch eingesetzt, um eine Vergleichbarkeit zum Szenario „Agrarpolitik 2015“ zu erreichen. Die Szenarettete ist mit Ausnahme der Milchpreisvariation identisch mit dem Szenario „EEG 2009“ und trägt den Namen „niedriger Milchpreis“ („EEG nMP“).

5.4 Szenario „Agrarpolitik 2015“ („AP“)

Ausgangspunkt dieses Szenarios „AP“ („Agrarpolitik 2015“) ist das Szenario „EEG 2009“. Im Gegensatz zum Szenario „EEG 2009“ werden darin zwei Themenbereiche der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) untersucht. Auf der einen Seite die Einführung einer einheitlichen Flächenprämie und auf der anderen Seite die Abschaffung der Milchquote. Weiterhin ist noch die Einstellung der Auszahlung einer Energiepflanzenprämie im Rahmen des so genannten Health Check eingearbeitet (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2008).

Für die einheitliche Flächenprämie wird der Betrag 340 €/ha verwendet, da der genaue Zielwert noch nicht feststeht (BMELV 2006, S. 17 f.). Dieser Betrag wird sowohl für Acker- als auch Grünland gewährt, was einer Stärkung des Grünlandes entspricht.

Um die Auswirkungen der Abschaffung der Milchquote zu modellieren, werden folgende Annahmen unterstellt. Als Erstes entfallen die Quotenkosten als Kostenpunkt in der Bodenrente I. Gleichzeitig wird im LP-Tableau die Obergrenze der Milchproduktion eliminiert. Als Folge sehen viele Studien einen Angebotsanstieg und damit verknüpft einen Preisverfall. Im Szenario „AP 2015“ werden, wie in Szenarettete „niedriger Milchpreis“ („EEG nMP“) 23 ct/kg Milch im Vergleich zu 32 ct/kg Milch unterstellt. Angesichts der Talfahrt im Jahr 2009 der Milchpreise (ca. 23 ct/kg Milch VMB versch. Jahrgänge) ist dieser Preis relativ realistisch, zumal auch wissenschaftliche Untersuchungen Preise knapp über 20 ct/kg Milch für 2014 vorhersagen (ISERMEYER 2007, S. 12). Gleichzeitig gelingt es dadurch einen Kontrastpunkt zu setzen, der verdeutlicht, welche Auswirkungen derart niedrige Milchpreise haben. Alle anderen Preise und Vergütungen werden von Szenario „EEG 2009“ übernommen. Die Kernfrage, die dieses Szenario beantwortet, lautet wie folgt: **Wie könnte sich die Landnutzung in Bayern bis 2015**

entwickeln, wenn die agrarpolitischen Veränderung bis zum Jahr 2015 in den Entscheidungen der Landwirte berücksichtigt werden?

Auch für dieses Szenario ist die Einführung einer Szenarette („klassische Landwirtschaft“; „AP kLW“) vorgesehen. Es wird untersucht, welche Landnutzung modelliert wird, wenn der Ausbau der Biogaserzeugung nicht als Alternative zur Verfügung. Dies kann der Fall sein, wenn sich beispielsweise die Vergütung verringert oder diverse Boni abgeschafft werden. Es wird demnach die Entwicklung der „klassischen“ landwirtschaftlichen Produktionsverfahren beobachtet und ist ein rein hypothetisches Szenario. Zur Umsetzung im Modell wird eine Obergrenze mit dem aktuellen Leistungsstand der Biogaserzeugung eingezogen.

5.5 Überblick über die untersuchten Szenarien

Abschließend werden die untersuchten Szenarien in einem Überblick zusammengefasst (vgl. Tabelle 5-2). Darin sind die hauptsächlichen Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Szenarien aufgelistet. Deutlich sichtbar wird, dass sich das Szenario „AP“ sowie dessen Szenarette „AP kLW“ deutlicher von den restlichen Szenarien abheben. Alle Szenarien haben die Ertragsermittlung sowie einen Großteil der Preise (Ausnahme Milch) gemeinsam.

Tabelle 5-2: Überblick über die wichtigsten Annahmen innerhalb der untersuchten Szenarien

Kriterium	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW	
Szenario/Szenarette	Szenario	Szenario	Szenario	Szenarette	Szenario	Szenarette	
Untersuchungsjahr	2008	2015	2015	2015	2015	2015	
Ertrag	Trendertrag bzw. Durchschnittsertrag 1990-2008						
Preise	Ø 2005-2008						
Biogasvergütung	EEG 2004	EEG 2009					
Flächenprämie		Stand 2008				einheitlich	
Energiepflanzenprämie		ja				nein	
Quotenkosten		ja				nein	
Obergrenze Quote		ja				nein	
Milchpreis [ct/kg Milch]		32				23	
Biogas begrenzt?			nein				ja

Anmerkungen:

- AS Ausgangsszenario
- BAU Szenario „Business as Usual“
- EEG Szenario „EEG 2009“
- EEG nMP Szenarette „niedriger Milchpreis“ im Szenario „EEG 2009“
- AP Szenario „Agrarpolitik 2015“
- AP kLW Szenarette „klassische Landwirtschaft“ im Szenario „Agrarpolitik 2015“

Quelle: eigene Darstellung

Das Szenario „EEG“ nebst zugehöriger Szenarette „EEG nMP“ besitzen eine Sonderstellung, da sie die momentan gültigen Rahmenbedingungen repräsentieren. Das Aus-

gangsszenario und das Szenario „BAU“ beinhalten eine nicht mehr aktuelle Vergütung für Strom aus Biogasanlagen. Die letzten beiden Szenarien („AP“ und „AP kLW“) richten dagegen den Blick in die Zukunft.



6 Ergebnisse der Landnutzungsmodellierung

Im nun folgenden Ergebnisteil werden die Resultate der Landnutzungsmodellierung der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Szenarien dargestellt. Um die Veränderungen im Vergleich zur aktuell bestehenden Landnutzung überhaupt erfassen zu können, wird zuerst der Status Quo anhand ausgewählter Parameter kurz beschrieben. Abschließend werden mögliche Auswirkungen der modellierten Ergebnisse auf den nachgelagerten Bereich und die Bevölkerung abgeschätzt. Kernaspekte der Untersuchungen sind der Umfang des Anbaus von Energiepflanzen, die Änderungen des Tierbestandes, die Wanderung der Milchproduktion sowie die Sicherstellung der Nahrungsmittelproduktion. Die Ergebnisse des Landnutzungsmodells *LaNuOpt* werden für Einzellandkreise ausgearbeitet, um die räumliche Variabilität darzustellen. Daneben wird aber auch Bayern als Gesamtes betrachtet, indem die Werte der Einzellandkreise addiert bzw. das korrigierte Mittel gebildet werden. Das korrigierte arithmetische Mittel (auch als Gestutztmittel bezeichnet) gibt den Mittelwert einer Datengruppe zurück, ohne die Randwerte zu berücksichtigen. Es berechnet den Mittelwert einer Teilmenge der Datenpunkte, die darauf basiert, dass entsprechend des jeweils angegebenen Prozentsatzes die kleinsten und größten Werte der ursprünglichen Datenpunkte ausgeschlossen werden. Im Zuge der Auswertungen der vorliegenden Arbeit werden die 5 % niedrigsten und höchsten Werte ausgeschlossen. Damit wird vermieden, dass Einzellandkreise das Gesamtergebnis zu stark beeinflussen.

6.1 Beschreibung des Status Quo

Die zur Beschreibung des Status Quo herangezogenen Daten entstammen zu großen Teilen der GENESIS-Datenbank (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG 2009). Sollten andere Quellen verwendet worden sein, werden diese extra ausgewiesen.

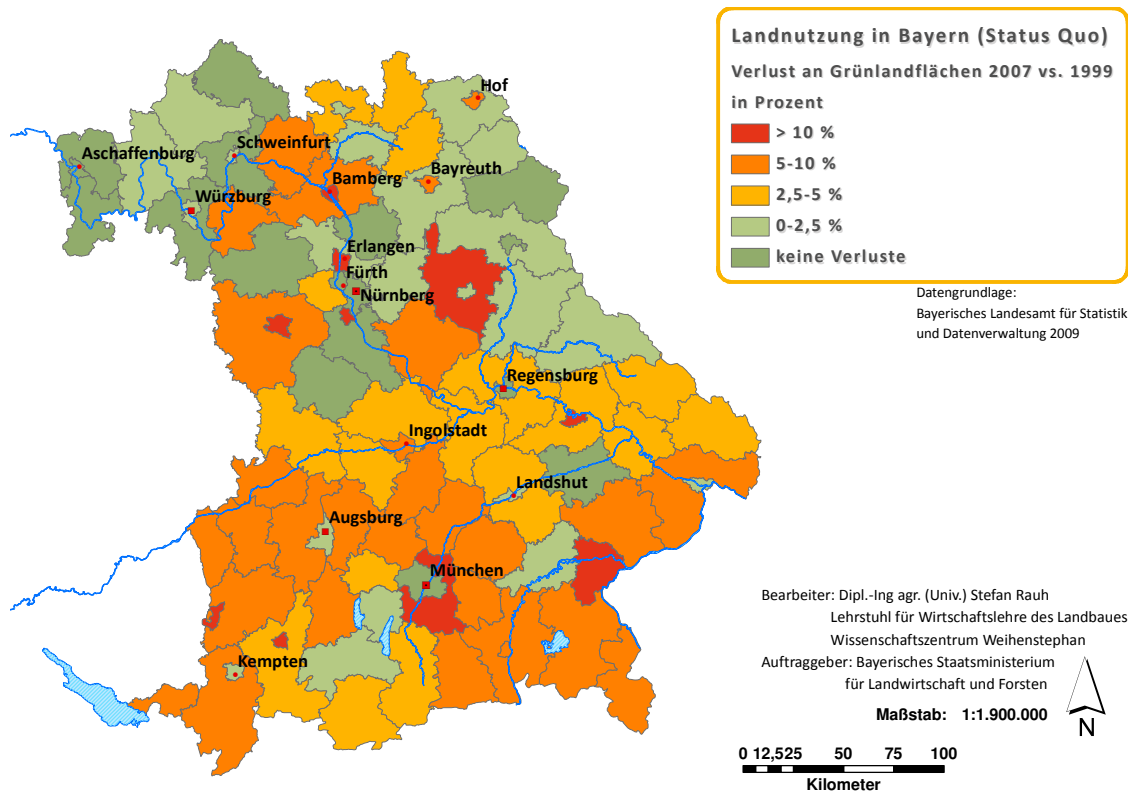
6.1.1 Allgemeines

Die Fläche Bayerns beträgt ca. sieben Millionen Hektar, wovon laut Agrarstrukturerhebung lediglich 3,2 Mio. ha landwirtschaftlich genutzt werden. Davon wiederum entfallen ca. 2,1 Mio. ha auf Ackerland und 1,1 Mio. ha auf Grünland. Das Gebiet des Freistaates ist unterteilt in 71 Landkreise sowie 25 kreisfreie Städte, die im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* die kleinsten Untersuchungseinheiten darstellen (vgl. Übersicht in Anhang-Tabelle 5; Anhang-Tabelle 6 und Anhang-Karte 1). Insgesamt leben in Bayern ca. 12,5 Mio. Menschen.

6.1.2 Entwicklung des Grünlandes

Etwa ein Drittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF) wird heute als Grünland genutzt, wobei sich dieser Anteil seit dem Jahr 1950 stark verringert hat (vgl. auch Karte 6-1).

Karte 6-1: Verlust an Grünlandflächen in Bayern im Vergleich von 2007 zu 1999



Quelle: eigene Darstellung

Damals betrug der Anteil noch 42 % (GOLDBRUNNER 2009, S. 15). Da dem Grünland zahlreiche positive Nebeneffekte, wie der Wasserschutz, der Hochwasserschutz, der Bodenschutz, die Kohlenstoffspeicherung, der Naturschutz, die Biodiversität sowie die Bedeutung für den Tourismus, zugeordnet werden können (GOLDBRUNNER 2009, S. 32 ff.), ist ein Fortschreiten dieses Trends wohl nicht wünschenswert. Um der Umwandlung von Grünland in Ackerland Einhalt zu gebieten, sind entsprechende Vorgaben in den Cross-Compliance Richtlinien vorgegeben. In Deutschland darf ab einer Veränderung des Flächenverhältnisses von Grünland zu Ackerland um 5 % nur noch bei Erteilung einer Erlaubnis umgebrochen werden, ab 10 % ist eine Wiederansaat vorgeschrieben (NITSCH und OSTERBURG 2007, S. 24). Nichts desto trotz geht in vielen Regionen Bayerns Grünlandfläche verloren, wie Karte 6-1 veranschaulicht. Besonders in den südlichen Gebieten Bayerns sind Flächenrückgänge um mehr als 5 % im Verlauf von acht Jahren (1999-2007) zu beobachten. Dass dennoch eine Erfüllung der Cross-Compliance Richtlinien gegeben ist, liegt daran, dass darin die Verhältniszahl zwischen Acker- und Grünland maßgeblich ist. Nimmt gleichzeitig die Ackerfläche ab oder ist ein hoher Grünlandanteil vorhanden, wie es in den südlichen Regionen der Fall ist (vgl. Anhang-Karte 2), greift dieses Instrument nicht.

6.1.3 Nutzung der Ackerflächen

Die Ackernutzung in Bayern ist wesentlich geprägt vom Getreideanbau (ohne Mais), der über 50 % der Ackerfläche einnimmt (vgl. Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Durchschnittliche Landnutzung in Bayern und Landkreise mit größten Anteilen einzelner Kulturen

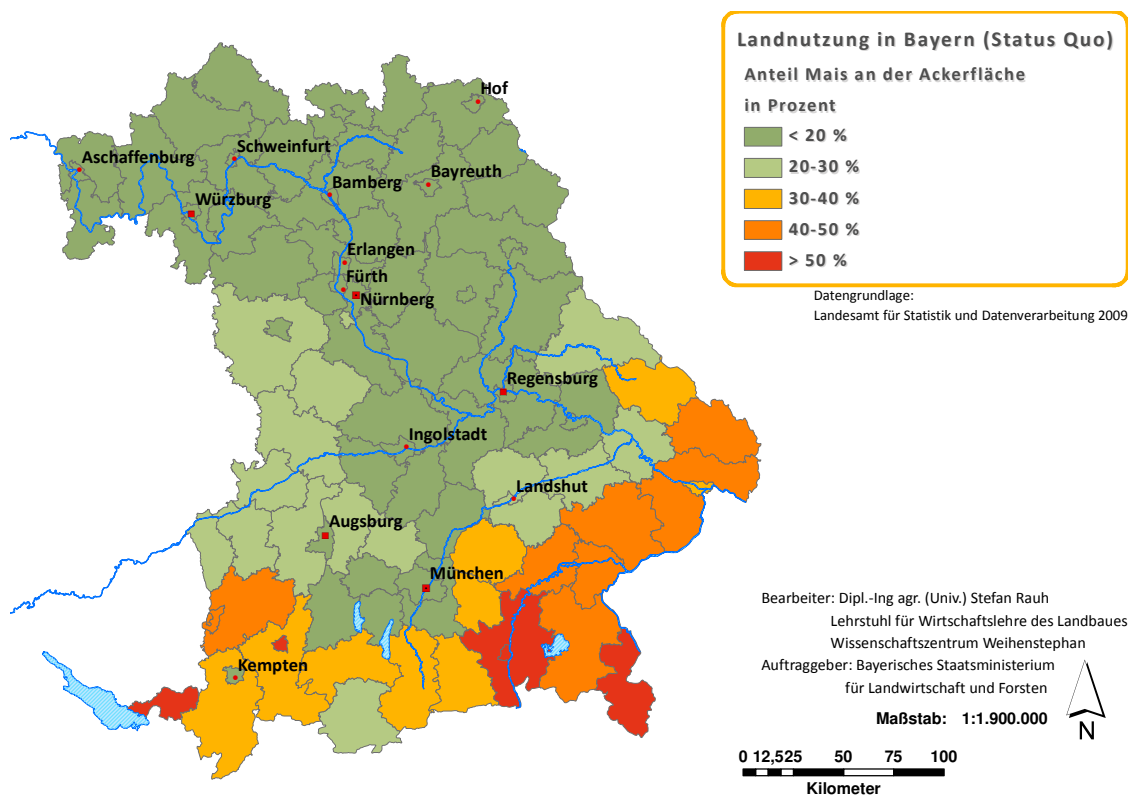
Nutzung	Ø in Bayern	kleinster Anteil	größter Anteil (Landkreis)
Winterweizen	23%	0%	45% (Schweinfurt (Stadt))
Gerste	21%	0%	48% (Wunsiedel)
Roggen	2%	0%	10% (Nürnberg (Stadt))
Triticale	3%	0%	10% (Bayreuth (Stadt))
Hafer	2%	0%	17% (Garmisch-Partenkirchen)
Getreide	51%	0%	62% (Kulmbach)
Körnermais	5%	0%	32% (Passau)
Silomais	16%	0%	71% (Lindau)
Mais	20%	0%	71% (Lindau)
Winterraps	8%	0%	17% (Bad Kissingen)
Sonnenblumen	0%	0%	3% (Kitzingen)
Kartoffeln	2%	0%	24% (Neuburg-Schrobenhausen)
Zuckerrüben	3%	0%	14% (Deggendorf)
Ackerbohnen	0%	0%	1% (Landsberg)
Futtererbsen	1%	0%	2% (Weiden (Stadt))

Quelle: eigene Darstellung (Datengrundlage: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG 2009)

Der Landkreis mit dem größten Umfang des Getreideanbaus ist dabei Kulmbach (62 %). Bei den Getreidearten sind Weizen und Gerste von überwiegender Bedeutung. Allerdings sind regionale Unterschiede feststellbar. Der Anbau von Hafer kann bayernweit als unbedeutend bezeichnet werden. Im Landkreis Garmisch-Partenkirchen hingegen werden 17 % der Ackerfläche mit Hafer bestellt.

Im Brennpunkt der Analysen steht auch der Anbauanteil von Mais und dabei insbesondere von Silomais. Deswegen wird in diesem Fall die räumliche Differenzierung anhand von Karte 6-2 anschaulich dargelegt. In großen Teilen des Bundeslandes liegt der Fruchtfolgeanteil von Mais unter 30 %. Allerdings ist besonders in den südlichen Landkreisen eine Tendenz zu höheren Fruchtfolgeanteilen festzustellen. Einschränkend muss aber der z. T. hohe Grünlandanteil in diesen Gebieten (vgl. Anhang-Karte 2) genannt werden. Denn ist in einem Landkreis nur wenig Ackerland vorhanden, ist wahrscheinlich eine Ausrichtung hin zur Rinderhaltung mit Futterbau gegeben. Zwangsläufig wird auf dem in geringem Umfang vorhandenen Ackerland Ackerfutter angebaut und hier ist Mais eine der bevorzugten Möglichkeiten.

Karte 6-2: Maisanteil an der Ackerfläche (Status Quo)



Quelle: eigene Darstellung

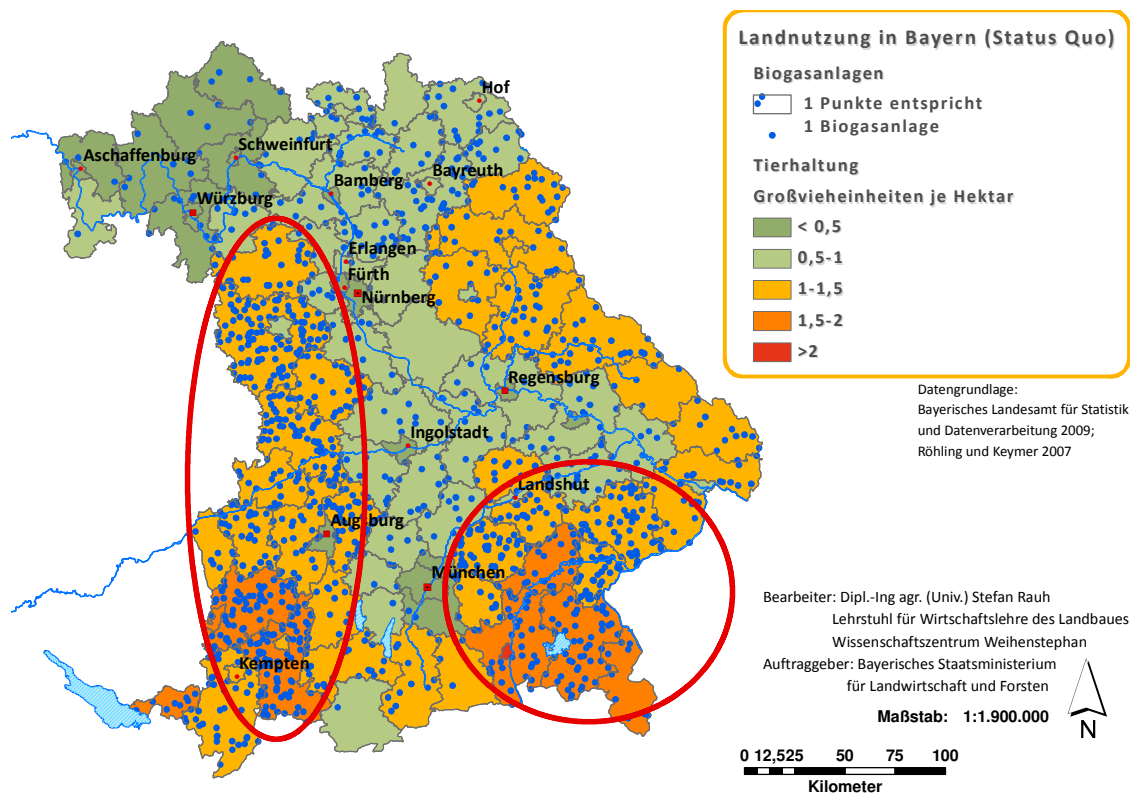
Hinter Getreide und Mais besitzt noch der Anbau von Raps überregionale Bedeutung. Besonders regional können auch Hackfrüchte, wie Zuckerrüben und Kartoffeln, in größerem Umfang in der Landnutzung auftreten. Von eher geringerer Relevanz sind Körnerleguminosen.

6.1.4 Tierhaltung und Energieproduktion

Neben der Bodennutzung gilt es auch die Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe im Status Quo darzustellen. Hierbei gibt es zwei Ausrichtungen landwirtschaftlicher Betriebe: zum einen die Veredelung in der Tierhaltung und zum anderen die Veredelung in der Biogaserzeugung.

Laut Agrarstrukturerhebung gab es 2007 einen Stichtagsbestand bei Rindern von ca. 3,4 Mio. Rindern. Weiterhin wurden 3,8 Mio. Schweine, 9,5 Mio. Hühner, 0,4 Mio. Schafe sowie 0,1 Mio. Pferde gezählt. Insgesamt ergeben diese einen durchschnittlichen Tierbesatz von 1,2 Großvieheinheiten (GV)/ha bei insgesamt 3,8 Mio. GV. Dieser Tierbestand verteilt sich nicht gleichmäßig über ganz Bayern, sondern es ergeben sich Regionen mit niedriger bzw. hoher Viehdichte (vgl. Karte 6-3). Es zeigt sich eindeutig, dass in den letzten Jahren genau dort Biogasanlagen errichtet wurden und auch die größte Leistung je Hektar Fläche installiert wurde (vgl. auch Anhang-Karte 3), wo die Tierhaltung präsent ist. Dies kann u. a. an der ähnlichen Futtergrundlage der Rinderhaltung und der Biogasproduktion liegen, so dass kein neues Know-how für die Substratbereitstellung erforderlich ist und ggf. vorhandene Bauwerke (Silos, Güllebehälter) weitergenutzt werden können. Ein weiterer Ausbau der Biogasproduktion könnte aber durchaus zu Problemen führen, wenn die Fläche als limitierender Faktor auftritt.

Karte 6-3: Konfliktbereiche zwischen Tierhaltung und Biogasproduktion



Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der niedrigen Milchpreise im Jahr 2009 und der damit verbundenen Existenzangst der Milchbauern wird auch die Milchproduktion mit Hilfe des Landnutzungsmodells *LaNuOpt* genauer analysiert. Der Status Quo stellt sich wie in Anhang-Karte 4 gezeigt dar.

Die Milchproduktion bestimmt die Landnutzung vor allem in den Alpen, im Alpenvorland sowie den Mittelgebirgen. In den ackerbaulichen Gunstgebieten (Gäuboden, Unterfranken) ist die Milchviehhaltung eher wenig verbreitet und damit auch von geringerer Bedeutung, was sich auch an der Molkereistruktur erkennen lässt. Besonders im Alpenraum sind viele, wenn auch eher kleinere, Molkereien zu finden, die somit meist direkt von ihren Lieferanten abhängig sind. Deswegen ist es durchaus entscheidend, wie sich die Milchproduktion in Zukunft entwickelt.

In Bayern werden ca. sieben Millionen Tonnen Milch an die Molkereien angeliefert (StMLF 2008a, S. 56) und in den bayerischen Schlachthöfen annähernd eine Million Tonnen Fleisch verarbeitet. Dabei entfallen ca. 35 % auf Schweinefleisch und ca. 55 % auf Rindfleisch (StMLF 2008a, S. 59).

6.1.5 Arbeitsmarkt

Um Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf den Arbeitskräftebedarf abschätzen zu können, wird der Ausgangssituation ein Arbeitskräftebesatz zugewiesen. Laut Bayerischem Agrarbericht (StMLF 2008a) waren im Jahr 2007 insgesamt 318.000 Arbeitskräfte, darunter 75.000 Vollbeschäftigte in der Landwirtschaft beschäftigt. Aufgrund des hohen Anteils teilbeschäftigter Arbeitskräfte wird zur Beurteilung der geleisteten Arbeit der Begriff Arbeitskräfteeinheiten (AK-Einheit) herangezogen, wobei eine AK-Einheit einer vollbeschäftigten Arbeitskraft entspricht. In Bayern lassen sich damit ca. 142.000 AK-Einheiten ermitteln (StMLF 2008a, S. 28 f.). Dieser Wert wird dem Ergebnis der Modellierung des Ausgangsszenarios zugeordnet. Über die im Modell hinterlegten Arbeitszeiten der Produktionsverfahren lassen sich Änderungen in den einzelnen Szenarien ablesen.

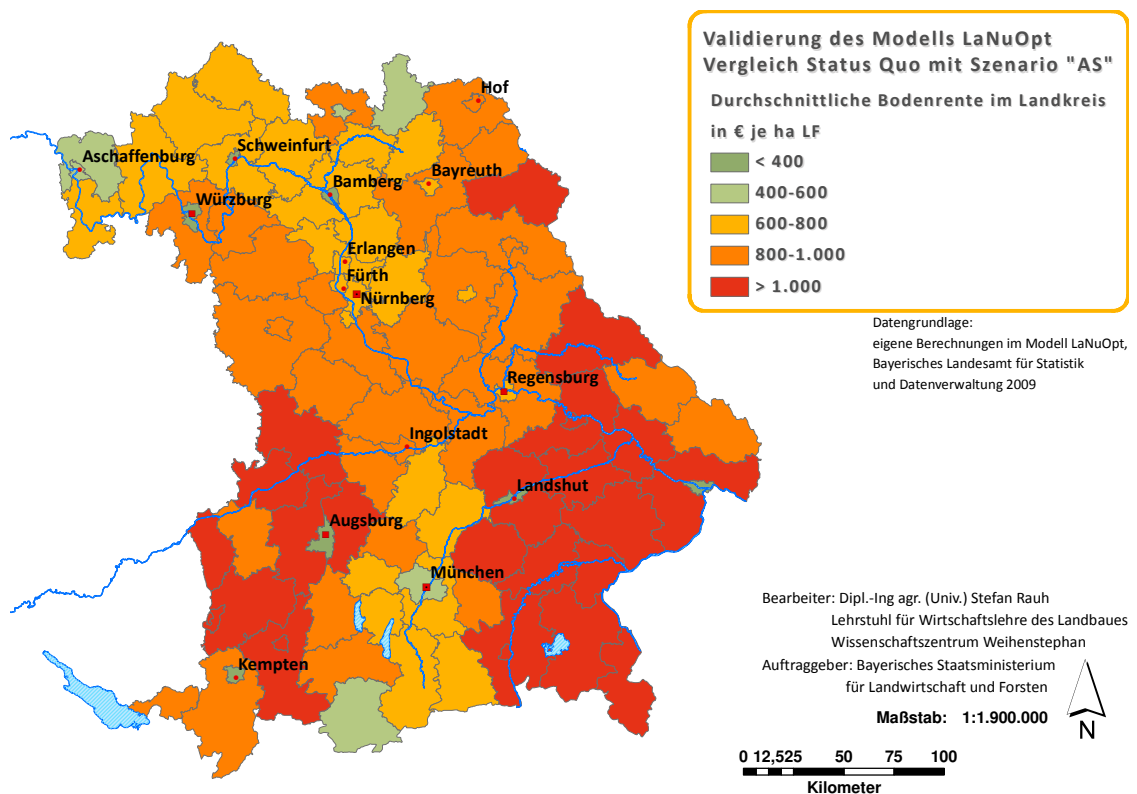
6.2 Validierung des Modells – Ergebnisse im Ausgangsszenario („AS“)

Wie oben bereits erwähnt, dient das Ausgangsszenario dazu, das Modell zu validieren. Deshalb werden die Szenarioergebnisse mit dem Status Quo verglichen und gleichzeitig die räumliche Variabilität analysiert. Damit soll geklärt werden, in wieweit sich bei einer Betrachtung von Bayern als Ganzes und von Bayern unterteilt in Landkreise Unterschiede ergeben.

Wie Kapitel 6.1 gezeigt hat, ist in Bayern durchaus eine räumliche Variabilität vorhanden. Um also dementsprechend realitätsnahe Modellergebnisse liefern zu können, müssen die Ergebnisse auch diese Variationen widerspiegeln. Die Resultate des Szenarios „AS“ belegen dies relativ gut. So errechnet das Modell einen Anteil von Winter-

weizen an der Ackerfläche von 29 % (korrigiertes Mittel für Bayern). Das Spektrum ist aber relativ weit und reicht von unter 10 % bis zu 35 %. Dies lässt sich auch bei anderen Produktionsverfahren beobachten, so dass sich verschiedene Landnutzungen in den einzelnen Landkreisen herauskristallisieren. Am deutlichsten wird dieser Umstand durch einen Vergleich der Höhe der durchschnittlichen Bodenrente in den einzelnen Landkreisen (vgl. Karte 6-4) veranschaulicht. Der Wertebereich von ca. 400 €/ha LF bis hin zu ca. 1.300 €/ha LF ist relativ weit gefasst. Wenig verwunderlich sind die vergleichsweise niedrigen Bodenrenten in Unterfranken im Vergleich zu Oberbayern. Ein entscheidender Aspekt ist die Tierhaltung, die in Unterfranken nicht so stark ausgeprägt ist. Im Untersuchungsjahr 2008 wird die Tierhaltung aufgrund bestehender Kapazitäten zum großen Teil mit der Bodenrente II bewertet, die höher ist als die Bodenrente II in Verfahren des Marktfruchtbaues.

Karte 6-4: Durchschnittliche Bodenrenten im Ausgangsszenario



Anmerkung:

LF landwirtschaftliche Nutzfläche

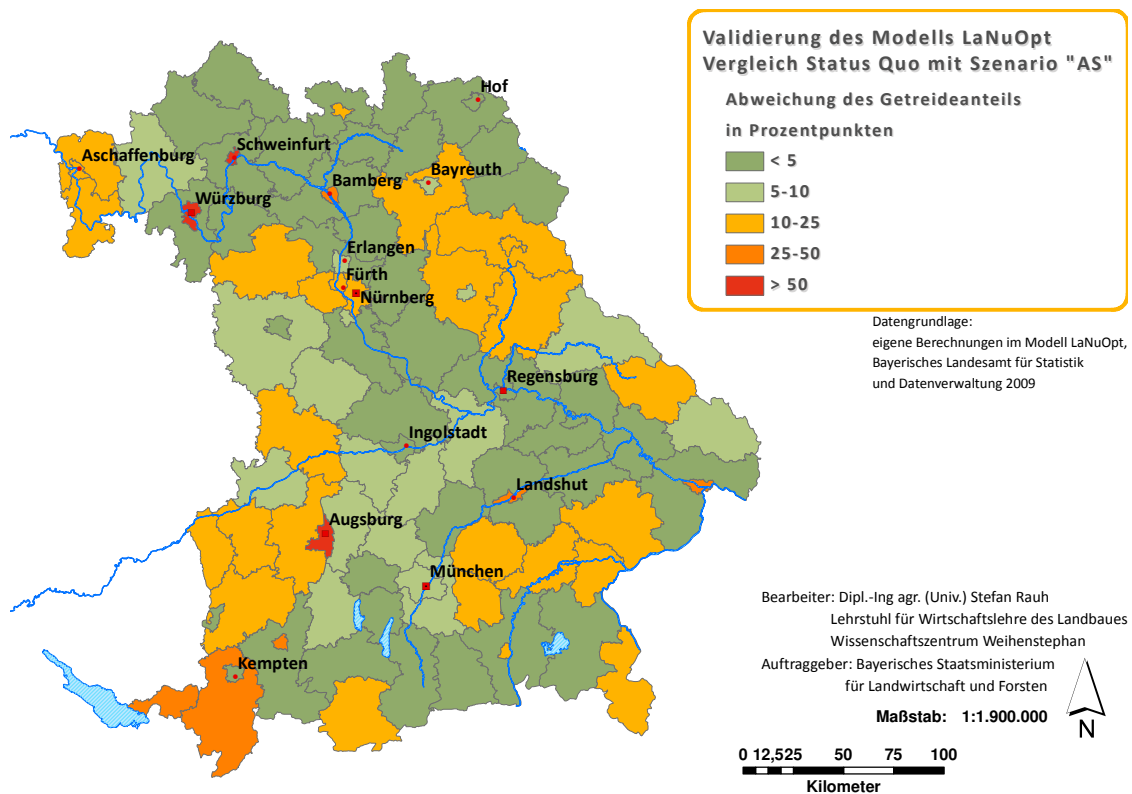
Quelle: eigene Darstellung

Die unterschiedlichen Bodenrenten werden durch die Vielzahl an Eingangsparametern hervorgerufen. Nicht allein die letztendlich modellierte Landnutzung beeinflussen sie, sondern beispielsweise auch die naturräumlichen und sozioökonomischen Faktoren wie Ertrag, Zahl der Betriebsaufgaben oder Arbeitsplatzalternativen.

6.2.1 Validierung des Modells

Ob die hinter dieser Karte vorliegende Landnutzung der Realität entspricht, zeigt ein Vergleich mit dem Status Quo. Natürlich kann nicht jede Kultur oder jedes Produktionsverfahren genau der tatsächlichen Landnutzung entsprechen, allerdings sollten einige übergeordnete Stufen, wie z. B. der Anteil des Getreidebaus oder die Milchproduktion, relativ gut abgebildet werden. Hier zeigt sich, dass im Modell tendenziell der Winterweizenanbau bevorteilt wird. Ausgeglichen wird dies allerdings durch leichte Abweichungen bei den weiteren Getreidekulturen, so dass sich für den Getreidebau als Ganzes ein relativ stimmiges Bild ergibt. Die absolute Abweichung in Prozentpunkten vom Status Quo zeigt Karte 6-5. Zum großen Teil beträgt die Abweichung von der Realität weniger als zehn Prozentpunkte, was angesichts der im Schnitt vorliegenden 50 % Getreideanteil an der Ackerfläche angemessen erscheint. Der Median für die Abweichung liegt sogar bei nur sieben Prozentpunkten.

Karte 6-5: Abweichung des Modells vom Status Quo beim Getreideanbau



Quelle: eigene Darstellung

Verfestigt wird diese Argumentation durch die Karten im Anhang (Anhang-Karte 5, Anhang-Karte 6, Anhang-Karte 7), die zum einen die Getreideanteile an der Fruchtfolge im Status Quo und im modellierten Ergebnis gegenüberstellen. Diese beiden Karten weisen eindeutig Übereinstimmungen auf. Zum anderen kann auch die relative Abweichung der beiden Landnutzungen als akzeptabel betrachtet werden. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den weiteren Ackerkulturen. Die Korrelation zwischen dem Status

Quo und den Ergebnissen des Szenarios „AS“ stellt sich für weitere Kulturen, wie in Tabelle 6-2 vorgestellt, dar. Dabei sind die so genannten Stadtlandkreise nicht berücksichtigt, die mit ihrer geringen Flächenausstattung das Ergebnis verfälschen würden (vgl. Anhang-Tabelle 7).

Tabelle 6-2: Vergleich und Bewertung der Korrelation der Landnutzung im Status Quo und im Szenario „BAU“ (2009) anhand ausgewählter Kulturen

Kultur	Regressionsgerade	Bestimmtheitsmaß	Bewertung
Getreide	$y = 0,5929x + 18,107$	0,38	∅
Winterraps	$y = 0,0527x + 20,965$	0,01	↓
Sonnenblumen	$y = 0,7978x + 0,4784$	0,03	↓
Körnermais	$y = 0,7385x + 0,645$	0,75	↑
Silomais	$y = 0,7444x + 7,7684$	0,70	↑
Zuckerrüben	$y = 0,9780x - 0,0101$	1,00	↑
Kartoffeln	$y = 0,9757x + 0,3615$	0,95	↑
Körnerleguminosen	$y = -0,5045x + 1,0523$	0,01	↓

Anmerkungen:

- ↑ hohe Qualität der Korrelation
- ∅ mittlere Qualität der Korrelation
- ↓ geringe Qualität der Korrelation

Quelle: eigene Darstellung nach MAYER 1995, S. 92 ff.

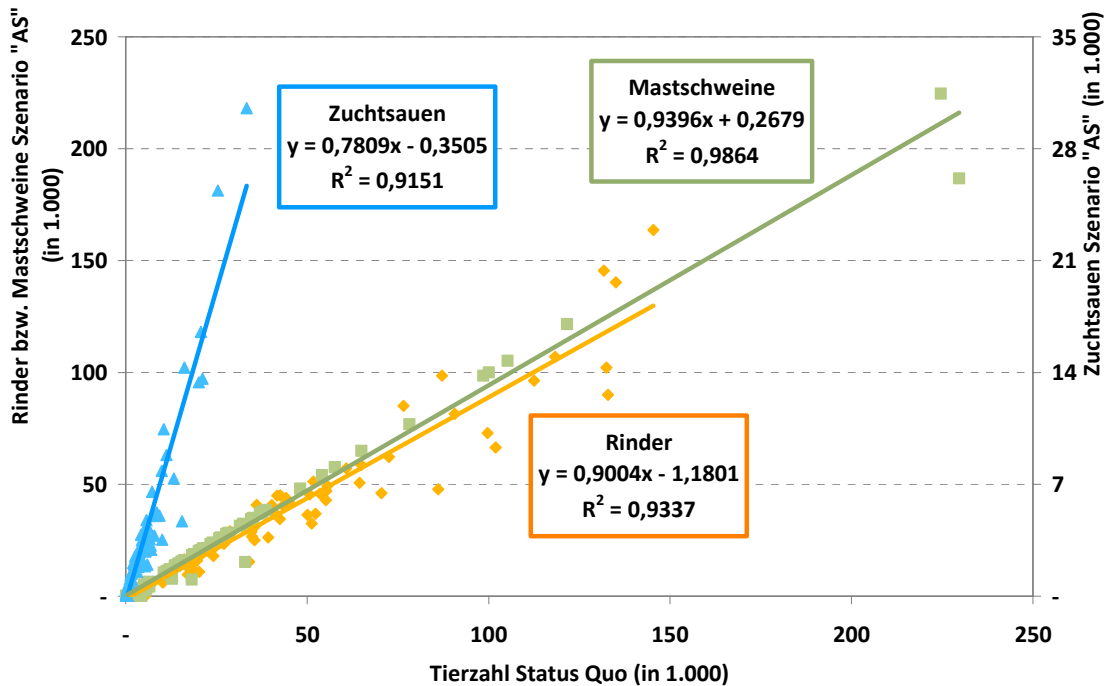
Das Bestimmtheitsmaß dient als Güteindikator für die Linearität eines Streuungsdiagramms (PRUSCHA 2006, S. 34) und liegt zwischen null und eins. Je näher der Wert an eins liegt, desto linearer ist der Zusammenhang der beiden untersuchten Merkmale (hier Anbauanteile an der Ackerfläche). Wie im vorangegangenen Absatz diskutiert, ist die Abbildung des Anbaus von Getreide relativ gut gelungen. Trotzdem liegt das Bestimmtheitsmaß nur im mittleren Bereich. Dies liegt daran, dass das Bestimmtheitsmaß den Prozentanteil der Varianz angibt, der durch einen linearen Zusammenhang erklärt wird. Einzelne Extremwerte haben deshalb großen Einfluss auf das Bestimmtheitsmaß, was die Aussagekraft dieses Indikators einschränkt (PRUSCHA 2006, S. 34 f.). Die Abbildung des Getreideanbaus kann trotz des nur mittleren Bestimmtheitsmaßes als zufrieden stellend bezeichnet werden.

Einige Kulturen (Körnermais, Zuckerrüben, Kartoffeln) weisen ein hohes Bestimmtheitsmaß auf, d. h. die Realität ist sehr gut getroffen. Bei Sonnenblumen und Körnerleguminosen kann kein direkter Zusammenhang zwischen Modell und Realität nachgewiesen werden, was aber angesichts des geringen Umfangs der Kulturen und der damit verbundenen Sensitivität der Ergebnisse zu vernachlässigen ist. Das schlechte Ergebnis von Raps lässt sich durch die Abweichung des Fruchtartenspektrums von Realität und Modell erklären. Die Fläche der im Modell nicht implementierten Kulturen (z. B. Hopfen, Wein, Gemüsebau, Obstanlagen, etc), muss auf die zur Verfügung stehenden Kulturen verteilt werden. Da die Getreidearten meist schon an eine Obergrenze stoßen, wird eine andere Kultur (in diesem Fall Raps) ausgewählt und dient sozusagen als Puf-

fer. Es kann insgesamt davon ausgegangen werden, dass sich das Modell gut zur Abschätzung von Entwicklungen in der ackerbaulichen Landnutzung eignet.

Neben der korrekten Wiedergabe der ackerbaulichen Landnutzung ist es auch Ziel, die Tierhaltung entsprechend gut zu modellieren. Abbildung 6-1 zeigt den hohen Übereinstimmungsgrad zwischen Realität und Modell. Anhand der Korrelation zwischen den tatsächlichen und den modellierten Tierbeständen kann dies belegt werden.

Abbildung 6-1: Korrelation der Tierzahlen des Status Quo mit den Tierzahlen des Szenarios „BAU“ (2009)



Quelle: eigene Berechnungen

Bei der Anzahl Rinder in den einzelnen Landkreisen beträgt das Bestimmtheitsmaß 0,9337. Die Steigung der Regressionsgeraden der Rinderzahlen beträgt dabei 0,90, was auf ein leichtes Unterschätzen des Tierbestandes hinweist. Der Grund hierfür liegt in der etwas höheren Leistung der Milchviehhaltung in den modellierten Produktionsverfahren im Vergleich zur Realität, so dass weniger Milchkühe benötigt werden, wodurch die daran gekoppelten Rinderverfahren (Mastverfahren) automatisch mit weniger Tieren versorgt werden (vgl. Kapitel 4.3.5). Die Milchquote wird im korrigierten bayerischen Durchschnitt zu 99 % erfüllt und auch bei Betrachtung von Einzellandkreisen wird die Quote meist erfüllt.

Die Schweinehaltung wird in Abbildung 6-1 differenziert dargestellt. Während die Mastschweine annähernd optimal abgebildet werden, offenbaren sich bei den Zuchtsauen doch einige Abweichungen. Die Steigungen der Trendgeraden erhärten diesen Eindruck. Bei der Anzahl der Mastschweine beträgt diese 0,93, also annähernd eins. Die Gerade der Zuchtsauen weist hingegen eine Steigung von nur 0,78 auf, was zu ei-

ner kleineren Zahl an Zuchtsauen im Vergleich zum Status Quo führt. Diese Unterschätzung des Zuchtsauenbestandes hat allerdings mit den Annahmen des Modells zu tun. Und zwar wird angenommen, dass alle in Bayern produzierten Ferkel auch in Bayern gemästet werden und kein Verkauf nach außerhalb möglich ist. Somit orientiert sich die Zahl der Zuchtsauen an der der Mastschweine.

Alles in allem können die Ergebnisse des Ausgangsszenarios die Realität in befriedigendem Maße widerspiegeln. Deshalb ist es sinnvoll, alle weiteren Ergebnisse, auch die anderer Szenarien, auf die in diesem Abschnitt diskutierten Ergebnisse zu beziehen. Die Verwendung des Ausgangsszenarios („AS“) als Vergleichsszenario hat den Vorteil, dass die aufgrund der getroffenen Modellannahmen aufgeführten Abweichungen von der Realität, auch in allen weiteren Szenarien enthalten sind und somit die Ableitung von Tendenzen bezüglich Landnutzungsänderungen nicht durch Modellparameter verfälscht werden.

6.2.2 Weitere Ergebnisse im Ausgangsszenario

Da das Ausgangsszenario gleichfalls als Vergleichsmaßstab für alle weiteren Szenarien herangezogen wird, werden im Folgenden weitere ausgewählte Ergebnisse des Modells *LaNuOpt* vorgestellt. Wie im vorhergehenden Kapitel bereits offen gelegt, wird die Pflanzenproduktion sehr realitätsnah dargestellt. Der Anteil des Getreideanbaus an der Ackerfläche liegt bei etwa 45 % (korrigiertes arithmetisches Mittel). Der Rapsanbau wird mit 19 % leicht zu hoch und der Maisanbau mit 22 % leicht zu niedrig eingeschätzt.

Bei der Tierhaltung gibt es modellbedingt leichte Abweichungen vom Status Quo. Aufgrund der höheren Milchleistung liegt der Milchkuhbestand (ca. 1,0 Mio.) wie auch der Rinderbestand (ca. 3,0 Mio.) unter dem des Status Quo. Die dabei produzierte Milch beträgt ca. 7,0 Mio. t und liegt damit nur ganz knapp unter der bayerischen Quote. Die Schweineproduktion wird, bezogen auf die Mastschweine (ca. 2,0 Mio.), richtig wiedergegeben. Da kein Handel mit Ferkeln vorgesehen ist (siehe oben), ist die Ferkelproduktion auf 0,3 Mio. Zuchtsauen festgelegt. Zusammen werden in der Tierhaltung über 0,9 Mio. t Fleisch erzeugt. Sowohl die Milch- als auch die Fleischproduktion bewegen sich dementsprechend auf einem Niveau mit der Realität (vgl. Kapitel 6.1.4).

Das Modell *LaNuOpt* berechnet im Ausgangsszenario eine installierte Biogasleistung von 425 MW, wobei verschiedene Substrate (Silomais, Getreide-GPS, Grassilage) eingesetzt werden. Dominierend ist jedoch der Silomais als Substrat. Die insgesamt für die Biogasanlagen benötigte Fläche beträgt laut Modell etwa 250.000 ha. Das entspricht etwa 8 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche Bayerns.

Da das Szenario „AS“ in etwa den momentanen Stand der Landwirtschaft abbilden soll, wird, wie oben erwähnt, dieser Landnutzung der aktuelle Bedarf an AK-Einheiten, nämlich 142.000, zugewiesen. Ergänzend wird für jede Landnutzung ein Treibhausgas-

inventar erstellt. Im Ausgangsszenario emittiert der Pflanzenbau (ohne Futter- bzw. Substratbereitstellung) ca. 4,3 Mio. t CO_{2eq} und die Tierhaltung ca. 13,1 Mio. t CO_{2eq}. Auf der anderen Seite werden in der Biogaserzeugung ca. 1,1 Mio. t CO_{2eq} eingespart. Insgesamt führt dies zu einem Ausstoß von ca. 16,3 Mio. t CO_{2eq}. Werden die gesamtdeutschen Emissionen (130 Mio. t CO_{2eq}; DÖHLER und DÄMMGEN 2008, S. 199) über die Flächenanteile auf Bayern herunterskaliert, errechneten sich ca. 23 Mio. t CO_{2eq}. Es wird sichtbar, dass das Treibhausgasinventar im Modell *LaNuOpt* nicht alle Emissionsquellen (u. a. organische Böden) erfasst. Trotzdem können anhand der Änderungen im Vergleich zum Ausgangsszenario, Aussagen zur Klimawirkung der Landwirtschaft getroffen werden.

6.3 Ergebnisse des Szenarios „BAU“

Nachdem im Ausgangsszenario nur wenig Änderungen im Vergleich zum Status Quo vorliegen, soll im Folgenden die Landnutzung im Szenario „Business as Usual“ („BAU“) präsentiert und analysiert werden. Als Untersuchungszeitpunkt ist das Jahr 2015 ausgewählt, d. h. der Anteil der Verfahren, die auf Bodenrente II zugreifen, hat sich, wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben, verringert. Die sonstigen Rahmenbedingungen entsprechen denen des Ausgangsszenarios.

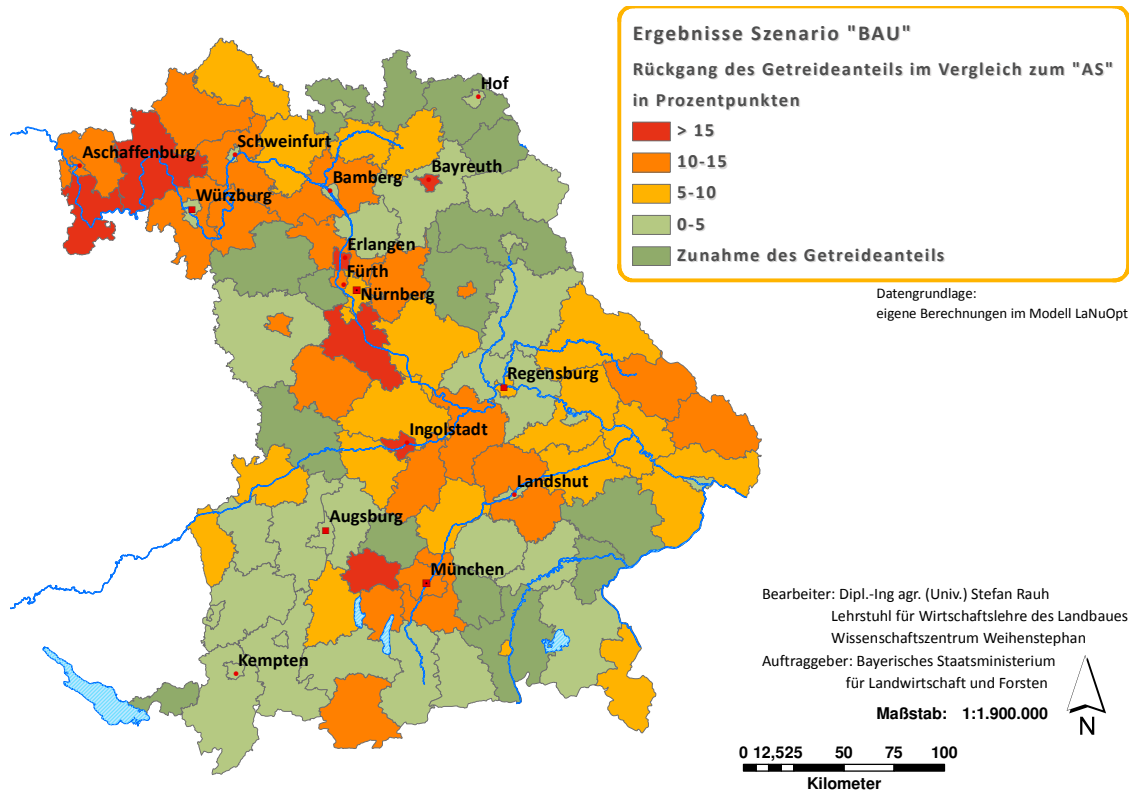
6.3.1 Pflanzenproduktion

Schon der erste Untersuchungsgegenstand, nämlich der Getreideanbau, gibt erste Hinweise auf eine Änderung der Landnutzung. Bei der Betrachtung Bayerns als Gesamtregion haben alle Getreidearten Rückgänge beim Anbauumfang vorzuweisen, was sich auch in den Einzellandkreisen zum größten Teil fortsetzt. Besonders betroffen ist hierbei der Anbau der Sommergerste zur Bierherstellung. Allein Wintergerste bzw. Getreide als Ganzpflanzensilage können Zugewinne verbuchen, wenn auch nicht in jedem Landkreis. Insgesamt gesehen verliert der Getreideanbau im Vergleich zu den Anbaualternativen (vgl. Karte 6-6). Der korrigierte Mittelwert für Bayern ist um sechs Prozentpunkte auf nur noch 39 % gefallen. Die Zugewinne beim Getreidebau in den Landkreisen im Nordosten Bayerns lassen sich teilweise durch die Erweiterung des Anbaus von Getreide-GPS erklären. Besonders starke Rückgänge weisen Teile Unter- und Mittelfrankens auf.

Logischerweise müssen die ehemaligen Getreideflächen anderweitig genutzt werden. Einer der Gewinner ist eindeutig der Mais und zwar zur Silagegewinnung. Während der Körnermaisbau nicht zulegen kann, profitiert der Anbau von Silomais. Die Ähnlichkeit der Karten Karte 6-6 und Karte 6-7 legt die Vermutung nahe, dass hier ein direkter Zusammenhang besteht. Dort wo der Maisanbau zugelegt hat, hat oftmals der Getreidebau verloren. Die Landkreise in denen diese Entwicklung nicht zu beobachten ist, befinden sich hauptsächlich im Nordosten Bayerns. Insgesamt hat jedoch der Maisan-

bau hinzugewonnen, was durch die Karten im Anhang (Anhang-Karte 8, Anhang-Karte 9, Anhang-Karte 10) untermauert wird. Die Gründe hierfür werden im folgenden Kapitel bei einer Analyse der Landnutzungsänderung im Bereich der Tierhaltung und Biogasproduktion untersucht.

Karte 6-6: Rückgang des Getreideanteils an der Fruchtfolge im Szenario „BAU“ im Vergleich zum Ausgangsszenario



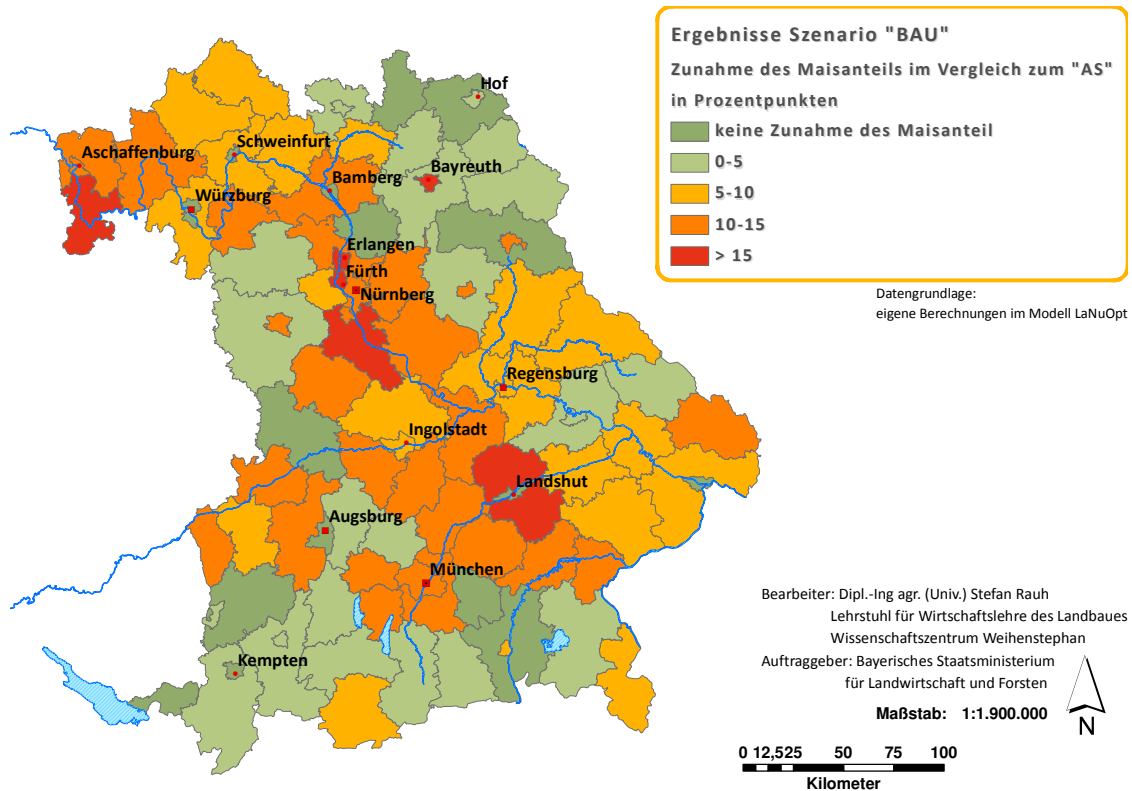
Quelle: eigene Darstellung

Waren vormals meist nur im Süden hohe Maisanteile als Futtergrundlage in der Fruchtfolge vorzufinden, hat sich das Gebiet mit Fruchtfolgeanteilen über 30 % nach Norden hin ausgeweitet. Das korrigierte arithmetische Mittel für den Anbau von Silomais steigt im Szenario „BAU“ auf 27 % im Vergleich zu 19 % im Ausgangsszenario. Die Zuwächse im Alpenraum halten sich in Grenzen, da dort oftmals schon vorher die Fruchtfolgegrenzen erreicht waren. Ein Vergleich von Anhang-Karte 8 mit Anhang-Karte 9 verdeutlicht nochmal, dass das Modell sehr realitätsnah arbeitet. Bis auf geringe Abweichungen entsprechen sich Status Quo (Tatsächliche Ausprägung) und die im Modell berechnete Ausgangssituation.

Die weiteren Ackerkulturen (Raps, Sonnenblumen, Kartoffeln, Zuckerrüben, Körnerleguminosen) verlieren tendenziell ein wenig an Fläche zu Gunsten von Silomais, bleiben aber in etwa auf dem Niveau des Ausgangsszenarios. Größere Verluste muss nur Klee-gras als Ackerfutterpflanze hinnehmen. Die Gründe für die Verschiebung beim Acker-futter vom Klee-gras hin zu vermehrtem Anbau von Getreide-GPS bzw. Silomais lassen sich durch die Betrachtung der Tierhaltung sowie der Biogaserzeugung erläutern. Der

Rückgang der Tierhaltung verringert den Bedarf an Klee gras. In der Biogaserzeugung werden hingegen bevorzugt eiweißärmere Kulturen eingesetzt. Für Grünland lassen sich nur wenige Aussagen treffen. Zu beobachten ist eine Verschiebung weg von der Nutzung von Frischgras (Weidehaltung oder Eingrasen) hin zur Silagebereitstellung.

Karte 6-7: Zunahme des Maisanteils an der Fruchtfolge im Szenario „BAU“ im Vergleich zum Ausgangsszenario



Quelle: eigene Darstellung

Eine Sonderstellung innerhalb des Szenarios nehmen die Landkreise Regen und Garmisch-Partenkirchen ein. Regen ist der einzige Landkreis, in dem Kurzumtriebsplantagen ins Produktionsprogramm aufgenommen werden. In Garmisch-Partenkirchen wird ein kleiner Teil der Ackerfläche brach gelassen.

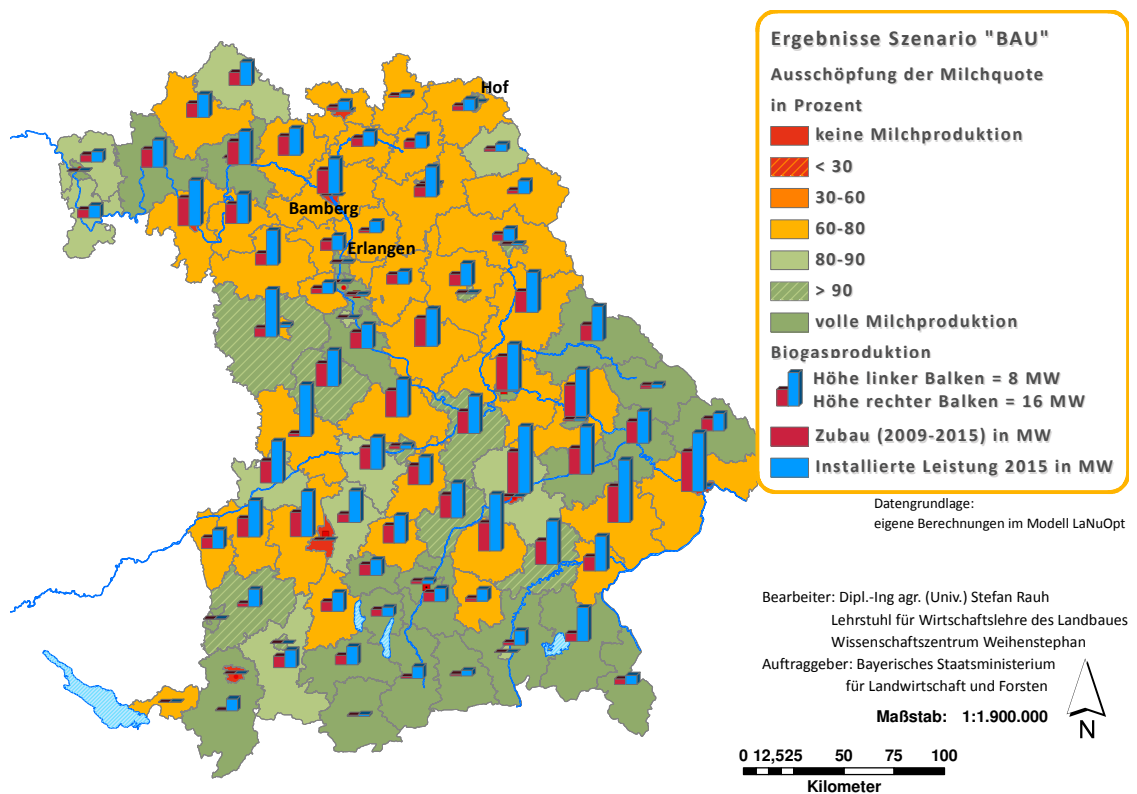
6.3.2 Tierhaltung und Biogasproduktion

Die Ergebnisse von *LaNuOpt* offenbaren bei allen Tierarten einen Rückgang bei der Tierzahl und einen Zuwachs bei der installierten elektrischen Leistung zur Biogaserzeugung. Dies ist auch ein Erklärungsansatz für die oben beschriebene Entwicklung bei den Ackerfutterpflanzen. Silomais und auch Getreide-GPS eignen sich aufgrund des niedrigeren Proteingehalts im Vergleich zu Klee gras besser für die Biogaserzeugung. Der Anteil der Flächen zur Futtererzeugung erniedrigt sich aufgrund des Rückgangs der Tierzahlen zwangsläufig.

Die Zahl der Rinder verringert sich im Vergleich zum Szenario „AS“ um 400.000 auf nur noch 2,6 Mio. Tiere. Allein der Rückgang der Milchkühe beträgt über 100.000 Stück.

Ein Abbau der Rinderzahlen bedeutet aber nicht notwendigerweise, dass die Milchproduktion zurückgeht, denn weniger Kühe müssen nicht automatisch weniger Milch erzeugen. Ein Trend hin zu leistungsfähigeren Kühen hätte einen weiteren Rückgang der produzierten Fleischmenge zur Folge, die ohnehin schon aufgrund der niedrigeren Tierzahlen zurückgeht. Von ca. 920 Tsd. t Fleisch im Ausgangsszenario bleiben noch ca. 835 Tsd. t übrig. Das entspricht einem Rückgang um annähernd 10 %. Bei der Milchproduktion errechnet das Modell *LaNuOpt* einen stärkeren Rückgang von immerhin ca. 13 % bezogen auf ganz Bayern von 7,0 Mio. t auf 6,1 Mio. t. Wie hoch die Quotenausnutzung in den einzelnen Regionen ist, veranschaulicht Karte 6-8.

Karte 6-8: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion im Szenario „BAU“



Anmerkungen:

Die Darstellung der Säulen in der Legende dient zur Definition des Maßstabes.

Die Höhe der linken Säule entspricht 8 MW, die der Rechten 16 MW.

Quelle: eigene Darstellung

Die grün gefärbten Gebiete weisen nur einen geringen Rückgang der Milchproduktion auf. Besonders die Kerngebiete der Milchproduktion in den Alpen können unter den Bedingungen des Szenarios „BAU“ mit einem Milchpreis von ca. 32 ct/kg Milch die bisherige Struktur beibehalten. Ein stärkerer Rückgang (60-80 %) ist ebenfalls großflächig vorzufinden, wobei in dieser Gruppe meist über 75 % Ausschöpfung der Milchquote erreicht wird. Regionen, in denen keine Milchproduktion oder nur noch in kleinstem

Ausmaß stattfindet, sind in der Karte relativ schwer zu erkennen, da dies meist nur in den kreisfreien Städten der Fall und damit auch von geringer Bedeutung ist.

Die Produktion von Schweinen wird ebenfalls zurückgefahren, allerdings lediglich um rund 5 %, so dass ein Bestand an Zuchtsauen von 260.000 Tieren (Szenario „AS“: 270.000) bzw. ein Bestand von 1,9 Mio. Mastschweinen (Szenario „AS“: 2,0 Mio.) verbleibt.

Die Biogaserzeugung auf der anderen Seite ist der Gewinner im Szenario „BAU“, obwohl noch nicht einmal die höhere Vergütung des aktuellen EEG eingerechnet ist. Die modellierte installierte Leistung hat sich auch so mehr als verdoppelt (Ausgangsszenario: 425 MW; „BAU“ 2015: 925 MW). Karte 6-8 zeigt zum einen die Höhe des Zubaus an installierter elektrischer Leistung in den Regionen im Zeitraum von 2009 bis 2015 (rote Säule) und zum anderen die daraus resultierende Gesamtleistung der einzelnen Regionen (blaue Säule). Als Erstes lässt sich festhalten, dass in vielen Landkreisen ein Ausbau der Biogasproduktion vollzogen wird. Die Schwerpunkte liegen, wie die Höhe der Säulen zeigt, entlang der Donau sowie im westlichen Franken. Besonders starke Anstiege gibt es in den Gäulagen (über 30 MW im Landkreis Landshut oder Rottal-Inn). In den typischen Milchviehregionen kann sich die Biogasproduktion, auch aufgrund des hohen Grünlandanteils, unter diesen Bedingungen nicht durchsetzen. Aufschlussreiche Folgerungen lassen sich aus der Differenz der beiden Säulen ableiten. Ist die blaue Säule weitaus größer als die rote, bedeutet dies nichts anderes, als dass der Zubau an Biogaskapazitäten im Vergleich zu den bereits vorhandenen relativ gering ausfällt. In den Landkreisen Donau-Ries und Ansbach ist genau das der Fall.

6.3.3 Arbeitsmarkt und Treibhausgasinventar

Im Folgenden sollen noch kurz mögliche Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt dargestellt werden. Laut den Modellergebnissen reduziert sich der Bedarf an AK-Einheiten in der Landwirtschaft von 142.000 auf 132.000, was einem Rückgang um rund 7 % entspricht. Grund hierfür ist die im Vergleich zu den Tierhaltungsverfahren arbeitsexensive Biogaserzeugung.

Für die Biogaserzeugung spricht dagegen die positive Klimawirkung. Durch deren Ausbau werden nunmehr ca. 2,2 Mio. t CO_{2eq} (Szenario „AS“: 1,1 Mio. t CO_{2eq}) eingespart. Die Bilanz der gesamten bayerischen Landwirtschaft verbessert sich sogar um 3,3 Mio. t CO_{2eq}, da weniger Tiere, insbesondere Rinder, gehalten werden. Im Bereich der Pflanzenproduktion sind nur minimale Veränderungen feststellbar.

6.4 Ergebnisse des Szenarios „EEG“

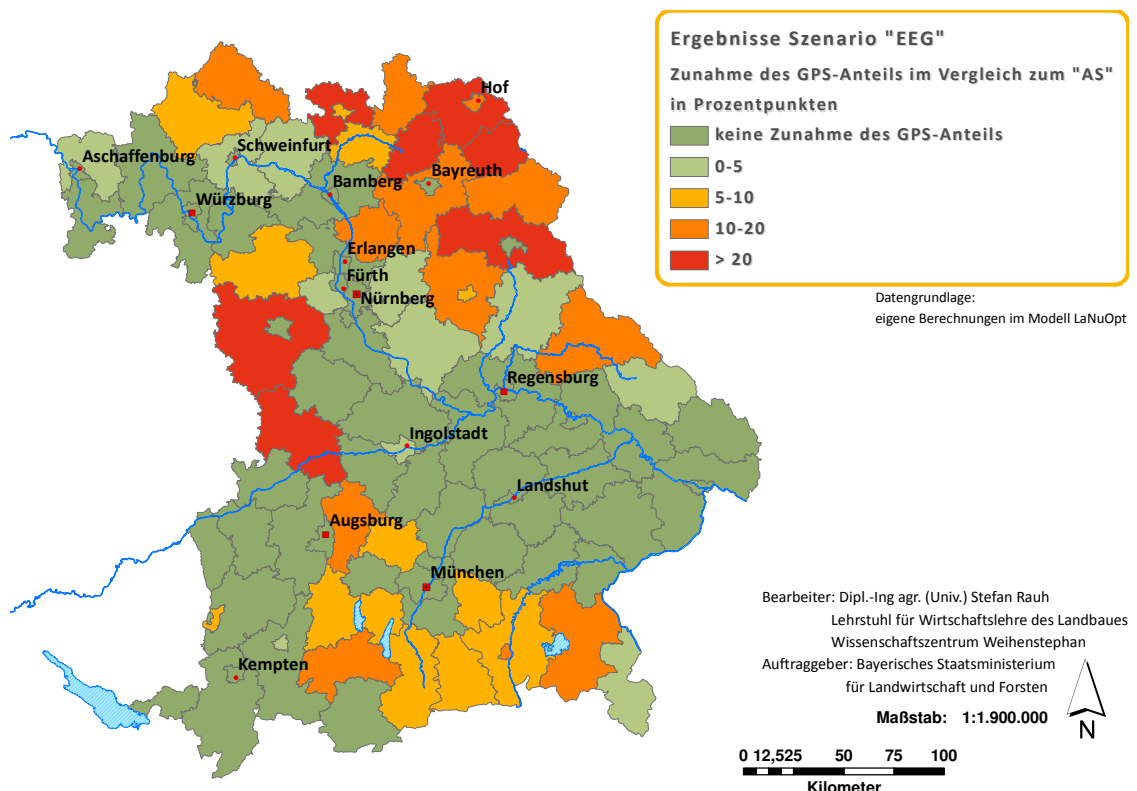
Das zuvor präsentierte Ergebnis des Szenarios „BAU“ hat allerdings mehr oder weniger nur hypothetischen Charakter, da die darin integrierte Vergütung der Biogaserzeugung nicht dem aktuellen Stand der Rechtslage entspricht. Die Entwicklung der Landnutzung

wird jedoch insbesondere bis zum Jahr 2015 federführend durch diese Gesetzesänderung geprägt. Das im Folgenden untersuchte Szenario „EEG“ entspricht somit den erwarteten Entwicklungen der kommenden Jahre. Durch einen Vergleich mit dem Szenario „BAU“ können die direkten Auswirkungen des EEG herausgearbeitet werden.

6.4.1 Pflanzenproduktion

Wie bei der Präsentation des Szenarios „BAU“ wird mit der ackerbaulichen Flächennutzung begonnen. Im Vergleich zum Szenario „BAU“ hat sich der Getreideanteil nur leicht verändert und liegt im Vergleich zum Ausgangsszenario fünf Prozentpunkte zurück. Allerdings hat sich die Zusammensetzung der einzelnen Getreidearten verschoben, weil Getreide-GPS an Stelle von Marktfrüchten (Winterweizen, Braugerste) tritt. Besonders in so genannten Grenzregionen Oberfrankens bzw. des Alpenraums wird Getreide-GPS verstärkt ins Produktionsprogramm aufgenommen (vgl. Karte 6-9). Der Anteil liegt im Durchschnitt für Bayern bei 5 % (korrigiertes Mittel), wobei in den oberfränkischen Landkreisen (Wunsiedel i. Fichtelgebirge, Hof) auch Anteile jenseits der 30 %-Marke zu finden sind.

Karte 6-9: Zunahme des Getreide-GPS-Anteils an der Fruchtfolge im Szenario „EEG“ im Vergleich zum Ausgangsszenario



Quelle: eigene Darstellung

Andere Cash-Crops, wie Raps oder Sonnenblumen bzw. Körnerleguminosen, müssen leichte Verluste beim Anteil an der Fruchtfolge hinnehmen. Gewinner ist auch in diesem Szenario eindeutig der Mais und hier insbesondere der Silomais, der fast hundert

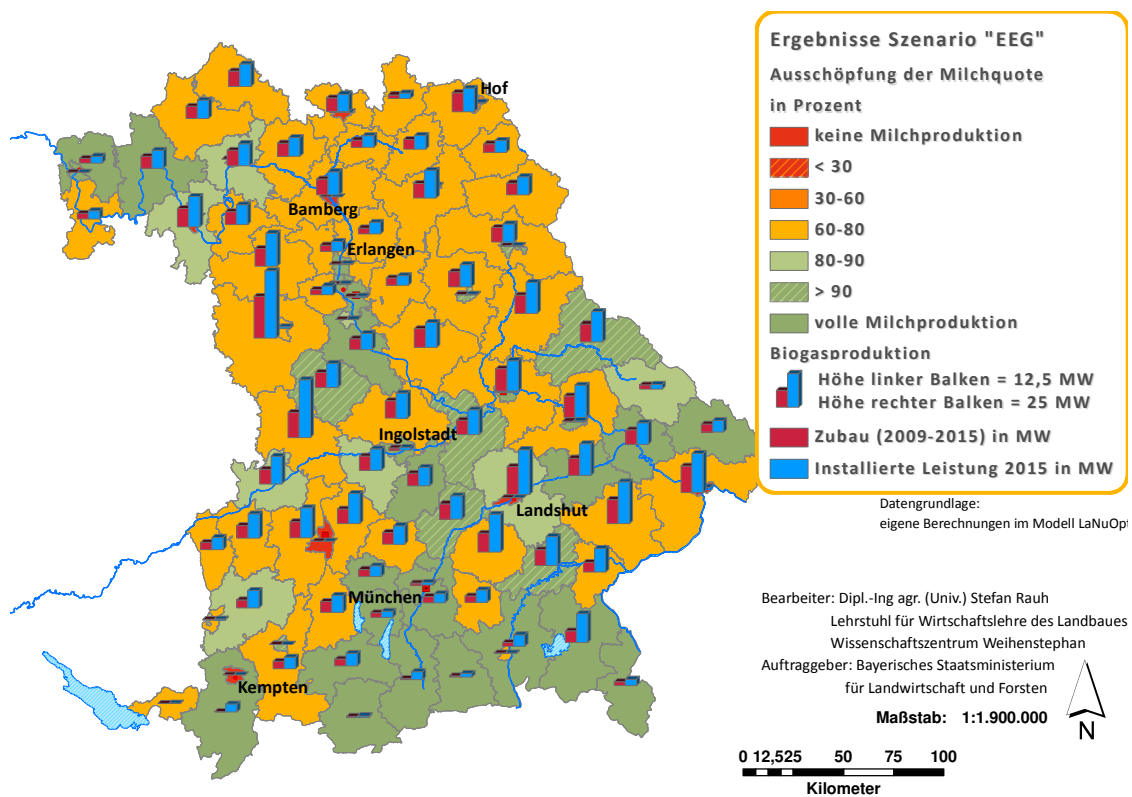
Prozent des Maisanbaus ausmacht. Analog zum Ergebnis unter den Rahmenbedingungen des alten EEG aus dem Jahr 2004 ist ein deutlich höherer Anteil von Mais, besonders in den südlichen Regionen, mit bis zu 50 % auszumachen. Eine weitere Steigerung im Vergleich zum Szenario „BAU“ ist allerdings nicht feststellbar.

Die Ackerfutterpflanze Klee gras wird nicht so stark zurückgedrängt wie zuvor. Ähnliches kann für die Weidenutzung des Grünlandes gelten. Unter den Bedingungen des novellierten EEG kommt in keinem der Landkreise Brache vor. Der Landkreis Regen bildet wieder einen Sonderfall. Hier werden ca. 3.000 ha Kurzumtriebsplantagen angelegt; dies sind allerdings weniger als im vorherigen Szenario.

6.4.2 Tierhaltung und Biogasproduktion

Die dargestellten Entwicklungen im Pflanzenbau werden durch die höheren Vergütungen für Strom aus Biogas des EEG 2009 ausgelöst. Wird im Szenario „BAU“, d. h. unter Annahme der Vergütung von 2004, eine installierte Leistung von 925 MW mittels *LaNuOpt* modelliert, erfolgt nun ein Ausbau sogar bis zu einer Leistung von 1.080 MW. Karte 6-10 zeigt, wo der größte Zubau bis 2015 zu erwarten ist. Der Landkreis mit der größten installierten elektrischen Leistung ist Ansbach mit 49 MW.

Karte 6-10: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion („EEG“ 2015)



Anmerkungen:

Die Darstellung der Säulen in der Legende dient zur Definition des Maßstabes.

Die Höhe der linken Säule entspricht 12,5 MW, die der Rechten 25 MW.

Quelle: eigene Darstellung

Da im Szenario „EEG“ nur die Vergütung der Biogasanlagen weiter erhöht wird, ergibt sich ein ähnliches Bild wie in Karte 6-8 (Szenario „BAU“). Der Zuwachs ist in den Ackerbauregionen besonders ausgeprägt, was die dortige Zunahme von Silomais erklärt. Zu beachten sind auch die Alpenregionen, wo zwar die installierte Leistung nicht so große Ausmaße wie in den Gunstgebieten erreicht, aber wegen des geringen Ackeranteils die Bedeutung des Silomais durchaus gegeben ist. Es ist durchaus von Bedeutung, wenn die wenigen Ackerflächen ausschließlich mit Mais bebaut werden. Im Landkreis Donau-Ries wird trotz des bereits vorhandenen Biogaspotenzials in vergleichsweise großem Umfang zugebaut. In vielen Landkreisen wird aufgrund des neuen EEG die Leistung stärker erhöht als im Szenario „BAU“ (vgl. Anhang-Abbildung 2). In 56 Landkreisen ist dies nicht der Fall. Darunter sind u. a. das Ostallgäu und das Oberallgäu zu finden, die sogar 2,2 bzw. 1,6 % weniger Leistung installieren. Allerdings wird die installierte Leistung in 20 Landkreisen in Folge des novellierten EEG um über 50 % im Vergleich zur Situation des alten EEG gesteigert. Darunter befinden sich Landkreise, die bereits eine ausgeprägte Biogasstruktur aufweisen (u. a. Donau-Ries, Ansbach), aber auch Landkreise mit Mittelgebirgscharakter (Wunsiedel i. Fichtelgebirge, Hof, Regen). Die Verschiebungen im Vergleich zum Szenario „BAU“ ergeben sich hauptsächlich durch die höheren Einspeisevergütungen in Verbindung mit der Einführung des Güllebonus. Insgesamt werden die Substrate auf 664 Tsd. ha (Szenario „BAU: 526 Tsd. ha). bereitgestellt.

Die Koppelung der Tierhaltung mit der Biogasproduktion führt dazu, dass trotz einer beachtlichen Steigerung der Biogasproduktion, eine Milchproduktion in Höhe von über 5,9 Mio. t Milch erzielt wird. Das bedeutet einen Verlust von ca. 1,1 Mio. t (entspricht ca. 16 %). Die typischen Milchregionen können ihre Milchproduktion aufrechterhalten. Bei der Fleischproduktion resultiert ein Rückgang auf ca. 820 Tsd. t (Ausgangsszenario 920 Tsd. t), was 11 % entspricht. Im Vergleich zum Szenario „BAU“ (2015) hat sich hier also wenig geändert, da die Schweinehaltung und auch die Mutterkuhhaltung konstant bleiben. Die innerbayerischen Selbstversorgungsquoten von Milch (142 %) und Rindfleisch (212 %) übersteigen die 100 %-Marke immer noch deutlich.

6.4.3 Arbeitsmarkt und Treibhausgasinventar

Aus den dargelegten Entwicklungen ergeben sich Auswirkungen auf den Arbeitskraftbedarf in der Landwirtschaft. Dieser geht von 142.000 auf 133.000 AK-Einheiten zurück. Räumlich gesehen gestaltet sich die Tendenz jedoch sehr variabel (vgl. Anhang-Karte 11). Nicht überall ist mit einem Rückgang aufgrund der Ausweitung der Biogasproduktion zu rechnen. In den Ackerbaugebieten (Unterfranken) ist u. U. sogar ein zusätzlicher Arbeitskraftbedarf möglich. In diesen Regionen wird arbeitsexensiver Marktfruchtbau ersetzt. Die orange bzw. rot markierten Gebiete sind genau dort zu finden, wo die Milchviehhaltung eingeschränkt (z. B. ostbayerische Mittelgebirge) oder

aufgrund von Leistungssteigerung in der Milchviehhaltung Arbeit frei wird (Alpenraum).

Das Treibhausgasinventar für die bayerische Landwirtschaft verbessert sich im Szenario „EEG“ um weitere 1,3 Mio. t CO_{2eq}. Hauptsächlich sind dies der ausgedehnte Ausbau der Biogaserzeugung sowie der Rückgang der Tierhaltung. Insgesamt betragen die Emissionen jetzt ca. 11,7 Mio. t CO_{2eq}.

6.4.4 Ergebnisse der Szenarierete „niedriger Milchpreis“

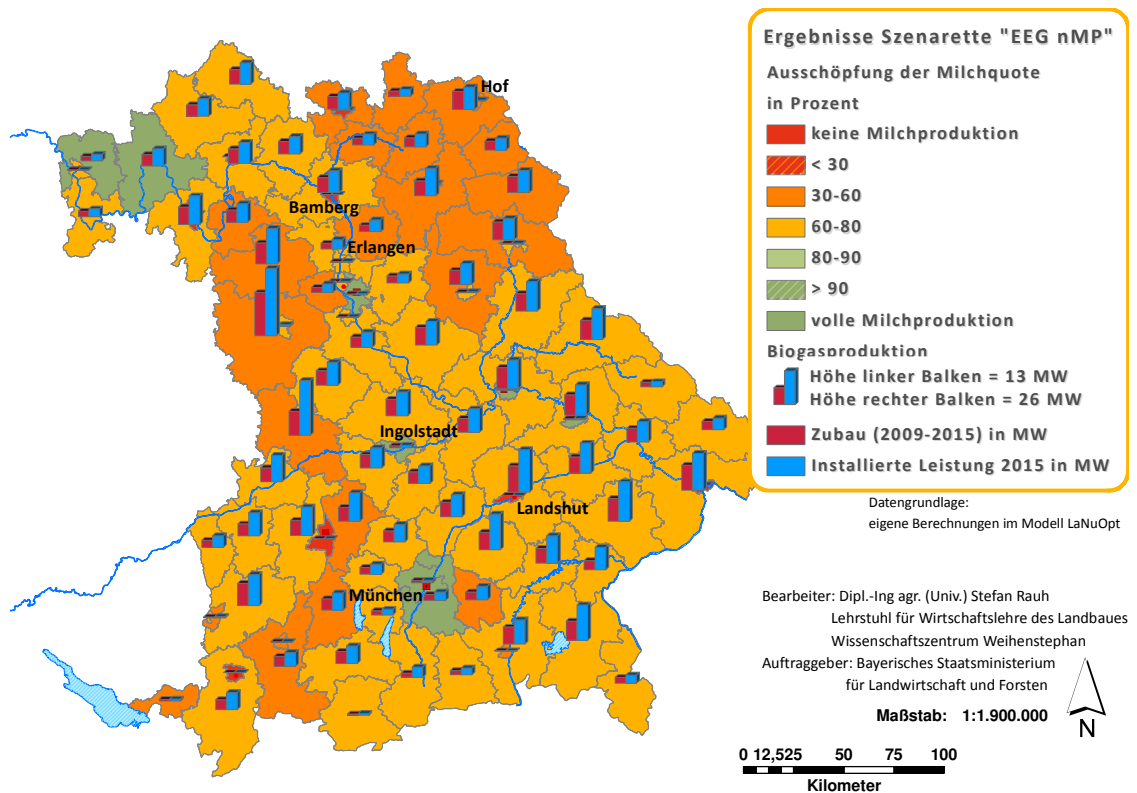
Die im Szenario „EEG“ unterstellten Marktpreise für die Agrarprodukte entsprechen den Durchschnittspreisen der Jahre 2005 bis 2008. Allerdings ist insbesondere der Milchmarkt von einem starken Wandel geprägt. Der Erzeugerpreis für Milch ist flächendeckend eingebrochen (VMB, versch. Jahrgänge). Aus diesem Grund sollen unter sonst gleichen Annahmen die Auswirkungen eines niedrigeren Milchpreises untersucht werden. Anstatt des zuvor angenommenen Preises von 32 ct/kg Milch werden nun 23 ct/kg Milch (vgl. Kapitel 5.3) herangezogen. Als Untersuchungszeitpunkt wird wieder das Jahr 2015 eingesetzt. Verglichen werden die folgenden Ergebnisse im Wesentlichen mit denen des Szenarios „EEG“.

Bei den Ackerkulturen halten sich die Veränderungen im Vergleich zum zugehörigen Szenario „EEG“ im überschaubaren Bereich. Der Anbau von Winterweizen, Wintergerste und auch Braugerste wird leicht ausgebaut, während auf der anderen Seite Getreide-GPS diesen Betrag wieder verliert. Auch Klee gras als weitere potenzielle Futterpflanze ist leicht rückläufig. Der Grund lässt sich relativ leicht erschließen. Die Anzahl der Milchkühe verringert sich von gut 860.000 auf 660.000 Stück. Folgerichtig reduziert sich auch die Anzahl aller Rinder um insgesamt 500.000. Die zugehörige Futterfläche wird in dieser Verwertungslinie nicht weiter nachgefragt, so dass Andere (z. B. Biogas) darauf zurückgreifen können. Frei werdende Ackerflächen werden wieder mit einer Alternativkultur (z. B. Winterweizen) bewirtschaftet. Der starke Rückgang der Rinderhaltung mit einhergehender niedriger Futternachfrage hat auch Konsequenzen für das Grünland. Ehemals als Weideland genutztes Grünland wird jetzt in einer anderen Form (z. B. Silage) genutzt. Zum Teil werden größere Teile des Grünlandes auch brach liegen gelassen. Dies ist dann der Fall, wenn selbst die Biogaserzeugung keine ausreichende Entlohnung erwarten lässt.

Nichts desto trotz wird das vorhandene Grünland bei einem niedrigen Milchpreis verstärkt in Biogasanlagen genutzt. Erstmals zeigen sich in Karte 6-11 auch in den Grünlandregionen bemerkenswerte Biogaskapazitäten. Besonders starke Zuwächse im Vergleich zu einem höheren Milchpreis weisen folgende Landkreise auf: Unterallgäu, Rosenheim, Oberallgäu, Weilheim-Schongau und Miesbach. Insgesamt berechnet das Modell *LaNuOpt* eine installierte Leistung in Höhe von ca. 1.150 MW (Szenario „EEG“: 1.080 MW). Die dafür benötigte Substratfläche beträgt hier bereits ca. 720 Tsd. ha. Knapp über 25 % davon ist Grünland.

Die Milchproduktion wird somit in starkem Maße eingeschränkt. Bayernweit wird die Quote nur noch zu 62 % (korrigierter Mittelwert) ausgeschöpft, wobei der Ausstieg aus der Milchproduktion diesmal auch vor den typischen Milchviehregionen nicht Halt macht. Karte 6-11 deutet sogar an, dass im Gegenteil die Ackerstandorte (Unterfranken) eher von dieser Entwicklung verschont bleiben, wobei die Milchproduktion dort keine bedeutende Rolle spielt. Nach der Logik des Modells *LaNuOpt* sind im Jahr 2015 35 % der 2008 bestehenden Milchviehställe abgeschrieben. Es hören also auch Betriebe auf, obwohl der Stall noch nicht abbezahlt ist. In den einzelnen Landkreisen ist diese Erscheinung sogar gehäuft festzustellen (orange Landkreise). Betroffen sind Teile der Regierungsbezirke Oberfranken und Mittelfranken, aber auch Landkreise anderer Regierungsbezirke.

Karte 6-11: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion (Szenarete „nMP“)



Anmerkungen:

Die Darstellung der Säulen in der Legende dient zur Definition des Maßstabes.

Die Höhe der linken Säule entspricht 13 MW, die der Rechten 26 MW.

Quelle: eigene Darstellung

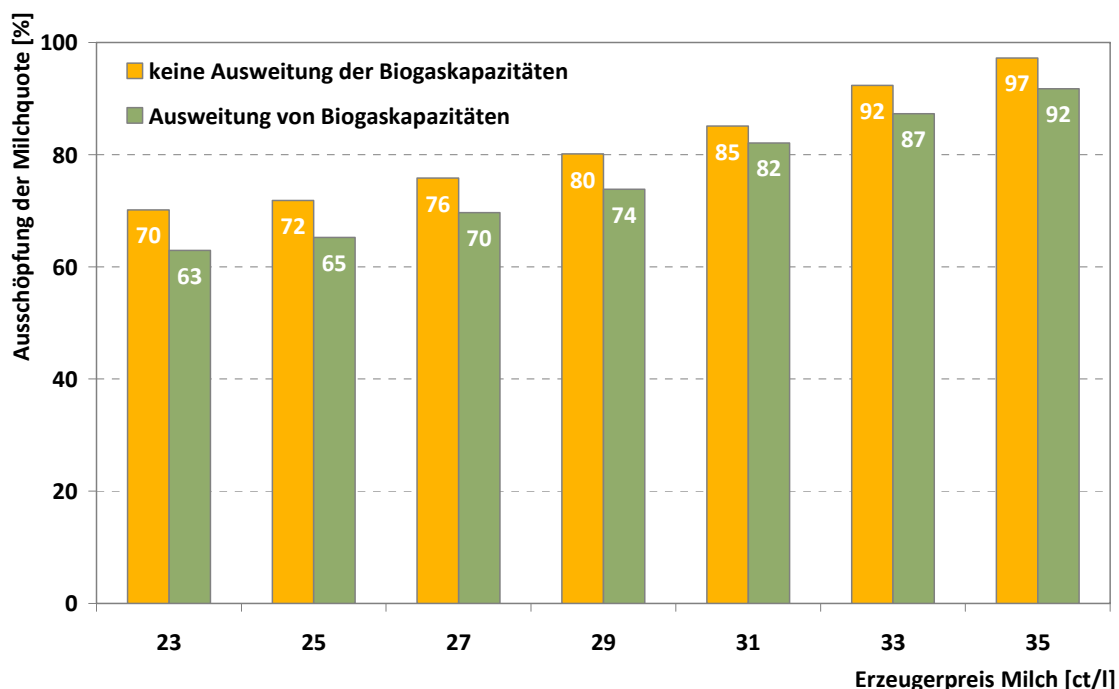
Die Produktion von Fleisch wird weniger stark reduziert, da die Schweineproduktion vom niedrigen Milchpreis profitiert und ihre Tierzahlen im Vergleich zum Szenario „EEG“ steigern kann. Die Rücknahme der arbeitsintensiven Rinderhaltung führt letztendlich auch zu einem niedrigen Bedarf an Arbeitskräften (118.000 AK-Einheiten). Das sind weitere 15.000 verlorene Arbeitsplätze v. a. in den strukturschwachen Gebirgsre-

gionen. Die logische Konsequenz daraus ist der einzig positive Effekt, nämlich eine weitere Reduktion von Treibhausgasen. In dieser Szenarierete errechnen sich nur noch 9,7 Mio. t CO_{2eq}. Das entspricht einer Einsparung im Vergleich zum Ausgangsszenario von 40 %, wobei ein Großteil der Reduktion des Tierbestandes geschuldet ist.

Nun stellt sich die Frage, welchen Anteil die hohe Biogasvergütung am Rückgang der Milchviehhaltung in Bayern hat. Um diese Frage zu beantworten, wird der Ausbau der Biogaskapazitäten im Zeitraum von 2009 bis 2015 im LP-Tableau unterbunden. Es wird analysiert, wieweit die Milchquote in Bayern in Abhängigkeit vom Milchpreis ausgeschöpft wird. Vergleichend wird die Situation mit und ohne eine Ausweitung der Biogaskapazitäten gegenübergestellt (vgl. Abbildung 6-2).

Bei einem Milchpreis von 23 ct/l Milch (wie in Szenarierete „nMP“) wird die Quote bei expandierender Biogasproduktion nur zu etwa 63 % ausgeschöpft. Eine schrittweise Erhöhung des Milchpreises bis zu einem Preis von 35 ct/l steigert die Wettbewerbskraft der Milchviehhaltung zunehmend, so dass wieder Neuinvestitionen getätigt werden und, bis auf in wirklichen Grenzstandorten, die volle Milchproduktion gewährleistet wird. Bemerkenswert in Abbildung 6-2 ist, dass sich die beiden Säulen (mit/ohne Biogas) um ca. fünf Prozentpunkte unterscheiden.

Abbildung 6-2: Ausschöpfung der Milchquote in Abhängigkeit vom Milchpreis unter den Rahmenbedingungen des Szenarios „EEG 2009“



Quelle: eigene Berechnungen

Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass der Güllebonus nicht dazu in der Lage ist, den Austritt aus der Milchproduktion bei niedrigeren Erzeugerpreisen zu verhindern. Die Biogasproduktion ist somit ein direkter Konkurrent zur Milchproduktion.

6.5 Ergebnisse des Szenarios „AP“

Abschließend werden die Ergebnisse des Landnutzungsmodells im Szenario „AP“ präsentiert. Eckpunkte der Analysen sind der Wegfall der Milchquoten sowie einheitliche Flächenprämien. Aufgrund der Abschaffung der Quotenregelung wird weiterhin ein relativ niedriger Milchpreis (23 ct/kg) angesetzt. Dieser entspricht dem Niveau wie in der Szenarettete „niedriger Milchpreis“.

6.5.1 Pflanzenproduktion

Beim Untersuchen der Modellergebnisse kann festgestellt werden, dass diese nur wenig von den Ergebnissen der Szenarettete „niedriger Milchpreis“ abweichen. Die Neuregelung der Prämienzahlung, d. h. einheitliche Flächenzahlungen für Acker- und Grünland sowie Abschaffung der Energiepflanzenprämie, hat nahezu keinen Einfluss auf die Landnutzung.

In Relation zum Ausgangsszenario wird dementsprechend die Verteilung der Getreidearten zu Gunsten von Getreide-GPS verschoben. Gleichzeitig gewinnt auch hier der Silomaisanbau an Bedeutung. Neu in diesem Szenario ist das vereinzelt Auftreten von Ackerflächen ohne Nutzung, so genannten Brachflächen (vgl. Anhang-Karte 12). Die Landkreise Regen (Bayerischer Wald) und Kronach (Frankenwald) sind ausgewiesene Grenzertragsstandorte. Auch im Grünlandbereich werden Schläge vermehrt nicht bewirtschaftet.

6.5.2 Tierhaltung und Biogasproduktion

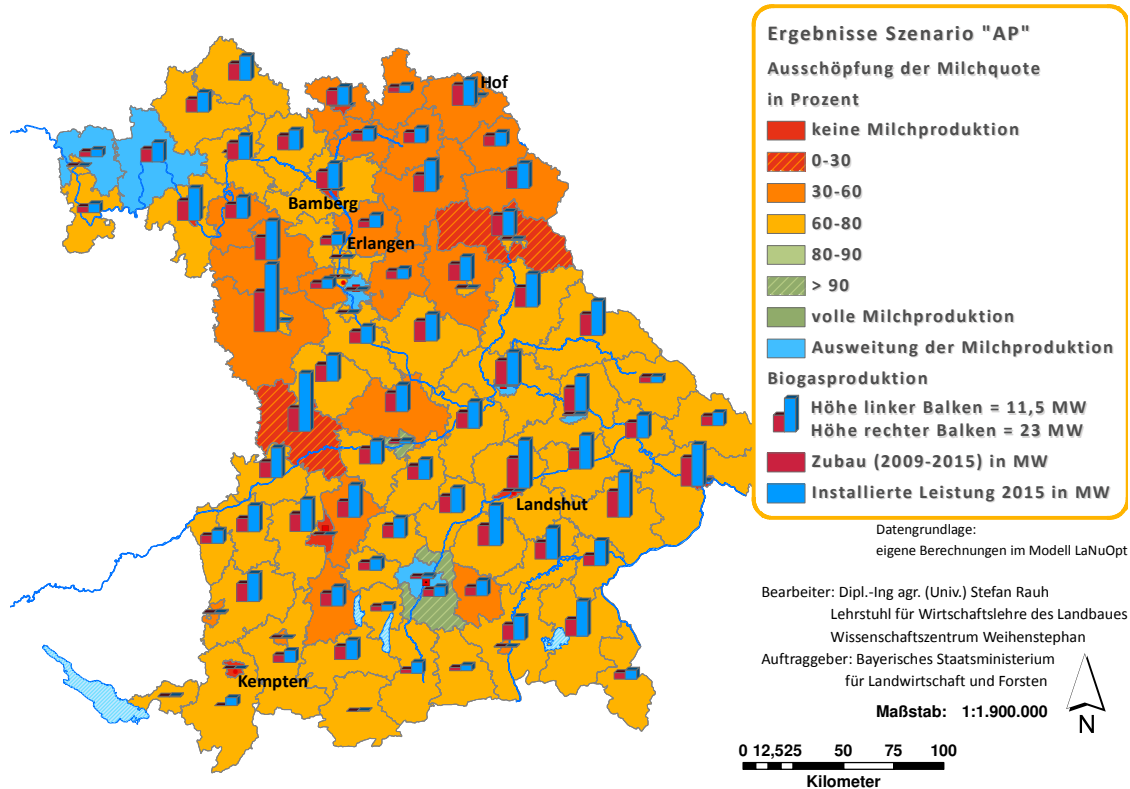
Größere Bedeutung kommt dagegen dem Quotenausstieg zu. Die Ausschöpfung der ehemaligen Milchquote gestaltet sich ebenfalls ähnlich wie in der Szenarettete „niedriger Milchpreis“, was aufgrund des gleichen Milchpreises leicht nachzuvollziehen ist. Unterschiede ergeben sich in der räumlichen Verteilung. In den blau gefärbten Landkreisen in Karte 6-12 wird die Milchproduktion sogar über das ursprüngliche Maß ausgedehnt, was vorher aufgrund der landkreisspezifischen Quote nicht möglich war.

Über ganz Bayern betrachtet, wird die Rinderhaltung stark zurückgefahren. Die Zahl der Rinder sinkt auch in diesem Szenario deutlich auf nur noch 1,9 Mio. Stück (Szenario „AS“: 3,0 Mio. Stück). Demzufolge reduzieren sich auch die Milch- und Fleischmengen (Milch: 4,4 Mio. t vs. 7,0 Mio. t; Fleisch: 750.000 t vs. 920.000 t). Die Fleischmenge bewegt sich auf einem Level mit den anderen Szenarien, da die Schweineproduktion konstant bleibt.

Die Erklärung, warum die Milch in die Ackerbaugengebiete wandert, liefert die Biogasproduktion. In diesem Szenario berechnet *LaNuOpt* eine installierte Leistung von ca. 1.100 MW. Diese Kapazitäten finden sich hauptsächlich in den Ackergebieten (vgl. Karte 6-12). Um die dort erzeugte Strommenge möglichst rentabel zu verkaufen, werden die Betreiber bestrebt sein, den Güllebonus zu aktivieren, wozu sich Rindergülle

anbietet. Die Milchviehhaltung als Güllieferant ist dort momentan noch nicht stark ausgeprägt (vgl. Anhang-Karte 4).

Karte 6-12: Ausschöpfung der Milchquote und Zunahme der Biogasproduktion (Szenario „AP“)



Anmerkungen:

Die Darstellung der Säulen in der Legende dient zur Definition des Maßstabes.

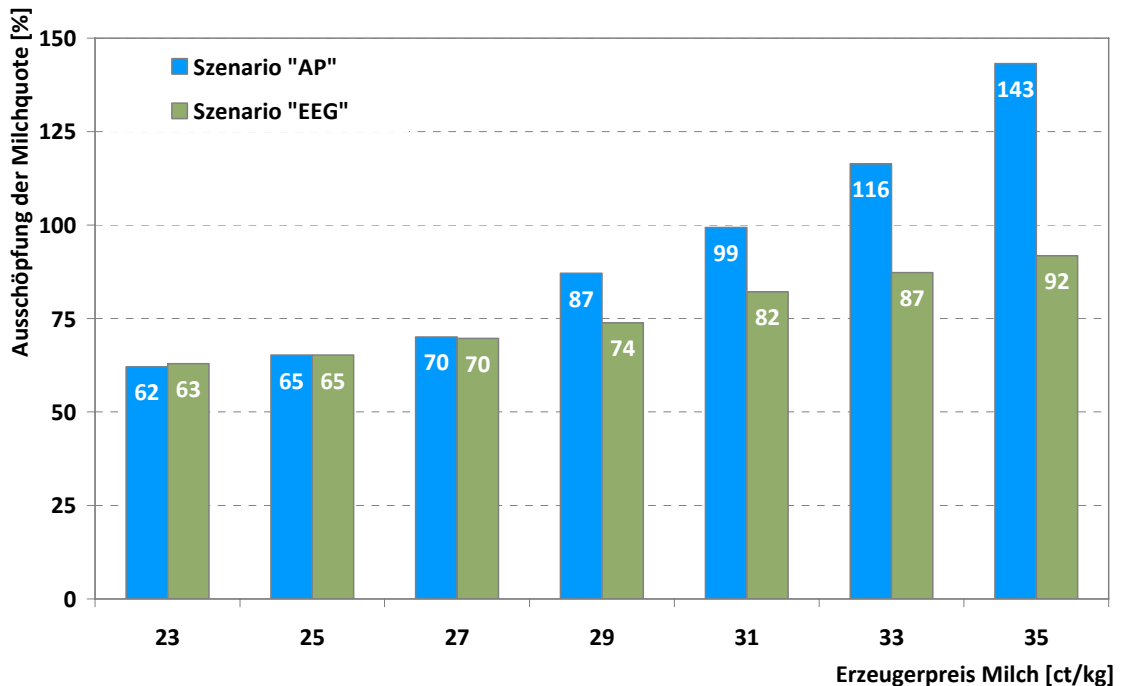
Die Höhe der linken Säule entspricht 15,5 MW, die der Rechten 31 MW.

Quelle: eigene Darstellung

Die Frage, die sich nun stellt, ist, welchen Einfluss höhere Milchpreise auf die Ausschöpfung der ursprünglichen Milchquote haben. Zur Beantwortung dieser Frage erfolgt eine schrittweise Erhöhung des Milchpreises analog zu Kapitel 6.4.4. Nun soll untersucht werden, ob sich Unterschiede bei der Ausschöpfung der Milchquote bei unterschiedlichen politischen Rahmenbedingungen (Szenario „EEG“ vs. Szenario „AP“) ergeben. Vermutet wird, dass die Menge der bisherigen Milchquote bereits früher erreicht wird, da Milch im Szenario „AP“ ohne Hindernisse (Quotenkosten) produziert werden kann, wo es ökonomisch am sinnvollsten ist. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Abbildung 6-3 dargestellt. Wie vermutet, ist ein Milchpreis, der bayernweit gesehen die Menge der ehemaligen Milchquote ausschöpft, bereits früher erreicht. Bei einem Preis von 31 ct/kg werden 99 % ermolken. Problematisch ist nur, dass dies nicht in Grünlandregionen geschieht. Eine volle Milchproduktion wird dort erst bei über 33 ct/l erreicht. Bei diesem Preisniveau wäre allerdings eine sehr hohe Milchversorgung gegeben (116 %). Angesichts des bereits unter heutigen Verhältnissen vorherr-

schenen Angebotsüberhangs bleibt es fraglich, inwieweit solche Preise realisierbar sind und v. a. aufrechterhalten werden können. Denn Überproduktion führt normalerweise zu einer Preissenkung, wie es im Frühjahr 2009 der Fall war.

Abbildung 6-3: Ausschöpfung der Milchquote in Abhängigkeit vom Milchpreis und politischen Rahmenbedingungen



Anmerkungen:

Szenario „AP“: ohne Milchquotenregelung

Szenario „EEG“: mit Milchquotenregelung

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 6-3 zeigt, welche Auswirkungen die Gemeinsame Agrarpolitik in der EU im Bereich der Milchproduktion hat. Aber auch in diesem Fall sind angemessene Milchpreise erforderlich (ca. 29 ct/kg), um Neuinvestitionen in diesen Betriebszweig zu rechtfertigen.

6.5.3 Arbeitsmarkt und Treibhausgasinventar

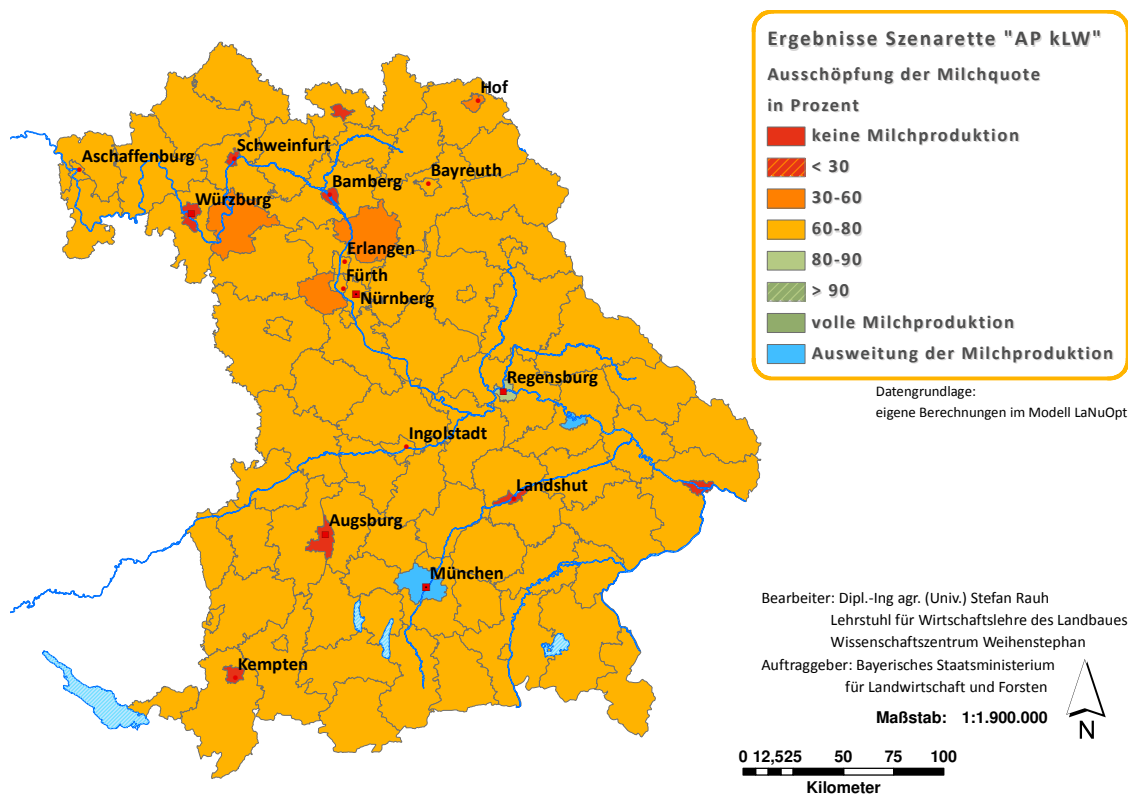
Die Kehrseite der Entwicklungen im Szenario „AP“ ist die Prognose des Arbeitskraftbedarfs in der Landwirtschaft unter diesen Voraussetzungen. In ganz Bayern errechnet sich ein Arbeitskraftbedarf von nur noch 116.000 AK-Einheiten im Vergleich zu 142.000 in der Ausgangssituation. Besonders nachteilig wirkt sich dies im Alpenraum, im Bayerischen Wald sowie Oberfranken aus, wo mehr als 20 % des Arbeitsbedarfs wegfällt (vgl. Anhang-Karte 13). Regionen mit Zuwächsen bei der Milchviehhaltung (Unterfranken) profitieren im Gegensatz dazu auf dem Arbeitsmarkt. Auch ackerbaulich geprägte Landkreise können den Arbeitskräftebedarf in etwa erhalten.

Beim Treibhausgasinventar offenbart sich ein ähnliches Bild wie in allen anderen Szenarien, in denen die Biogaserzeugung ausgeweitet wird. Diese spart allein bereits ca. 3,1 Mio. t. CO_{2eq} ein. Zusätzlich reduzieren sich die Emissionen durch die Einschränkung des Tierbestands. Für die Landwirtschaft ergeben sich dann noch Emissionen in Höhe von 9,7 Mio. t. CO_{2eq}.

6.5.4 Ergebnisse der Szenarette „klassische Landwirtschaft“

Im Folgenden wird noch die Frage untersucht, welchen Einfluss das neue EEG auf die Resultate des Szenarios „AP 2015“ hat. Deswegen wird im Folgenden in der Szenarette „klassische Landwirtschaft“ untersucht, welche Landnutzung sich ergeben würde, wenn die Biogaskapazitäten nicht weiter ausgebaut würden, also ausschließliche klassische Produktionsverfahren als Alternative zur Verfügung stehen. Als Milchpreis werden wiederum 23 ct/kg Milch angenommen. Das Resultat ist in Karte 6-13 dargestellt. Im Vergleich zum Ausgangsszenario zeigen sich hier ausschließlich die Konsequenzen der geänderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen.

Karte 6-13: Ausschöpfung der Milchquote in der Szenarette „klassische Landwirtschaft“ (2015)



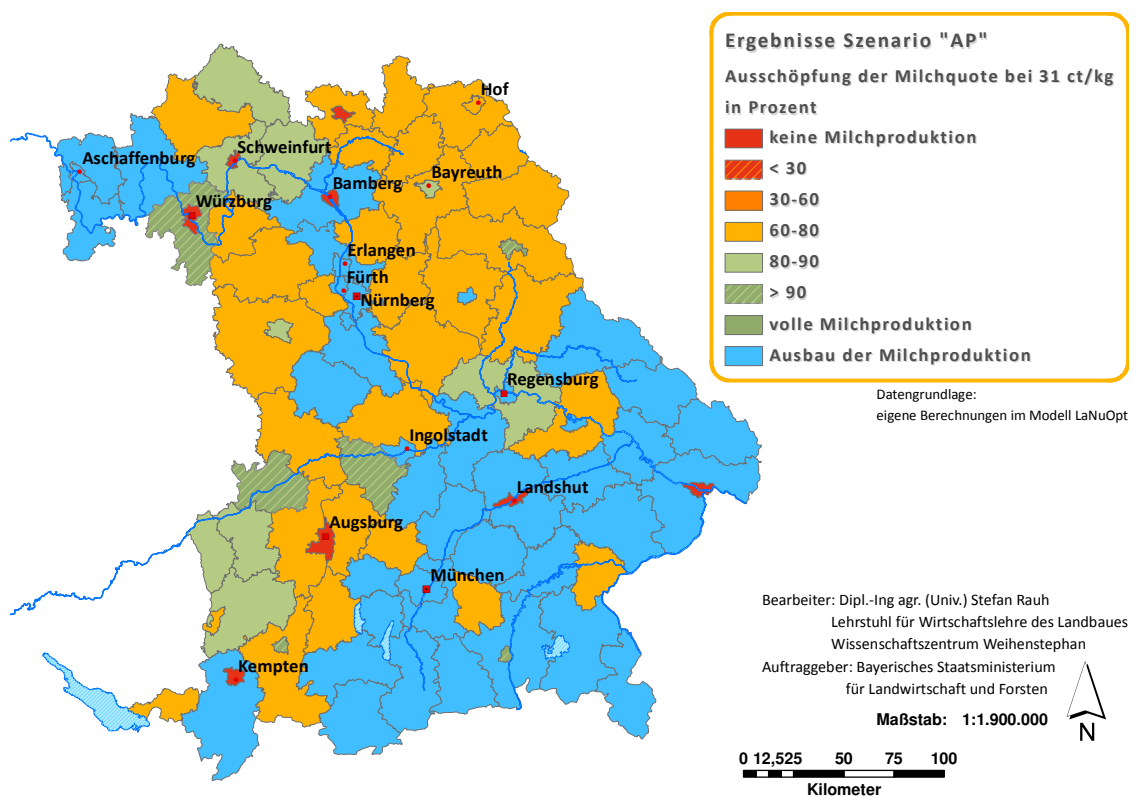
Quelle: eigene Darstellung

Hier ergibt sich ein vollkommen anderes Bild als im zugehörigen Szenario „AP 2015“. Die Ergebnisse nähern sich in großen Teilen dem Ausgangsszenario an. Die Anteile der Getreideproduktion oder anderer Marktfrüchte entsprechen im Großen und Ganzen denen des Szenario „AS“. Einzige Ausnahme bildet die Rinderhaltung. Nur noch

740.000 Milchkühe bei insgesamt 2,2 Mio. Rindern verdeutlichen den Rückgang. Mit 5,0 Mio. t Milch (- 2 Mio. t Milch) werden trotz des gleichen niedrigen Preises allerdings höhere Mengen produziert (+ 600.000 t), was ganz einfach daran liegt, dass keine wirklichen Alternativen zur Nutzung des Grünlandes vorliegen. Flächendeckend wird die Milcherzeugung gleichermaßen zurückgefahren. Neuinvestitionen erfolgen nicht. Bei Analyse eines Zeitpunktes weiter in der Zukunft, würde noch weniger Milch produziert werden.

Bei einer schrittweisen Erhöhung des Milchpreises, wie im vorangegangenen Kapitel, zeigen sich ähnlich Tendenzen. Eine volle Ausschöpfung der Milchquote wird auch in diesem Fall erst bei einem Preis von über 31 ct/l erreicht (vgl. Anhang-Abbildung 3). Aufgrund fehlender Konkurrenz durch die Biogasproduktion liegt die Milchproduktion immer über der des Szenarios „AP“. In welchen Regionen wie viel Milch erzeugt wird, zeigt Karte 6-14.

Karte 6-14: Umverteilung der Milch bei einem Milchpreis von 31 ct/kg nach Abschaffung der Quoten



Quelle: eigene Darstellung

Durch den Wegfall der Quote wird eine Wanderung der Milchproduktion ermöglicht. Laut *LaNuOpt* erfolgt diese hauptsächlich in Richtung Oberbayern und Niederbayern. Das Alpengebiet, aber auch der Bayerische Wald können hiervon profitieren. Vor allem in Oberfranken reicht selbst ein Preis von 31 ct/kg nur bedingt dazu aus, die Landwirte in der Milchviehhaltung zu halten. Aus Sicht der Volkswirtschaft wird damit Milch dort produziert, wo dies am günstigsten möglich ist.

6.6 Vergleich der Szenarien und Bewertung

Nach der Präsentation ausgewählter Ergebnisse der einzelnen Szenarien werden diese im Folgenden untereinander verglichen sowie mit dem Ausgangsszenario „AS“ geordnet gegenübergestellt. Gleichzeitig sollen mögliche Gründe und Auswirkungen herausgearbeitet werden. Aus nachvollziehbaren Gründen können nicht alle im Modell *LaNuOpt* erzeugten Daten vorgestellt bzw. verglichen werden. Deswegen konzentrieren sich nachstehende Analysen auf Brennpunkte, bei denen größere Verschiebungen feststellbar sind.

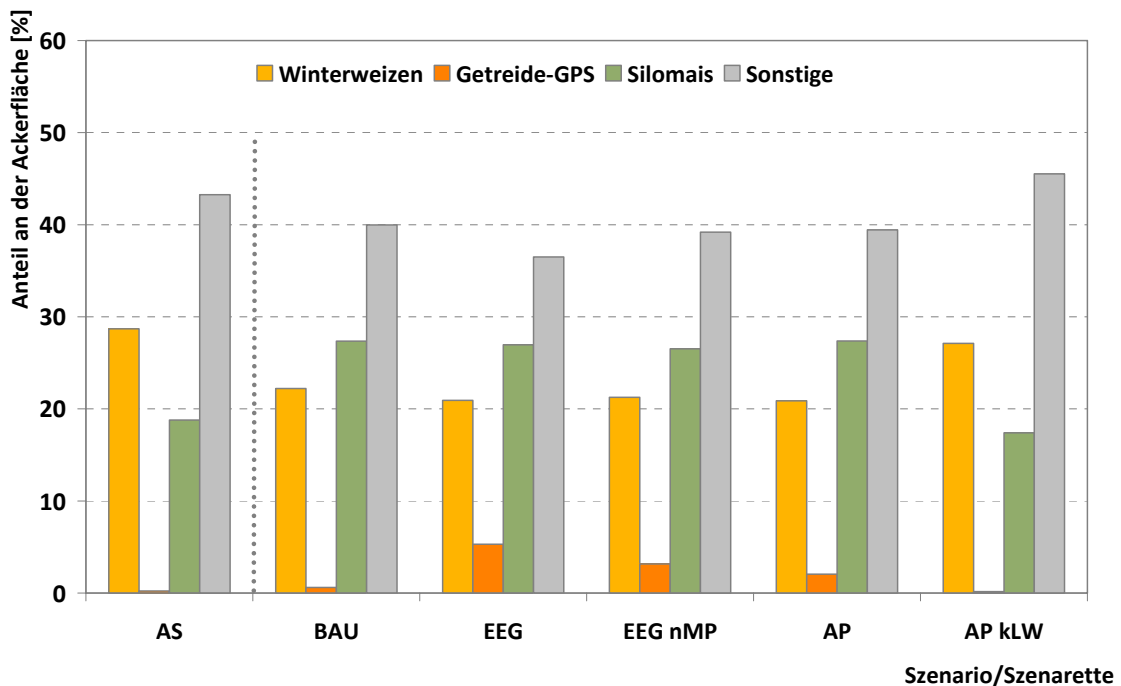
6.6.1 Ackerbau

Beginnen wird, wie auch bei der Einzelanalyse der Szenarien, mit dem Ackerbau. Genauer untersucht werden die Kulturen, die einem größeren Wandel unterworfen sind. Da der Anteil der Ackerkulturen zwischen den einzelnen Landkreisen variiert, kann nur ein Mittelwert in den Szenarien verglichen werden. Um Verfälschungen aufgrund von Extremwerten einzelner Landkreise möglichst auszuschließen, wird wiederum ein um das 5 %-Perzentil korrigierter Mittelwert gebildet. Dabei fallen die höchsten bzw. niedrigsten 5 % der Ergebnisse aus der Wertung. Für die Restlichen wird das arithmetische Mittel berechnet.

In Anhang-Tabelle 8 ist das Ergebnis dieser Auswertung für alle Kulturen aufgelistet. Dort kann beispielsweise abgeleitet werden, dass nur bei wenigen Kulturen größere Veränderungen zwischen den Szenarien auftreten. Deswegen sind in Abbildung 6-4 nur Winterweizen als Leitkultur des Getreidemarktfruchtbaus, Getreide-GPS und Silomais aufgelistet. Alle anderen in Anhang-Tabelle 8 aufgelisteten Früchte (z. B. Gerste, Winterraps, Kartoffeln oder Zuckerrüben) werden unter dem Punkt „Sonstige“ zusammengefasst. In einem Blick ist nun sowohl der Vergleich mit dem Ausgangsszenario („AS“) als auch der Quervergleich der Szenarien untereinander möglich.

Zwei Szenarien heben sich deutlich ab, die eine Gemeinsamkeit haben. Im Ausgangsszenario befinden sich die Biogaskapazitäten auf dem heutigen Stand, was auch in der Szenarettete „AP KLW“ („klassische Landwirtschaft“) des Szenarios „AP“ („Agrarpolitik 2015“) der Fall ist. Nur bei diesen beiden hält sich der Anbau von Silomais in Grenzen, so dass andere Kulturen (Winterweizen, Sonstige) ihren aktuellen Stand halten können. In allen anderen Szenarien, die eine Entwicklung pro Biogas zulassen, erfahren die Substratkulturen (Silomais, Getreide-GPS) einen z. T. bedeutenden Zuwachs. Ferner wird deutlich, dass die Änderungen der politischen Rahmenbedingungen im Zuge der Gemeinsamen Agrarpolitik in Bezug auf den Ackerbau nur wenig Wirkung zeigen. Die Szenarettete „AP klassische Landwirtschaft“ ähnelt also weitestgehend dem Ausgangsszenario.

Abbildung 6-4: Anteil ausgewählter Kulturen an der Ackerfläche in Abhängigkeit vom gewählten Szenario (korrigierte Mittelwerte für Bayern)



Anmerkung:

Unter Sonstige finden sich alle weiteren im Modell befindlichen Kulturen
Szenario AS (Ausgangsszenario) in 2008; alle anderen in 2015

Quelle: eigene Berechnungen

Alles in allem wird die ackerbauliche Landnutzung von der Zukunft der Biogasproduktion beherrscht, da deren Ausweitung zwangsläufig zu einer Einschränkung anderer Kulturen führt. Wettbewerbsschwächere Kulturen, wie die Sommergerste (Braugerste), könnten dann u. U. relativ schnell aus dem Produktionsspektrum der Landwirte herausfallen (vgl. Anhang-Abbildung 4).

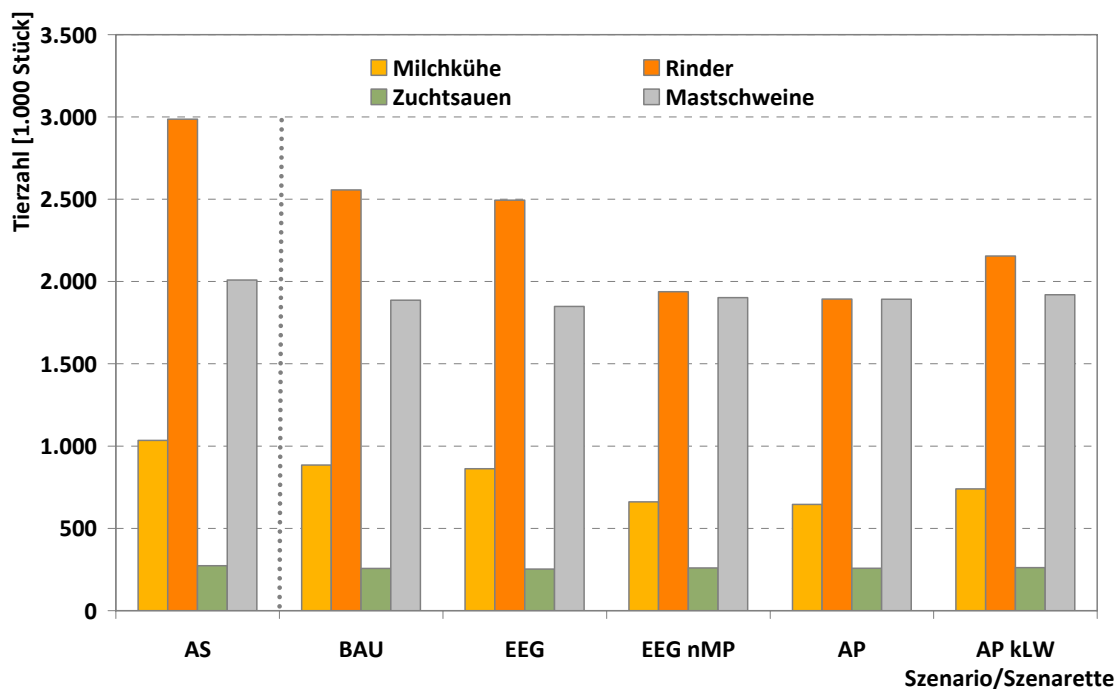
In Bayern ist das Braugewerbe ein bedeutender Wirtschaftszweig. Nirgendwo sonst gibt es so viele Brauereien und Mälzereien. Ob auch der Rohstoff, in diesem Fall die Braugerste, aus Bayern kommt, hängt von der Frage ab, inwieweit der Sommergerstenanbau in Bayern konkurrenzfähig ist. Dies gilt aber auch über die Grenzen von Bayern hinaus. Erst bei einem Preis von über 20 €/dt für die Braugerste ist unter Annahme einer ausgeweiteten Biogasproduktion ein Fortführen des Anbaus ökonomisch sinnvoll. Steht der Anbau von Substraten nicht als Alternative zur Verfügung, sind Preise um 16 €/dt ausreichend um eine ähnlich hohe Produktion wie im Ausgangsszenario (ca. 6,5 % Anteil an der Ackerfläche) zu erzielen. Bei Preisen über 19 €/dt würde dieser Betriebszweig sogar weiter ausgebaut. Räumlich gesehen, verbleibt die Braugerste in ihren Kerngebieten im Franken sowie in marginaleren Gebieten der bayerischen Mittelgebirge.

Entsprechendes ließe sich für andere Getreidearten berechnen, die in den Szenarien mit Biogasproduktion an Anbauanteilen verlieren.

6.6.2 Tierhaltung, Ernährung und Energieproduktion

Die Nutzung der Ackerfläche wird auch in beachtlichem Maße von der in einer Region vorliegenden Tierhaltung geprägt. Deswegen erscheint eine Analyse der Tierzahlen in den einzelnen Szenarien besonders interessant. Vier Tierarten bzw. Tiergruppen werden stellvertretend in Abbildung 6-5 vorgestellt. Alle darin gezeigten Ergebnisse repräsentieren das Untersuchungsjahr 2015. Die Ausnahme bildet das Ausgangsszenario („AS“), das auch in etwa den aktuellen Tierbestand in Bayern widerspiegelt.

Abbildung 6-5: Anzahl ausgewählter Tierarten bzw. Tiergruppen in Abhängigkeit vom gewählten Szenario für Bayern



Anmerkung:

Tiergruppe „Rinder“ inklusive Milchkühe

Szenario AS (Ausgangsszenario) in 2008; alle anderen in 2015

Quelle: eigene Berechnungen

Zuerst einmal fällt auf, dass der momentane Tierbestand in keinem der fünf Szenarien aufrechterhalten wird. Bei der Anzahl der Milchkühe und damit auch der Rinder liegt das zum Teil an der gesteigerten Produktivität des Produktionszweiges. Vordergründig ist der Rückgang allerdings einem Ausstieg aus diesem Bereich geschuldet. Die genauen Zahlen hierzu können Anhang-Tabelle 9 entnommen werden. Zwischen Milchkühen und Rindern bzw. Zuchtsauen und Mastschweinen besteht dabei ein direkter Zusammenhang, da hier die einzelnen Produktionsverfahren aufeinander aufbauen. Stehen in Bayern mehr Zuchtsauen, werden gleichzeitig mehr Schweine gemästet. Ähnlich liegt der Fall bei den Rindern. Je mehr Milchkühe es gibt, desto mehr Nachkommen werden geboren, die dann z. T. ausgemästet werden müssen. Einziger Sonderfall ist die Mutterkuhhaltung, die im Modell *LaNuOpt* unabhängig von der Milchviehhaltung ist. Die

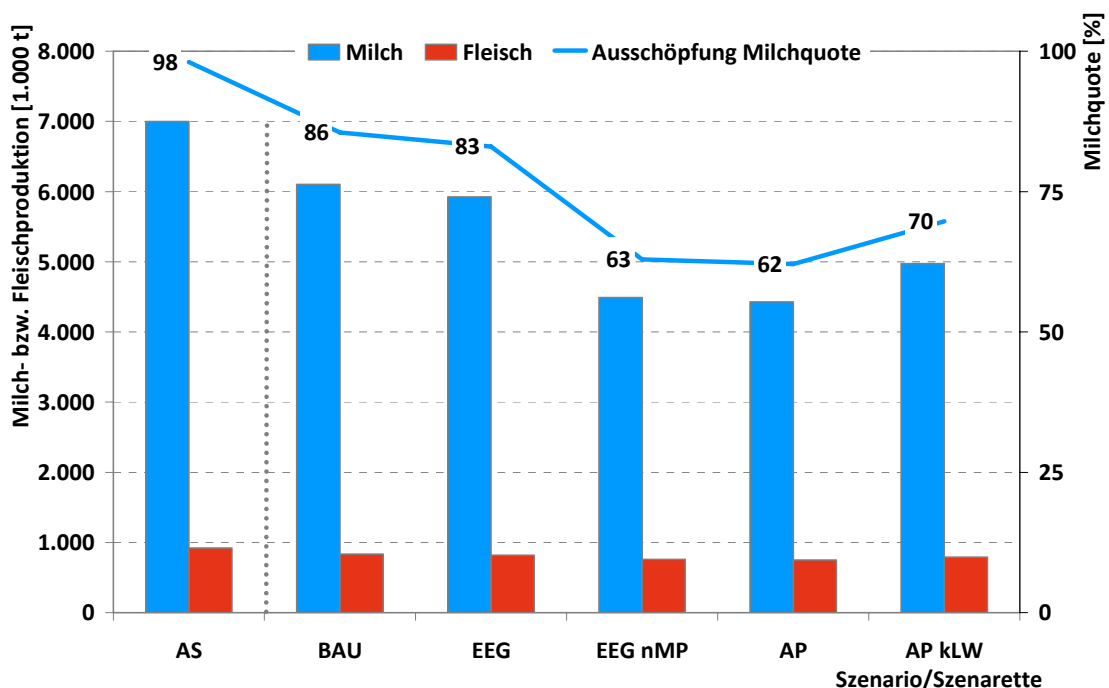
Mutterkuhhaltung bewegt sich allerdings auf einheitlichem Niveau über alle Szenarien hinweg.

Als Erstes wird die Rinderhaltung genauer durchleuchtet. Die Bedeutsamkeit des EEG sowie des Milchpreises kann erneut bestätigt werden. Genauere Schlussfolgerungen in Bezug auf die Milch bzw. Fleischproduktion lassen sich in Abbildung 6-5 nur schwerlich ziehen, da entweder die Leistung (bei den Milchkühen) oder die Zusammensetzung der Gruppe (bei den Rindern) nicht ablesbar ist. Dennoch wird der höchste Rinderbestand dann erreicht, wenn ein Milchpreis von 32 ct/kg gegeben ist (Szenarien „BAU“ und „EEG“). Ein Rückgang um ca. 15 % ist in diesem Fall trotzdem sichtbar. Ein niedriger Milchpreis, wie in den anderen drei Szenarien, lässt die Tierzahl weiter abfallen. Nur noch gut die Hälfte bliebe erhalten. Auch eine Einschränkung der Biogaserzeugung bei gleichzeitiger Aufhebung der Quoten führt zu keinem nennenswerten Anstieg.

Die Schweinehaltung zeigt sich weniger schwankend, da hier keine Preisveränderungen untersucht werden. Aber auch hier kann das Niveau des Ausgangsszenarios nicht ganz gehalten werden. Ein Rückgang von knapp 10 % bedeutet, dass nur in Teilen Bayerns Neuinvestitionen in diesem Bereich getätigt werden.

Von den gerade angeführten Ergebnissen ist die Produktion tierischer Nahrungsmittel direkt beeinflusst (vgl. Abbildung 6-6, Anhang-Tabelle 9).

Abbildung 6-6: Milch-, Fleischproduktion und Ausschöpfung der (ursprünglichen) Milchquote in Bayern in Abhängigkeit vom Szenario



Anmerkung:

Szenario AS (Ausgangsszenario) in 2008; alle anderen in 2015

Quelle: eigene Berechnungen

Bei der Milchproduktion lassen sich die fünf Szenarien in drei Gruppen einordnen. In der Ersten mit etwa 85 %-iger Ausschöpfung der Milchquote finden sich Szenarien mit einem Milchpreis von 32 ct/kg. Bei einer Ausschöpfung von knapp über 60 % liegen die Szenarien mit einem niedrigen Milchpreis, wobei gleichzeitig eine Weiterentwicklung der Biogasproduktion zugelassen wird. In diesen Szenarien werden keine Neuinvestitionen getätigt und noch nicht einmal alle vorhandenen Kapazitäten genutzt. Würden alle vorhanden Kapazitäten genutzt, wäre eine Milchproduktion von 65 % im Vergleich zum Ausgangsszenario die logische Konsequenz. Aber anscheinend reicht die Bodenrente II nicht aus, um wettbewerbsfähig zu sein. Die letzte Gruppe (ca. 70 %-ige Ausschöpfung der Milchquote) verdeutlicht die Auswirkungen eines Wegfalls der konkurrierenden Alternative Biogas. Hier werden Neuinvestitionen getätigt. Im Modell wird eine Nutzungsdauer für einen Stall von 20 Jahren veranschlagt. Würden auf Basis dieser Annahme alle abbeschriebenen Ställe nicht erneuert, würde ein Rückgang von 35 % (7 von 20 Ställen) resultieren. D. h. in der Gruppe mit etwa 70 % wird etwa 5 % der Milch in „neuen“ Ställen gemolken. Aber selbst im ungünstigsten Fall ist für Bayern noch eine 108 %-ige Selbstversorgung mit Milch gegeben, da diese in der Ausgangssituation weit über 100 % liegt.

Bei der Fleischproduktion zeigt sich ein einheitlicheres Bild. In allen Varianten werden mindestens 80 % der aktuellen Fleischproduktion realisiert (genaue Zahlen in Anhang-Tabelle 9), was hauptsächlich an der stabilen Schweineproduktion liegt. Szenarien mit hohen Milchpreisen und damit höheren Rinderzahlen stellen aus nachvollziehbaren Gründen sogar über 90 % Prozent der Versorgung sicher.

Anhand der bis dahin präsentierten Ergebnisse im Vergleich der Szenarien wird die prägende Rolle der Biogasproduktion deutlich. Die Modellergebnisse von *LaNuOpt* offenbaren die starke Wettbewerbsposition der Biogaserzeugung durch die immens angestiegene installierte Leistung in Bayern im Vergleich zur Ausgangssituation. In allen Szenarien, die eine Ausweitung zulassen, erhöht sich die Anlagenleistung um mehr als das Doppelte (vgl. Tabelle 6-3; Szenarete „kLW“ lässt keine starke Ausweitung zu).

Tabelle 6-3: Biogasproduktion in Bayern in Abhängigkeit vom Szenario

	Szenario					
	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW
Installierte Leistung [MW]	425	923	1.080	1.152	1.116	466
Steigerung um das fache	1,0	2,2	2,5	2,7	2,6	1,1

Anmerkung:

Szenario AS (Ausgangsszenario) in 2008; alle anderen in 2015

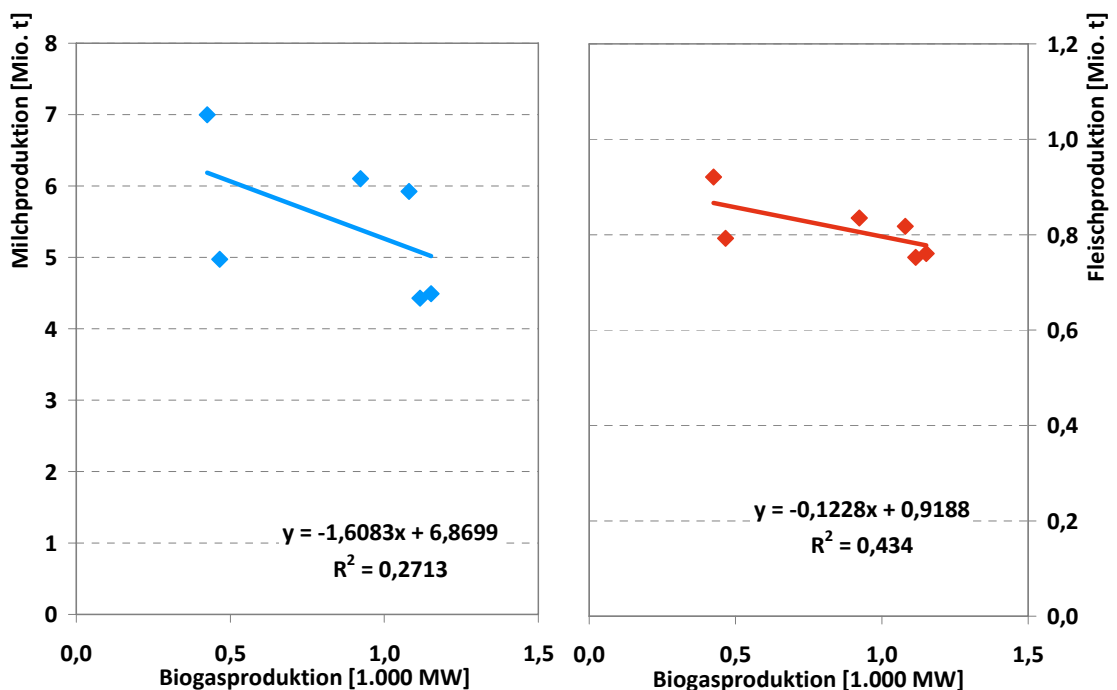
Quelle: eigene Berechnungen

Schon unter den Voraussetzungen des alten EEG („BAU“) kann die Biogaserzeugung ihren Stellenwert in der Landwirtschaft ausbauen. Die installierte Leistung würde demnach auf 923 MW ansteigen. Das neue EEG steigert dieses Potenzial noch. Aus Sicht der Biogasbranche positiv wirken sich auch niedrige Milchpreise („EEG nMP“, „AP“) aus. Dort geht die installierte Leistung bis auf 1.150 MW, das 2,7-fache der momentan realisierten Leistung, hoch.

Ob eine Ausweitung der Biogasproduktion zwangsläufig zu einem Rückgang der Produktion tierischer Nahrungsmittel führt, sollen die folgenden Untersuchungen aufklären. Dazu wird die Nahrungsmittelproduktion direkt der Biogasproduktion gegenübergestellt (vgl. Abbildung 6-7). Die Frage ist nun, inwieweit sich diesbezüglich eindeutige Trends ergeben.

Für die Milchproduktion lässt sich dabei kein einheitlicher Trend nachweisen. Zwar geht die Milchproduktion bei steigender Biogasproduktion tendenziell zurück, wird jedoch auch durch andere Faktoren (Milchpreis) beeinflusst. Die Fleischproduktion weist ähnliche Tendenzen auf, wobei der Rückgang hauptsächlich der Rinderhaltung anzulasten ist. Insgesamt gesehen kann gemutmaßt werden, dass eine Ausweitung der Biogasproduktion andere Verfahren zurückdrängt, was aber immer mit der Marktsituation des konkurrierenden Verfahrens zusammenhängt.

Abbildung 6-7: Milch- und Fleischproduktion in Abhängigkeit von der Biogasproduktion



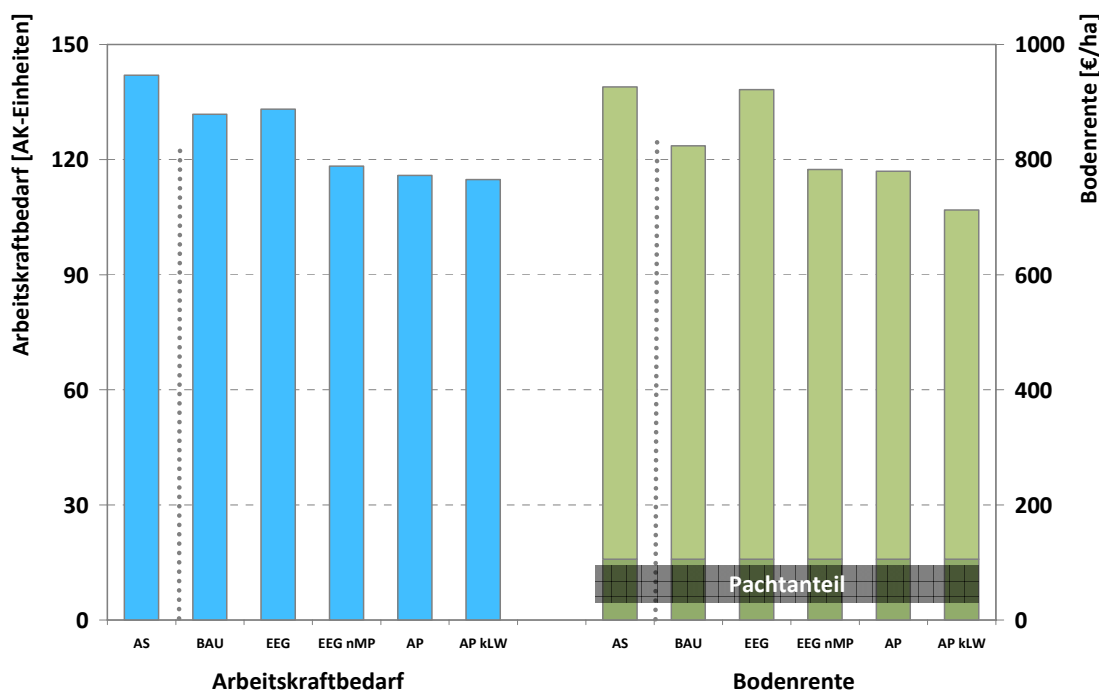
Quelle: eigene Berechnungen

6.6.3 Arbeitsmarkt, Treibhausgasinventar und Bodenrente

Wie in einigen Karten von Kapitel 6.3 bis 6.5 bereits angedeutet, haben die Änderungen der Landnutzung auch Konsequenzen auf den Bedarf an Arbeitskräften gemessen in Vollbeschäftigten (AK-Einheiten) und die Bodenrente als Einkommensindikator in der Landwirtschaft (vgl. Abbildung 6-8).

Momentan sind in Bayern 142.000 AK-Einheiten in der Landwirtschaft beschäftigt (Ausgangsszenario). Je nach resultierender Landnutzung verändert sich dieser Wert, wobei immer ein Rückgang der Arbeitskräfte zu beobachten ist. Die Rinderhaltung spielt eine zentrale Rolle beim Arbeitskraftbedarf. Szenarien mit niedrigen Milchpreisen haben automatisch einen geringeren Arbeitszeitbedarf. Eine Sonderstellung nimmt dabei das Szenario „EEG“ ein. Trotz weiteren Rückgangs der Tierproduktion im Vergleich zum Szenario „BAU“ reduziert sich der Arbeitskraftbedarf nicht weiter. Der Ausbau der Biogasproduktion kompensiert die dortigen Verluste. Interessant zu sehen ist die letzte Spalte. Trotz leicht höherer Tierzahlen im Vergleich zum zugehörigen Szenario „AP“ sinkt der Arbeitskraftbedarf weiter. Im diesem schlechtesten Fall gehen der Arbeitskraftbedarf und damit auch die Zahl der Arbeitsplätze in der Landwirtschaft um 23 % zurück. Das entspricht in etwa 75.000 Arbeitsplätzen in Bayern.

Abbildung 6-8: Arbeitskraftbedarf und Bodenrente in der Landwirtschaft in Bayern in Abhängigkeit vom gewählten Szenario



Anmerkung:

Szenario AS (Ausgangsszenario) in 2008; alle anderen in 2015

AK-Einheit = Arbeitskrafteinheit: entspricht einem Vollbeschäftigten

bei der durchschnittlichen Bodenrente ist ein um das 5 %-Perzentil korrigiertes arithmetisches Mittel angegeben

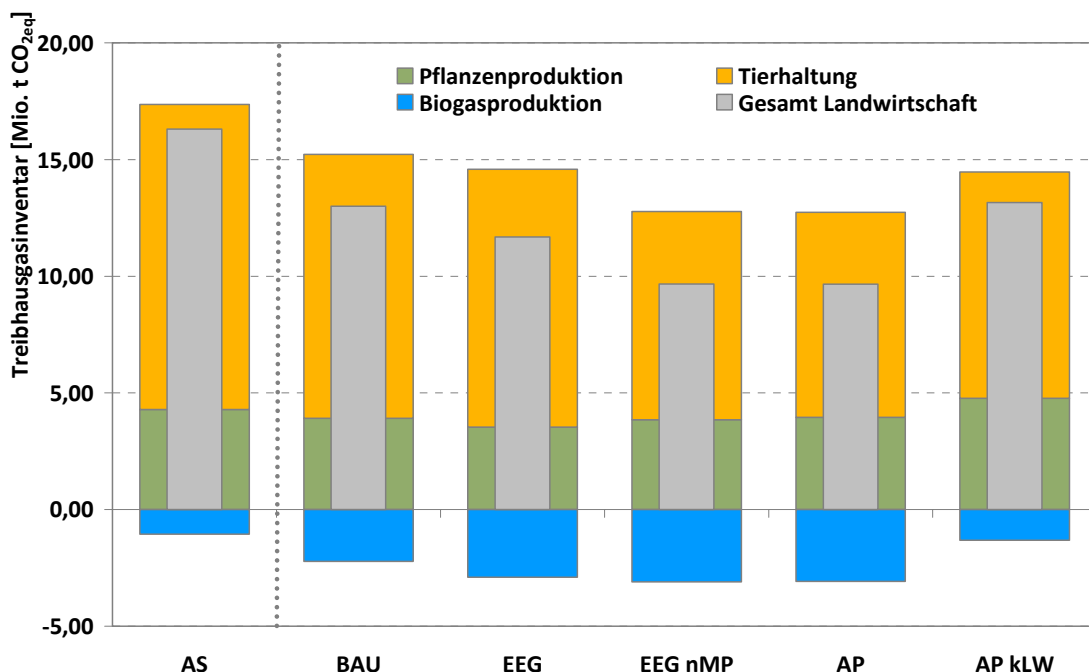
Quelle: eigene Berechnungen

Die Analyse der durchschnittlichen Bodenrente (korrigiertes Mittel) als Gradmesser für die Einkommenssituation in der Landwirtschaft je Hektar Fläche zeigt deutlich die positive Einkommenswirkung der hohen Einspeisevergütungen in der Biogaserzeugung. So kann sogar der Preisniedergang bei der Milch annähernd kompensiert werden. Dort wo das nicht möglich ist (Szenarette „AP kLW“), verliert die Landwirtschaft bei der Bodenrente 200 €/ha. Bei ca. 3,2 Mio. ha summiert sich der Verlust an Einkommen auf 640 Mio. €. Allerdings ist hier auch der Gleitflug der Prämien mit berücksichtigt. Die Wirkung des Preisrückgangs bei der Milch kann anhand Szenarette „niedriger Milchpreis“ („EEG nMP“) im Vergleich zu Szenario „EEG“ abgeleitet werden. Ein Rückgang der Bodenrente um ca. 140 €/ha bedeutet einen Rückgang des Einkommens in der Landwirtschaft um ca. 400 Mio. €.

Deutlich wird auch, dass ein Teil der erwirtschafteten Bodenrente an den Eigentümer des Bodens in Form von Pachtzahlungen weitergegeben werden. Im Jahr 2007 betrug in Bayern der Pachtflächenanteil bei einem durchschnittlichen Pachtpreis von 235 € 44,9 % (StMLF 2008a, S. 34). Demnach entfallen im Schnitt ca. 106 €/ha, also zwischen 11 und 15 %, der Bodenrente an den Verpächter.

Abschließend wird das Treibhausgasinventar der bayerischen Landwirtschaft nach Annahmen des Modell *LaNuOpt* vergleichend dargestellt (siehe Abbildung 6-9).

Abbildung 6-9: Treibhausgasinventar der Landwirtschaft in Bayern in Abhängigkeit vom Szenario



Anmerkung:

Szenario AS (Ausgangsszenario) in 2008; alle anderen in 2015

Pflanzenproduktion ohne Futtermittel bzw. Substrate

Tierhaltung und Biogasproduktion ohne Mechanisierung und Gebäude

Quelle: eigene Berechnungen

Hier zeigt sich für das Jahr 2015 ein sehr positives Bild. In allen Szenarien werden Emissionsminderungen erreicht. Szenarete „EEG nMP“ und Szenario „AP“ weisen dabei die positivste Bilanz auf. Bei beiden werden ca. 6,5 Mio. t CO_{2eq} eingespart, was in etwa 40 % der Treibhausgasemissionen des Ausgangsszenarios ausmacht. Die positive Klimawirkung wird durch zwei Hauptursachen erreicht. Zum einen wird in den meisten Szenarien die Biogasproduktion erweitert. Dadurch werden fossile Energieträger ersetzt sowie Emissionen aus Wirtschaftsdüngern vermieden. Auf diesem Weg können bis zu 3,1 Mio. t CO_{2eq} eingespart werden. Dabei wird angenommen, dass 12,5 % der auskoppelbaren Wärmemenge sinnvoll genutzt wird, was in etwa dem deutschen Durchschnitt entspricht. Kann mehr Wärme verwendet werden, können höhere Einsparungen erzielt werden.

Die zweite Hälfte des Einsparpotenzials gründet sich auf die Reduktion des Tierbestandes, sei es durch Steigerung der Produktivität oder Ausstieg aus dem Betriebszweig. Deutlich zu erkennen ist dieser Umstand in Szenarete „AP kLW“. Hier wird ohne Erweiterung der Biogaskapazitäten eine ähnliche Treibhausgaseinsparung erreicht wie in Szenario „BAU“, in dem die installierte Leistung verdoppelt wird. Aufgrund des niedrigen Milchpreises werden die Rinderbestände abgestockt und auf diesem Weg Emissionen vermieden. Ob diese „Reduktionsmaßnahme“ als positiv zu bewerten ist, sei einmal dahingestellt.

6.7 Zwischenfazit zu den Modellergebnissen und Auswirkungen auf den nachgelagerten Bereich

Zum Abschluss wird auf Basis der Ergebnisse des 6. Kapitels ein kurzes Zwischenfazit gezogen. Dazu eine Zusammenstellung wichtiger Ergebnisse für das Untersuchungsjahr 2015, dargestellt in einem Wenn-Dann-Schema, in dem sich die einzelnen Szenarien wiederfinden:

Wenn die Rahmenbedingungen der zurückliegenden Jahre 2005 bis 2008 Bestand haben (Szenario „Business As Usual“: Durchschnittspreise der Jahre 2005 bis 2008; EEG aus dem Jahr 2004), dann...

- ... steigt der Stellenwert der Biogaserzeugung um das zweifache (900 MW in 2015) auf Kosten „klassischer“ Betriebszweige.
- ... erfolgt der Ausbau der Biogaserzeugung aufgrund der unterstellten stabilen Milchpreise (32 ct/kg) hauptsächlich auf Ackerstandorten mit wenig Arbeitsplatzverlusten.
- ... ist eine Zunahme von Futterpflanzen (Silomais, Getreide-GPS) und ein Rückgang von Cash-Crops zu beobachten.

Wenn zusätzlich die Novellierung des EEG berücksichtigt wird (Szenario „EEG 2009“), dann...

- ... wird die Biogaserzeugung weiter ausgedehnt (1.100 MW).
- ... wird die höchste durchschnittliche Bodenrente erreicht.
- ... wird die Milchviehhaltung in den Grünlandregionen nicht zwangsläufig reduziert.

Wenn allerdings ein niedriger Milchpreis (23 ct/kg), wie es aktuell der Fall ist, als Entscheidungsbasis dient (Szenarete „niedriger Milchpreis“), dann...

- ... kann auch der Güllebonus den Rückgang der Milch- und Fleischproduktion nicht verhindern.
- ... profitiert nicht nur die Biogasproduktion vom Rückgang der Milchproduktion, sondern auch die Schweineproduktion.
- ... trifft der niedrige Milchpreis besonders typische Grünlandregionen; auch bezüglich der Beschäftigungseffekte.
- ... verliert die Landwirtschaft bayernweit ca. 400 Mio. € an Bodenrente, weist aber den höchsten Klimanutzen auf.

Wenn sich die Entscheidung bezüglich einer zukünftigen Landnutzung an den Vorgaben der kommenden Agrarpolitik (einheitliche Flächenprämien, Abschaffung der Milchquote bei einem Milchpreis von 23 ct/kg) orientiert, gleichzeitig die Rahmenbedingungen des EEG 2009 gelten (Szenario „Agrarpolitik 2015“), dann...

- ... ergeben sich aus den einheitlichen Flächenprämien keine gravierenden Auswirkungen auf die Landnutzung, sondern wiederum wird die Biogaserzeugung stark ausgeweitet.
- ...wandert Milch in geeignete (Grünland-)Regionen, so dass sich der erforderliche Mindestpreis für eine Milchproduktion in Höhe der aktuellen Menge reduziert.
- ... werden trotz Ausweitung der Biogaskapazitäten mehr Arbeitsplätze in der Landwirtschaft gebunden als in Szenarete „klassische Landwirtschaft“.

Wenn untersucht wird, wie sich unter den Bedingungen der kommenden Agrarpolitik (siehe oben) die klassische Landwirtschaft (Biogas wird Status Quo festgesetzt) entwickelt (Szenarete „klassische Landwirtschaft“), dann...

- ...erfolgt kein weiterer Ausbau der Biogasproduktion und die Produktionsumfänge der Nahrungsmittelproduktion aus dem Jahr 2008 bleiben in etwa erhalten.
- ... wird die Milchproduktion regional Richtung Süd-, Ost- bzw. Südostbayern umverteilt.
- ... erzielt die Landwirtschaft die niedrigste Bodenrente aller Szenarien, da der niedrige Milchpreis nicht durch die hohe Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung ausgeglichen wird.

- ... wird Grünland verstärkt nicht bewirtschaftet, da die Alternative „Biogas“ fehlt.

Auswirkungen der dargelegten möglichen Entwicklungen in der Landwirtschaft ergeben sich natürlich auch für den vor- und speziell den nachgelagerten Bereich. Sollte es zu einem Ausbau der Energieerzeugung vom Acker kommen, muss zwangsläufig im Bereich der Nahrungsmittelproduktion mit Rückgängen gerechnet werden. Wie in RAUH und HEIßENHUBER (2009, S. 415 ff.) gezeigt wird, ist die Veredelung von Lebensmitteln sehr arbeitsaufwendig (siehe auch WBA 2007). Einschränkungen der Lebensmittelproduktion können dementsprechend weit reichende Konsequenzen nach sich ziehen.

Im Bereich der Getreide verarbeitenden Industrie und bei der Verarbeitung von Ölsaaten ist ein Rückgang der Rohstoffproduktion wegen der hohen Transportwürdigkeit der Güter relativ wenig relevant. Inländische Produktionsstätten sollten in der Lage sein, die notwendigen Mengen, falls nötig, zu importieren. Braugerste als vergleichsweise wettbewerbsschwache Kultur müsste aus anderen Gebieten Europas, z. B. Frankreich, zugekauft werden. Wollen die einheimischen Mälzereien auf regionale Ware nicht verzichten, ist ein höherer Erzeugerpreis nötig.

Weitaus schwieriger gestaltet sich die Situation, wenn es sich um leicht verderbliche Ware wie Milch oder lebende Tiere zur Fleischproduktion handelt. In Bayern existieren zahlreiche Molkereien und Schlachtbetriebe, die über den gesamten Freistaat verteilt sind. Eine regionale Reduktion der Rinder- bzw. Schweinehaltung führt zwangsläufig dazu, dass einige Verarbeitungsbetriebe die Produktion einstellen müssen. Eine Alternative wären lange Transportwege bei lebenden Tieren oder bei Milch, was, auch aus Sicht des Klimaschutzes, nicht unbedingt wünschenswert ist. Besonders kleinere Molkereien in den Berggebieten werden dazu auch aus organisatorischen Gründen nicht in der Lage sein.

Die Versorgung der eigenen Bevölkerung sollte zumindest über Importe bei Getreide sichergestellt sein, da Bayern aufgrund seiner wirtschaftlichen Position immer in der Lage sein wird, Agrarrohstoffe auf dem Weltmarkt zuzukaufen. Bei Rindfleisch und Milchprodukten betragen die Selbstversorgungsquoten für 2006 220 bzw. 176 % (StMLF 2008a, S. 63), so dass für die eigene Bevölkerung ausreichen einheimische Nahrungsmittel verfügbar sind. Allerdings stellt sich hier die Frage, wie lange dieser Sachverhalt noch gegeben ist. Analysen im Modell *LaNuOpt* haben gezeigt, dass der negative Trend, sollte sich an den Rahmenbedingungen nichts ändern, weiter anhält. Ein primäres Problem liegt in der Tatsache, dass ein Rückgang der Nahrungsmittelproduktion in Bayern zu einer Reduktion der Produktion der nachfolgenden Bereiche führt. Die dort gebundene Wertschöpfung sowie die gebundenen Arbeitsplätze könnten verloren gehen.

6.8 Exkurs: Pachtmarktanalyse

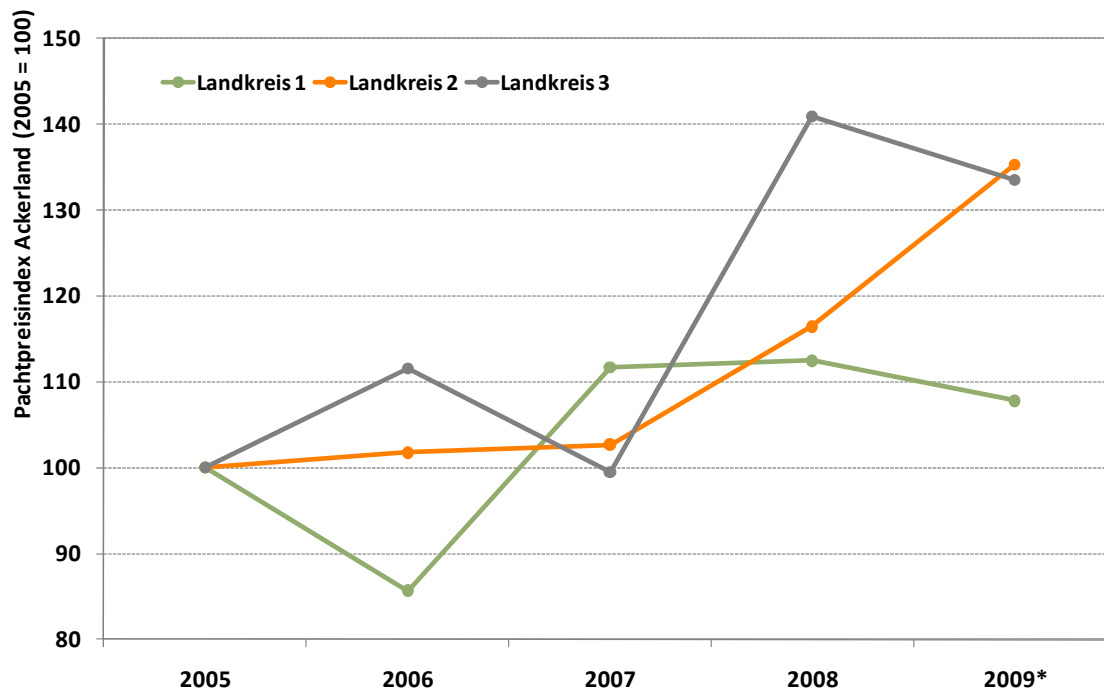
Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich intensiv mit dem Wert immer knapper werdenden Bodens. Darauf basierend erfolgt die Modellierung der möglichen zukünftigen Landnutzung mit Hilfe der Bodenrente. Je größer die Wettbewerbsfähigkeit eines Produktionsverfahrens ist, desto eher wird ein Landwirt dieses in Produktionssystem aufnehmen. Hat ein Verfahren eine höhere Bodenrente als ein anderes, kann darauf Bezug nehmend, ein höherer Pachtpreis gezahlt werden. Dieses Umstands sind sich sowohl der Eigentümer als auch der Flächennutzer bewusst.

Besitzt ein neues Produktionsverfahren, wie in diesem Fall die Biogaserzeugung, aufgrund der politischen Rahmenbedingungen im Vergleich zu etablierten Verfahren einen Wettbewerbsvorteil, können sich Verwerfungen auf dem Pachtmarkt ergeben. Aus diesem Grund wurden beispielhaft drei Landkreise ausgewählt und deren Pachtpreisentwicklung untersucht. Dabei handelt es sich um Landkreise, die entweder eine Großanlage (Landkreis 1), eine hohe Biogasdichte ohne (Landkreis 2) und mit hoher Viehdichte (Landkreis 3) aufweisen. Aus Datenschutzgründen muss eine genauere Beschreibung und Bezeichnung der Landkreise unterbleiben. Die Daten wurden unter Mithilfe der jeweiligen Landratsämter erfasst, bei denen alle Neuverträge abgegeben werden müssen.

Die Entwicklung auf den Pachtmärkten der einzelnen Landkreise verläuft in unterschiedlichen Bahnen. Abbildung 6-10 zeigt den Pachtpreisindex der drei Regionen im Vergleich. Das Basisjahr ist dabei 2005 und wird gleich hundert gesetzt. Für Grünland ergeben sich keine einheitlichen Tendenzen, weswegen keinerlei Aussagen abgeleitet werden können. Anders die Situation bei den Ackerflächen. Hier lässt sich eine Kernaussage ableiten. Die Landkreise mit höherem Ausgangsniveau (Landkreise 2 & 3) zeigen einen Trend hin zu weiter steigenden Pachtpreisen, während sie in Landkreis 1 relativ stabil bleiben. Der Anstieg ist allerdings erst mit dem Jahr 2008 deutlich sichtbar, wobei in Landkreis 3 2008 ein höherer Preis als 2009 erreicht wird, während im Landkreis 2 der Anstieg kontinuierlich verläuft. Auch hier macht sich wieder die unterschiedliche Agrarstruktur bemerkbar. Landkreis 1 mit eher schlechteren landwirtschaftlichen Bedingungen offenbart noch keine Knappheit bei den Flächen. Selbst eine Biogasgroßanlage hat daran nur wenig geändert. Die beiden anderen Landkreise sind von intensiver Landwirtschaft geprägt. Wo im Landkreis 2 die guten ackerbaulichen Voraussetzungen für hohe Pachtpreise verantwortlich sind, ist es in Landkreis 3 der hohe Viehbesatz. Nicht endgültig geklärt werden kann, was genau der Auslöser für den sprunghaften Anstieg im Jahr 2008 ist. Wahrscheinlich ist es eine Aufsummierung günstiger Umstände in der Landwirtschaft. Im vorangegangenen Jahr erzielten die Landwirte aufgrund der explosionsartig gestiegenen Getreidepreise sehr hohe Erlöse im Marktfruchtbau. Gleichzeitig kletterten die Milchpreise auf ungeahnte Höhen, was eine positive Stimmung auslöste. Aufgrund der dann wieder fallenden Preise sank das

Pachtpreisniveau im Landkreis 3 wieder leicht, da dieser Landkreis extrem von der Tierhaltung geprägt ist und die Biogasproduktion noch nicht die Bedeutung hat. Im Gegensatz dazu setzt sich im Landkreis 2 der Trend fort, da dort schon umfangreichere Kapazitäten im Bereich der Biogasproduktion vorliegen. Die positive Wirkung der Novellierung des EEG wirkt dort stärker nach.

Abbildung 6-10: Pachtpreisindex (2005 = 100) für Ackerland im Vergleich der drei Schwerpunktreregionen



Anmerkungen:

Landkreis 1 (100 = 274 €/ha)

Landkreis 2 (100 = 396 €/ha)

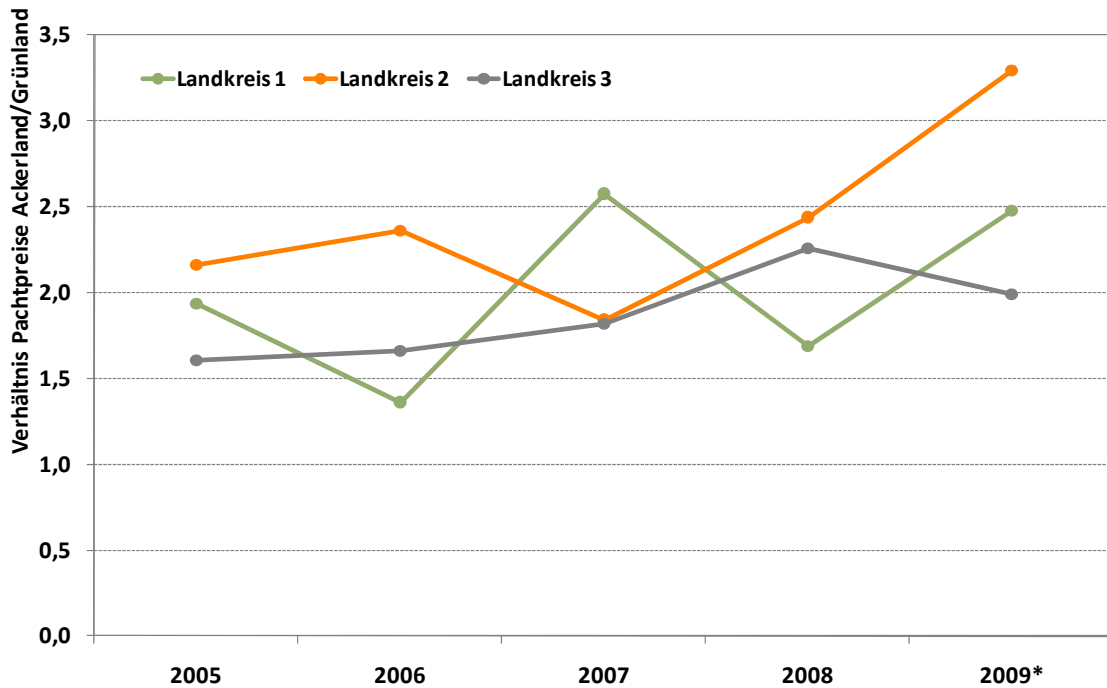
Landkreis 3 (100 = 385 €/ha)

* Stand August 2009

Quelle: eigene Darstellung

Diese Vermutung wird durch die Rückschlüsse, die anhand von Abbildung 6-11 getroffen werden können, bekräftigt. Dort ist das Pachtpreisverhältnis von Ackerland in Relation zum Grünland abzulesen. Im Ausgangsjahr 2005 liegt dieser Wert in allen Landkreisen bei ca. zwei. Dies bedeutet nichts anderes, als dass für ein Hektar Ackerland das Doppelte gezahlt werden muss wie für Grünland. Es ist zu erkennen, dass Ackerland bei den Landwirten an Wertschätzung gewinnt. Besonders ausgeprägt ist dieser Wandel im Landkreis 2, wo für Ackerland im Jahr 2009 in Relation zu Grünland fast das 3,5-fache gezahlt wird. Auch hier zeigen sich die Auswirkungen der starken Position der Biogasproduktion in diesem Landkreis, die vorzüglich Ackerflächen nachfragt. Im Landkreis 3 hingegen erfährt das Grünland aufgrund des hohen Viehbesatzes eine höhere Wertschätzung.

Abbildung 6-11: Verhältnis des Pachtpreises von Ackerland im Bezug zum Pachtpreis von Grünland im Vergleich der drei Schwerpunktregionen



Anmerkung:

* Stand August 2009

Quelle: eigene Darstellung

Allerdings sind die Zahlen der Pachtpreisanalyse für das Jahr 2009 unvollständig, so dass sich hier noch Verschiebungen ergeben können. Im Landkreis 1 beispielsweise ist Stand August 2009 nur ein Bruchteil der üblicherweise jährlich verpachteten Fläche registriert. Weiterhin muss dem Umstand Rechnung getragen werden, dass nur ein geringer Anteil der Pachtflächen im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfasst sind (vgl. Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Anteil der erfassten Pachtflächen in den Schwerpunktregionen

	Landkreis 1	Landkreis 2	Landkreis 3
Landwirtschaftliche Nutzfläche [ha]	59.000	73.000	50.000
Erfasste Fläche [ha]	2.100	3.500	3.300
Erfasste Fläche [%]	3,6	4,8	6,6
Durchschnittliche Pachtdauer [Jahre]	8,3	7,8	6,8
Hochgerechnete Fläche [ha]	3.873	6.067	4.987
Hochgerechnete Fläche [%]	6,6	8,3	10,0

Anmerkungen:

Die hochgerechnete Fläche ergibt sich aus der erfassten Fläche dividiert durch Anzahl der erfassten Jahre multipliziert mit der durchschnittlichen Laufzeit der Pachtverträge.

Quelle: eigene Berechnungen

Bezogen auf die vorhandene landwirtschaftliche Nutzfläche der einzelnen Landkreise werden im Rahmen der durchgeführten Pachtpreisanalyse weniger als 10 % der in den Landkreisen vorliegenden landwirtschaftlichen Nutzfläche erfasst. Soll berücksichtigt werden, dass der Untersuchungszeitraum kürzer ist als die durchschnittliche Dauer eines Pachtvertrages, ist eine Hochrechnung auf die Laufzeit erforderlich. Dabei lassen sich aber ebenfalls nur Flächenanteile unter 10 % errechnen, was darauf hinweist, dass sich ein Großteil der Pachtverträge automatisch verlängern, so lange keine Kündigung erfolgt. Bayernweit liegt der Anteil der Pachtflächen bei 44 %. (StMLF 2008a, S. 34 f.). Somit lässt die Auswertung zwar die Ableitung von Trends zu, abschließende Beurteilungen sollten allerdings nicht vorschnell getroffen werden. Allerdings spricht für die vorliegende Auswertung, dass es gerade die Neuverpachtungen sind, die Veränderungen aufzeigen.



7 Einordnung der Ergebnisse

In den folgenden Ausführungen wird eine Einschätzung der mit Hilfe des Landnutzungsmodells *LaNuOpt* berechneten Ergebnisse vorgenommen. Da die Bioenergie und dabei insbesondere die Biogasproduktion noch relativ junge Teilbereiche der Landwirtschaft sind, existieren bis dato wenig Untersuchungen in diesem Themenbereich. Viele der bisher veröffentlichten Beiträge und Modelle behandeln dabei das Thema „Potenziale von Bioenergie“ (z. B. SIMON und WIEGMANN 2009; WBGU 2009, S. 101 ff). Potenzial kann verschieden interpretiert werden (vgl. KALTSCHMITT et al. 2009, S. 20 ff.):

- Theoretisches Potenzial (physikalische Obergrenze)
- Technologisches Potenzial (über Wirkungsgrade der Konversionstechnologien aus dem theoretischen Potenzial abgeleitet)
- Wirtschaftliches Potenzial (unter ökonomischen Gesichtspunkten nutzbares Potenzial)
- Nachhaltiges Potenzial (unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten abgeleitetes Potenzial).

Vorherrschend untersucht wurden bislang meist technologische Potenziale, wobei Nutzungskonkurrenzen außer Acht gelassen werden (WBGU 2009, S. 105). Sollen mögliche zukünftige Entwicklungen hinsichtlich der Landnutzung betrachtet werden, sind solche Potenziale allerdings wenig aufschlussreich. Entscheidend ist letztendlich, was tatsächlich umgesetzt wird. Eine zentrale Rolle bei der Entscheidung welcher Pfad der Landnutzung eingeschlagen wird, spielt die Ökonomie (BREUER 2007). Deswegen wer-

den in neueren Untersuchungen die Konkurrenzbeziehungen zwischen der Biomassenutzung zu Nahrungszwecken und als Bioenergie in Landnutzungsmodelle eingebaut, um deren Auswirkungen auf die Landnutzung bzw. die Landwirtschaft einzuschätzen.

Beispielhaft sollen hier die bereits vorne erwähnten Modelle *RAUMIS* und *S_INTEGRAL* aufgeführt werden. Allerdings wurden bei beiden bisher nur zusätzliche Pflanzenbauverfahren (Raps für Biodiesel, Energiemais) implementiert. Den Bioenergiekulturen werden dazu je nach Energiepreis spezifische Marktpreise zugeordnet (GÖMANN et al. 2007, S. 266 f.; GÖMANN et al. 2008, S. 519 ff.; PETER et al. 2008, S. 20 ff.). Eine vollständige Integration der Biogasverfahren in die Landwirtschaft ist noch nicht erfolgt.

Die Ergebnisse des Schweizer Modells *S_INTEGRAL* zeigen, dass bei ausreichend hohen Energiepreisen und davon abgeleiteten hohen Preisen für Biomasse große Teile des Schweizer Ackerlandes für die Bereitstellung von Energiebiomasse herangezogen werden könnten. Allerdings wird angenommen, dass Nahrungsmittelpreise immer marginal über den Energiepreisen liegen, weswegen nur die Fläche tatsächlich zum Anbau von Energiebiomasse genutzt wird, die nicht zur Deckung der Nachfrage benötigt wird (PETER et al. 2008, S. 65). Im Modell *LaNuOpt* gilt ähnliches. Biomasseverfahren, die Agrarrohstoffe liefern, die auch zur Energiegewinnung dienen (Raps für Biodiesel, Raps für Pflanzenöl oder Weizen für Ethanol), werden momentan nicht explizit ausgewiesen, da keine zwei Marktpreise vorhanden sind und der Landwirt dementsprechend keine Entscheidung über die Verwertung trifft. Sollten sich in Zukunft Märkte für Energiebiomasse bilden, können diese in das Modell eingetragen werden und die resultierende Landnutzung modelliert werden. Somit verbleiben als einzige aktive Energieverfahren die Verfahren der Biogaserzeugung sowie die Kurzumtriebsplantagen. Während Kurzumtriebsplantagen nur geringe Bedeutung erreichen, spielt die Biogasproduktion eine beachtliche Rolle.

Zu dem gleichen Resultat kommen auch die Berechnungen im Modell *RAUMIS*, die die Kultur Energiemais berücksichtigen. Auf der Basis der Erhöhung der Einspeisevergütung wird dem Mais ein Preis zwischen 22 und 24 €/t FM (GÖMANN et al. 2007, S. 266 f.) bzw. 24 und 27 €/t FM (GÖMANN et al. 2008, S. 519 f.) zugewiesen. Dabei wird ein Energiemaisertrag von 62 t FM/ha unterstellt. Im Modell *LaNuOpt* wird der Trendertrag von Silomais herangezogen, der für Bayern in etwa bei 54 t FM/ha liegt. Es wird dabei keine Fortführung des Trends bis in das Jahr 2015 vorgenommen, da zukünftige Entwicklungen nur schwer zu prognostizieren sind.

In beiden Veröffentlichungen kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass eine Ausweitung des Silomaisanbaus aufgrund der hohen Wettbewerbsfähigkeit die Folge ist. Ausgewählte Ergebnisse der Untersuchungen aus GÖMANN et al. (2007) sind in Tabelle 7-1 dargestellt. In GÖMANN et al. (2008) standen Analysen zu steigenden Agrarpreisen im Vordergrund, weswegen weiterführende Aussagen zum Thema Biogas schwierig erscheinen.

Tabelle 7-1: Veränderung der landwirtschaftlichen Landnutzung durch die Förderung des Energiemaisanbaus (Jahr 2010)

	Veränderung im Vergleich zum Referenzszenario	
	Energiemais 22 €/t	Energiemais 24 €/t
Getreide	-10%	-13%
Ölsaaten	-17%	-20%
Hülsenfrüchte, Zuckerrüben, Kartoffeln	-5%	-5%
Ackerfutter	-6%	-8%
Milch	--	--
sonst. Rinder	-1%	-1%
Schweine	+1%	+1%

Quelle: GÖMANN et al. 2007, S. 267

Ähnlich wie im Modell *LaNuOpt* reduzieren sich in den untersuchten Szenarien die Anbauflächen von Cash-Crops sowie die Ackerfutterflächen. Warum der Ackerfutterbau trotz konstanter Tierhaltung zurückgeht, erklären die Autoren mit einer Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung (GÖMANN et al. 2007, S. 267 f.). Die Milchviehhaltung befindet sich generell in einer stärkeren Position als im Modell *LaNuOpt*, da hier andere Rahmenbedingungen gegeben sind (u. a. altes EEG). Hinsichtlich des Sektoreinkommens bzw. der Arbeitplatzeffekte erwarten GÖMANN et al. (2007, S. 269 f.) keine wesentlichen positiven Effekte durch den Ausbau des Energiemaisanbaus. Auch in einer weiteren Untersuchung kommen GÖMANN et al. (2008 S. 522 ff.) nur zu marginalen Veränderung der Tierproduktion aufgrund eines Ausbaus der Biogasproduktion. Der Rückgang der Milchviehhaltung bis 2015 liegt unter 3 %. Einschränkend ist anzumerken, dass auch in dieser Betrachtung noch das alte EEG zu Grunde liegt und sich die Betriebszweige Getreideproduktion und Milchviehhaltung in einer Hochpreisphase befinden (KREINS 2009).

In der aktuellsten Studie auf der Basis des Modells *RAUMIS* ist die Novellierung des EEG bereits berücksichtigt (GÖMANN et al. 2009). Darin zeigen die Autoren, dass sich Energiemais hauptsächlich in den typischen Ackerbauregionen ausbreitet. Zusätzlich werden Auswirkungen auf die Nutzung von Grünland herausgearbeitet. In Regionen mit Intensivgrünland (z. B. Alpen) wird die Milchproduktion aufrechterhalten, während in extensiveren Lagen (z. B. Bayerischer Wald) die Milchviehhaltung zurückgeht. Die Folge sind Grünlandumbruch oder Nichtnutzung des Grünlandes (GÖMANN et al. 2009, S. 2 f.). Das Fazit der Ergebnisse des Landnutzungsmodells *RAUMIS* ist, dass die Biogasproduktion ausgeweitet wird, wobei andere Produktionsverfahren verdrängt werden. Welche das in der jeweiligen Region sind, entscheidet die zugehörige Wettbewerbskraft. Diese Aussagen decken sich zu großen Teilen mit denen des Modells *LaNuOpt*.

Auch in weiteren Ländern werden vermehrt Landnutzungsmodelle erstellt, die sich mit dem Thema Bioenergie befassen und mittels ökonomischen Entscheidungsmodellen

das Verhalten der Landwirte simulieren (z. B. SCHEFFRAN und BENDOR 2009). Auch hier werden Erweiterungen, in diesem Fall für Ethanolmais, erwartet.

Der entscheidende Faktor, neben den politischen Rahmenbedingungen, bezüglich einer Ausweitung von Bioenergie ist die Marktentwicklung für Energieträger und für andere Agrarprodukte. Der Marktpreis der alternativen Agrarerzeugnisse ist ausschlaggebend für deren Wettbewerbskraft. Ein Gleichgewichtspreis liegt im statischen Modell im Schnittpunkt von Angebots- und Nachfragekurve (WÖHLKEN 1991, S. 113 ff.). Durch eine Änderung der Landnutzung verändert sich aber die Angebotsmenge, so dass sich bei gleich bleibender Nachfrage eigentlich ein neuer Gleichgewichtspreis ergibt, was wiederum Konsequenzen auf die Entscheidung der Landwirte hat. Weiterhin existieren zyklische Preisverläufe oder Marktspannen durch unterschiedliche Handelsstufen, die ebenfalls den Markt beeinflussen. Um derartige Effekte zu berücksichtigen, ist neben dem Landnutzungsmodell zusätzlich ein Marktmodell von Nöten.

Genau dieses Zusammenspiel von Landnutzungsmodell und Marktmodell wird in dem Projekt „*NaRoLa*“ versucht abzubilden (IfW 2009). Dazu wird dem bekannten Modell *RAUMIS* das Modell *DART* hinzugefügt. Beide sind durch den Austausch von Preis- und Mengenvariablen aufeinander abgestimmt, wobei im Modell *DART* Marktpreise mittels eines rekursiven Gleichgewichtsmodells ermittelt werden. Die Entwicklung dieses Modellverbundes ist allerdings noch nicht abgeschlossen (KRETSCHMER et al. 2009, S. 2 ff.).

Ein derartiges Marktmodell ist in der vorliegenden Arbeit nicht integriert, d. h. es erfolgt keine komplett dynamische Betrachtung. Es handelt sich um ein komparativ-statisches Modell, das die Auswirkungen vorgegebener Rahmenbedingen im Vergleich zu einem Referenzszenario darstellt. Einzig die Integration der Kapazitäten, die die Bodenrente II abrufen, ist je nach Untersuchungsjahr verschieden. Allerdings wird auch hier keine jährliche Anpassung durchgeführt, was aber irrelevant ist, da sich die Rahmenbedingungen innerhalb der Szenarien nicht ändern.

Insgesamt ist *LaNuOpt* ein Landnutzungsmodell, das die neuen Verfahren der Biogas-erzeugung komplett als Produktionsverfahren integriert hat und somit neuartige Erkenntnisse hinsichtlich einer möglichen zukünftigen Landnutzung geben kann. Es wurde speziell darauf abgestimmt, die Auswirkungen verschiedener Rahmenbedingungen wiederzugeben. Besonderes Augenmerk bei der Modell- und Szenariendefinition lag auf einer Bewertung der Wechselwirkung zwischen Nahrungs- und Energieproduktion. Die Auswirkungen auf die Märkte wurden vernachlässigt.

Abschließend gilt es die Ergebnisse noch inhaltlich zu interpretieren. Unter den unterstellten Rahmenbedingungen erfolgt eine Ausweitung der Bioenergieproduktion. Es zeigt sich, dass sich daraus weitgehende Folgen für die restliche Landwirtschaft ergeben. Zum einen werden zwar die Märkte der Nahrungsmittelproduktion entlastet, da weniger Anbauflächen zur Verfügung stehen. Dies kann dazu führen, dass evtl. eine Angebotsverknappung schneller zu einem Preisanstieg für Agrarprodukte führt, was

der gesamten Landwirtschaft zu Gute kommen würde. Zum anderen führt die hohe Konkurrenzkraft der Biogasproduktion zu einem Verdrängungswettbewerb auf dem Pachtmarkt, dem auch Betriebe zum Opfer fallen, die eigentlich auf die Zukunft ausgerichtet werden. Gleichzeitig bedeutet ein starker Wirtschaftszweig in der Landwirtschaft, dass einige Betriebe die schlechten Ergebnisse in den anderen Betriebszweigen kompensieren können. Diese Erkenntnis gilt auch für den Arbeitsplatzbedarf in der Landwirtschaft. Hier sind sowohl Kompensations- als auch Verdrängungseffekte durch die Bioenergie zu erwarten. Im nachgelagerten Bereich ist dies dagegen nicht der Fall. Insgesamt lässt sich festhalten, dass durch das EEG zahlreiche strukturelle Verwerfungen entstehen, die z. T. positiv aber auch negativ eingeordnet werden können.



8 Zusammenfassung

Die fossilen energetischen Ressourcen unseres Planeten sind begrenzt. Schon allein aus diesem Grund ist die Menschheit gezwungen, zumindest langfristig auf ein anderes System zur Energiebereitstellung umzusteigen. Zudem wird zunehmend offensichtlich, dass die Nutzung fossiler Energieträger den Klimawandel beschleunigt. Eine der zahlreichen Optionen der Bereitstellung von Energie aus alternativen Quellen ist die Erzeugung von Energieträgern auf der Basis von Biomasse. Zumindest in der westlich Welt führt deren Nutzung gleichzeitig zu einer Verminderung der vorhandenen Überproduktion an Nahrungsmitteln. Politische Entscheidungsträger wurden deshalb in den letzten Jahren dazu gedrängt, die energetische Nutzung von Biomasse voranzutreiben. Von einem Konflikt zwischen Nahrungsmittel- und Energieerzeugung sowie von einer starken Konkurrenz um Pachtfläche war noch nicht die Rede.

Änderungen der politischen Rahmenbedingungen und Bewegung auf den Agrarmärkten haben meistens unmittelbare Konsequenzen für die Landwirtschaft und damit auch Auswirkungen auf die Landnutzung. Wellenartige Preisverläufe landwirtschaftlicher Produkte waren in den letzten beiden Jahren an der Tagesordnung. Aktuell beschreitet besonders die Milchwirtschaft eine tiefe Talsohle. Auf der anderen Seite führen Gesetzesänderungen zu einer Stärkung bzw. Schwächung ganzer Betriebszweige. So wurde die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion durch die erneute Novellierung des EEG nachhaltig forciert, während auf der Gegenseite der Pflanzenölproduktion aufgrund der Besteuerung von Reinkraftstoffen ein Wettbewerbsvorteil genommen wird. Dem Landwirt steht es zunehmend frei, den Markt zu bedienen, der aus seiner

Sicht am lukrativsten ist. Deshalb ist es besonders interessant, die Wechselwirkungen dieser vielfältigen Einflussfaktoren mit Hilfe eines Landnutzungsmodells zu analysieren sowie Prognosen bezüglich der zukünftigen Entwicklungen und deren Konsequenzen zu erstellen.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation galt es, ein Landnutzungsmodell für Bayern zu erstellen. Vordergründiges Ziel war die Möglichkeit einer Simulation der Reaktion der bayerischen Landwirtschaft auf veränderte energiepolitische Rahmenbedingungen bzw. Marktentwicklungen. Das Landnutzungsmodell soll in der Lage sein, Effekte einer geänderten Landnutzung auf den Arbeitskräftebedarf sowie das Einkommen in der Landwirtschaft offen zu legen. Schließlich soll das Landnutzungsmodell mit einem vereinfachten Treibhausgasinventar für die Landwirtschaft verknüpft werden, womit Aussagen bezüglich der Klimawirkung der Landwirtschaft getroffen werden können.

Um den Ansprüchen an Landnutzungsmodelle gerecht zu werden, ist die Beachtung einiger Grundanforderungen erforderlich. Zum einen gilt es, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren, bei gleichzeitig möglichst hoher inhaltlicher Auflösung. Zum anderen müssen die resultierenden Ergebnisse einer Test- und Validierungsprozedur unterzogen werden, um verlässliche Aussagen treffen zu können. Anhaltspunkte können bestehende Landnutzungsmodelle liefern, die sich entweder anhand ihrer Komplexität oder ihrer Methodik differenzieren lassen.

Die derzeit verwendeten Landnutzungsmodelle kommen auf sehr verschiedenen räumlichen Ebenen und in unterschiedlichen Regionen zum Einsatz und unterscheiden sich teilweise entscheidend in ihren Ansätzen. Das kann neben den unterschiedlichen Anforderungen durch die Fragestellung oder die Untersuchungsregion auch von den verfügbaren Daten und von dem betriebenen Aufwand abhängen. Die Zielgröße stellt bei allen Modellen die Maximierung des wirtschaftlichen Erfolgs dar. Dabei wird zwischen der Optimierung bezüglich des Einkommens (Bodenrente) und des Deckungsbeitrags unterschieden. Die dabei nötigen Berechnungen erfolgen anhand verschiedener Formen von linearer und nichtlinearer Programmierung. Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellte Landnutzungsmodell versucht die bestehenden Modelle zu analysieren und darauf aufbauend eine methodische Weiterentwicklung zu erreichen, um die aktuellen Fragestellungen in der Landwirtschaft zu beantworten. Erstmals werden zudem Verfahren der Bioenergieproduktion ins Verfahrensspektrum aufgenommen.

Das dazu erstellte Landnutzungsmodell wird *LaNuOpt* genannt. Dieses Akronym steht dabei für **LandNutzungsOptimierung**. Konzipiert ist das Modell für das Bundesland Bayern, in dem jedoch die Landkreise unabhängig voneinander modelliert werden. Die kleinste Entscheidungseinheit ist dabei ein Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche. Grundsätzlich lässt sich *LaNuOpt* in die Kategorie der komparativ-statischen Modelle einordnen, bei dem als Optimierungsansatz die Lineare Programmierung (LP) mit einer

Maximierung der Bodenrente einer Region gewählt wurde. Die resultierende Landnutzung ist demnach aus Sicht des ökonomisch denkenden Landwirtes optimal.

Die Bodenrente wurde aufgrund der exponierten Stellung des Bodens in der Landwirtschaft gewählt. Auch die Tatsache, dass Boden nicht vermehrbar, sondern vielmehr ein begrenzt verfügbarer Produktionsfaktor ist, führt zu einer monetären Bewertung. Im Modell *LaNuOpt* wird deshalb unterstellt, dass das Ziel des Landwirts in einer Maximierung des wirtschaftlichen Erfolgs, also der Bodenrente, besteht. Grundsätzlich werden bei der Berechnung der Bodenrente alle Leistungen und Kosten eines Produktionsverfahrens, die je Hektar anfallen, miteinander verrechnet. Die Ausnahme bilden dabei die so genannten Flächenkosten (Kosten für Pacht, Steuern, etc.), die definitionsgemäß nicht mit einbezogen werden. Die Bodenrente ist also der Geldbetrag, der dem Landwirt nach Abzug aller anderen Kosten verbleibt, um die knappe Fläche zu entlohnen. Aus diesem Grund werden auch alle kalkulatorischen Kostenansätze, wie beispielsweise der Lohnansatz, berücksichtigt. Um eine realistischere Simulation des Entscheidungsverhaltens von Landwirten zu erreichen, werden die so genannten versunkenen Kosten berücksichtigt. Vom allgemeinen Begriff der Bodenrente (=Bodenrente I) wird dazu eine weitere Kenngröße abgeleitet, nämlich die Bodenrente II. Darin fließen die versunkenen Kosten eines Produktionsverfahrens nicht in die Entscheidungsmatrix mit ein, so dass ein Landwirt länger in einem bestehenden Verfahren verbleibt, obwohl aus rein ökonomischen Gründen bereits ein Wechsel zu einem Alternativverfahren sinnvoll wäre. Dieses Verhalten ist auch in der Realität feststellbar. Der Umstieg in ein anderes Produktionsverfahren erfolgt erst dann, wenn die Bodenrente I des neuen Verfahrens größer als die Bodenrente II des bestehenden Verfahrens ist.

Im Landnutzungsmodell *LaNuOpt* kommt die Bodenrente II somit für die bestehende Agrarstruktur zur Anwendung, während für Neu- oder Ersatzinvestitionen bzw. bei freien Kapazitäten die Bodenrente I als Entscheidungsgrundlage Gültigkeit besitzt. Damit erfolgt eine quasi-dynamische Betrachtung für die wichtigsten Produktionsverfahren inkl. der Bioenergieverfahren in der Landwirtschaft und zwar auf einer einheitlichen Bezugseinheit. Die Landnutzung der ausgewählten Regionen wird anhand komplexer Gleichungssysteme mit Hilfe Linearer Programmierung auf Basis einer möglichst hohen Gesamtbodenrente simultan optimiert, wobei die Schwachstellen einer Linearen Optimierung mit umfassenden Restriktionen ausgeschaltet werden. Abschließend erfolgt eine Visualisierung des berechneten Ergebnisses in einem Geographischen Informationssystem (GIS).

Die lineare Optimierung gilt als geeignetes Instrument zur Verteilung knapper Ressourcen, in diesem Fall des Bodens. Anhand der Berechnung der Bodenrente für alle Produktionsverfahren, inkl. der Veredelungs- und Biogasverfahren, wird eine einheitliche Basis für die Analyse der Wettbewerbskraft der konkurrierenden Alternativen geschaffen, die sowohl kleinräumig als auch großflächig umgesetzt werden kann. Die Boden-

rente versteht sich als Vollkostenansatz, so dass langfristige Prognosen ermöglicht werden. Eine dynamische Komponente wird durch die Implementierung versunkener Kosten in der Bodenrente II erreicht. Neben den gerade erwähnten Vorteilen des gewählten Modellansatzes, müssen auch einige Schwachpunkte in Kauf genommen werden. So lässt sich der bei Landnutzungsmodellen übliche Aggregationsfehler nicht vermeiden. Auch bei der Definition der einzelnen Produktionsverfahren muss der Modellbauer Kompromisse eingehen, da er sich auf eine begrenzte Auswahl einschränken muss und damit nur bedingt die Realität darstellen kann.

Insgesamt umfasst das Landnutzungsmodell *LaNuOpt* 113 alternative Produktionsverfahren. Darin enthalten sind 64 Verfahren des Pflanzenbaus mit unterschiedlicher Verwertungsrichtung (Marktfrucht, Futtermittel, Energierohstoff). Dazu kommen noch 31 Tierhaltungsverfahren (inkl. verschiedener Leistungsklassen in der Milchviehhaltung) sowie 18 Biogasverfahren. Die Verfahren wurden anhand von einschlägiger Fachliteratur definiert und beinhalten einen einheitlichen Maschinenpark. Bei der Berechnung der Bodenrente werden Preise aus den Jahren 2005 bis 2008 zu Grunde gelegt. Eine Besonderheiten des Modells sind der individuell ermittelte Güllewert der Futtermittel bzw. Substrate (unterschiedlicher Ansatz bei den unvermeidlichen Stickstoffverlusten) sowie der anhand von Indizes (Betriebsaufgaben und Arbeitslosigkeit) abgeleitete Lohnansatz in den einzelnen Regionen.

Alle Produktionsverfahren sind in einem LP-Tableau zusammengefasst, um eine simultane Optimierung zu gewährleisten. Dabei wird sichergestellt, dass Fruchtfolgerestriktionen oder Quotenobergrenzen eingehalten werden. Zudem werden mittels weiteren Restriktionen die aktuelle Wirtschaftsstruktur integriert sowie der Umfang an Neuinvestitionen in einem vernünftigen Maßstab geregelt. Weiterhin finden regionale Aspekte sowie ökologische Parameter Eingang in das Modell.

Schließlich ist den einzelnen Produktionsverfahren ein Treibhausgasinventar angehängt, um Aussagen bezüglich der Klimawirkung der Landwirtschaft zu ermöglichen. Darin werden die wichtigsten Emissionen des Pflanzenbaus, der Tierhaltung und der Biogasproduktion erfasst. Änderungen der Landnutzung können dann direkt Auswirkungen auf die Treibhausgasbilanz zugewiesen werden.

Die Untersuchung möglicher Landnutzungsänderungen erfolgt in Szenarien (vgl. Tabelle 8-1). Zunächst wird ein Ausgangsszenario („AS“) zur Modellvalidierung erarbeitet. Auf Basis der Preise und Kosten der Jahre 2005 bis 2008 sowie der vorliegenden Trenderträge wird darin versucht, die Landnutzung des Jahres 2008 möglichst detailgetreu nachzubilden. Erst wenn die Modellvalidierung ein positives Ergebnis liefert, können Szenarien zur Prognose zukünftiger Entwicklungen entwickelt werden. Als Erstes wird hier das Szenario „Business as Usual“ („BAU“) definiert. Es entspricht in nahezu allen Parametern dem Ausgangsszenario. Einzig das Untersuchungsjahr (2015) wird in die Zukunft verlegt. Für das Modell hat das zur Folge, dass auf der einen Seite die Prei-

se und politischen Rahmenbedingungen des Ausgangsszenarios übernommen werden und auf der anderen Seite der Einfluss der bestehenden Wirtschaftsstruktur vermindert wird, indem abgeschriebene Kapazitäten nicht mehr für die Bodenrente II zur Verfügung stehen. Davon ausgehend wird das Szenario „EEG 2009“ („EEG“) abgeleitet. Hierin sind die Änderungen der Novellierung des EEG implementiert und das Szenario repräsentiert somit die aktuell gültigen politischen Rahmenbedingungen. Dem entgegen werden im Szenario „Agrarpolitik 2015“ („AP“) die geplanten politischen Änderungen in Bezug auf Quotenregelungen bei der Milch sowie einheitliche Flächenprämien simuliert. Aufgrund der Aufhebung der Quoten wird ein Milchpreis von 23 ct/kg angenommen, während in den beiden anderen Szenarien mit dem Durchschnittspreis der vergangenen vier Jahre (32 ct/kg) kalkuliert wird. Um aber aktuellen Fragestellungen Rechnung zu tragen, gibt es noch zusätzliche Szenaretten zu den oben beschriebenen Szenarien. In Szenaretten wird nur ein einziger Untersuchungsgegenstand im Vergleich zu den zugehörigen Szenarien variiert. Szenario „EEG 2009“ wird die Szenarette „niedriger Milchpreis“ („EEG nMP“) zugewiesen, wobei der Milchpreis von 32 ct/kg auf ebenfalls 23 ct/kg nach unten korrigiert wird, um den aktuellen Entwicklungen auf dem Milchmarkt Rechnung zu tragen und eine Vergleichbarkeit mit dem Szenario „Agrarpolitik 2015“ zu erreichen. Auch dem Szenario „AP 2015“ ist eine Szenarette („klassische Landwirtschaft“) angehängt, in der nur die klassischen Verfahren der Nahrungsmittelproduktion um die Fläche konkurrieren.

Tabelle 8-1: Übersicht relevanter Parameter in den unterschiedlichen Szenarien

Kriterium	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW
Szenario/Szenarette	Szenario	Szenario	Szenario	Szenarette	Szenario	Szenarette
Untersuchungsjahr	2008	2015	2015	2015	2015	2015
Ertrag	Trendertrag bzw. Durchschnittsertrag 1990-2008					
Preise	Ø 2005-2008					
Biogasvergütung	EEG 2004	EEG 2009				
Flächenprämie	Stand 2008				einheitlich	
Energiepflanzenprämie	ja				nein	
Quotenkosten	ja				nein	
Obergrenze Quote	ja				nein	
Milchpreis [ct/kg Milch]	32					23
Biogas begrenzt?	nein			ja		

Anmerkungen:

BAU Szenario „Business as Usual“

EEG Szenario „EEG 2009“

EEG nMP Szenarette „niedriger Milchpreis“ im Szenario „EEG 2009“

AP Szenario „Agrarpolitik 2015“

AP kLW Szenarette „klassische Landwirtschaft“ im Szenario „Agrarpolitik 2015“

Quelle: eigene Darstellung

Zur Validierung des Modells eignet sich ein Vergleich der Ergebnisse des Szenarios „AS“ mit der Realität. Es zeigt sich, dass die Abweichungen des Modells relativ gering sind.

Besonders die Tierhaltung wird vergleichsweise exakt wiedergegeben. Bei einer Bewertung der Ergebnisse der verschiedenen Szenarien und Szenareten kann das Ergebnis des Ausgangsszenario („AS“) als Vergleichsszenario dienen. Dadurch werden Fehlinterpretationen, die sich aus der Definition des Modells ergeben, vermieden. Die Analysen werden für den Stützzeitpunkt 2015 durchgeführt. In einem Zeitraum von sieben Jahren werden erste Landnutzungsänderungen deutlich sichtbar, ohne dass diese zu spekulativ erscheinen. Resultate für die fernere Zukunft wären dagegen mit größerer Unsicherheit belegt, da sich die politischen Rahmenbedingungen nach 2015 aller Wahrscheinlichkeit nach in ausgeprägtem Maße verändern werden.

Eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse aus den einzelnen Szenarien gibt Tabelle 8-2.

Tabelle 8-2: Übersicht der wichtigsten Ergebnisse für ganz Bayern

	Szenario					
	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW
Tierart						
Milchkühe [Anzahl in 1.000]	1.034	886	863	662	645	740
Rinder [Anzahl in 1.000]	2.987	2.557	2.494	1.938	1.893	2.155
Zuchtsauen [Anzahl in 1.000]	273	256	253	259	259	261
Mastschweine [Anzahl in 1.000]	2.009	1.886	1.848	1.903	1.892	1.919
Nahrungsmittel						
Milch [1.000 t]	6.997	6.102	5.924	4.491	4.430	4.974
Ausschöpfung Quote [%]	98	86	83	63	62	70
Fleisch [1.000 t]	921	835	818	761	752	792
Biogasproduktion						
Installierte Leistung [MW]	425	923	1.080	1.152	1.116	466
Steigerung um das ...-fache	1,0	2,2	2,5	2,7	2,6	1,1
Arbeitsmarkt und Bodenrente						
Arbeitskraftbedarf [1.000 AKE]	142	132	133	118	116	115
Ø Bodenrente [€/ha]	926	824	922	783	780	713
Treibhausgasinventar						
Emissionen Pflanzen- bau [Mio. t CO _{2eq}]	4,29	3,91	3,54	3,85	3,95	4,77
Emissionen Tier- haltung [Mio. t CO _{2eq}]	13,07	11,31	11,04	8,92	8,79	9,70
Emissionen Biogas [Mio. t CO _{2eq}]	-1,05	-2,22	-2,90	-3,10	-3,08	-1,31
Emissionen Gesamt [Mio. t CO _{2eq}]	16,31	13,01	11,68	9,67	9,66	13,16

Anmerkungen:

- AS Ausgangsszenario
- BAU Szenario „Business as Usual“
- EEG Szenario „EEG 2009“
- EEG nMP Szenarettete „niedriger Milchpreis“ im Szenario „EEG 2009“
- AP Szenario „Agrarpolitik 2015“
- AP kLW Szenarettete „klassische Landwirtschaft“ im Szenario „Agrarpolitik 2015“

Quelle: eigene Darstellung

Diese Zahlen alleine sagen über die räumliche Verteilung der Landnutzungsänderung nur wenig aus. Dies ist erst nach einer Analyse des mit Hilfe des Modells *LaNuOpt* er-

stellten Kartenmaterials möglich. Daraus lassen sich folgende Rückschlüsse für die Landnutzung und die nachgelagerten Bereiche für das Untersuchungsjahr 2015 ziehen: Wenn die Rahmenbedingungen der zurückliegenden Jahre 2005 bis 2008 Bestand haben (Szenario „Business As Usual“: Durchschnittspreise der Jahre 2005 bis 2008; EEG aus dem Jahr 2004), dann...

- ... steigt der Stellenwert der Biogaserzeugung um das zweifache (900 MW in 2015) auf Kosten „klassischer“ Betriebszweige.
- ... erfolgt der Ausbau der Biogaserzeugung aufgrund der unterstellten stabilen Milchpreise (32 ct/kg) hauptsächlich auf Ackerstandorten mit wenig Arbeitsplatzverlusten.
- ... ist eine Zunahme von Futterpflanzen (Silomais, Getreide-GPS) und ein Rückgang von Cash-Crops zu beobachten.

Wenn zusätzlich die Novellierung des EEG berücksichtigt wird (Szenario „EEG 2009“), dann...

- ... wird die Biogaserzeugung weiter ausgedehnt (1.100 MW).
- ... wird die höchste durchschnittliche Bodenrente erreicht.
- ... wird die Milchviehhaltung in den Grünlandregionen nicht zwangsläufig reduziert.

Wenn allerdings ein niedriger Milchpreis (23 ct/kg), wie es aktuell der Fall ist, als Entscheidungsbasis dient (Szenarierette „niedriger Milchpreis“), dann...

- ... kann auch der Güllebonus den Rückgang der Milch- und Fleischproduktion nicht verhindern.
- ... profitiert nicht nur die Biogasproduktion vom Rückgang der Milchproduktion.
- ... trifft der niedrige Milchpreis besonders typische Grünlandregionen; auch bezüglich der Beschäftigungseffekte.
- ... verliert die Landwirtschaft bayernweit ca. 400 Mio. € an Bodenrente, weist aber den höchsten Klimanutzen auf.

Wenn sich die Entscheidung bezüglich einer zukünftigen Landnutzung an den Vorgaben der kommenden Agrarpolitik (einheitliche Flächenprämien, Abschaffung der Milchquote bei einem Milchpreis von 23 ct/kg) orientiert, gleichzeitig die Rahmenbedingungen des EEG 2009 gelten (Szenario „Agrarpolitik 2015“), dann...

- ... ergeben sich aus den einheitlichen Flächenprämien keine gravierenden Auswirkungen auf die Landnutzung, sondern wiederum wird die Biogaserzeugung stark ausgeweitet.
- ... wandert Milch in geeignete (Grünland-)Regionen, so dass sich der erforderliche Mindestpreis für eine Milchproduktion in Höhe der aktuellen Menge reduziert.

- ... werden trotz Ausweitung der Biogaskapazitäten mehr Arbeitsplätze in der Landwirtschaft gebunden als in Szenarete „klassische Landwirtschaft“.

Wenn untersucht wird, wie sich unter den Bedingungen der kommenden Agrarpolitik die klassische Landwirtschaft entwickelt (Szenarete „klassische Landwirtschaft“, dann...

- ...erfolgt kein weiterer Ausbau der Biogasproduktion und die Produktionsumfänge der Nahrungsmittelproduktion aus dem Jahr 2008 bleiben in etwa erhalten.
- ... wird die Milchproduktion ebenfalls regional in den Süden, Osten und Südosten Bayerns umverteilt.
- ... erzielt die Landwirtschaft die niedrigste Bodenrente aller Szenarien, da der niedrige Milchpreis nicht durch die hohe Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung ausgeglichen wird.
- ... wird Grünland verstärkt nicht bewirtschaftet, da die Alternative „Biogas“ fehlt.

Sollte es unter den angenommenen Bedingungen zu dem prognostizierten Ausbau der Energieerzeugung vom Acker kommen, was ja bereits der Fall ist, muss zwangsläufig im Bereich der Nahrungsmittelproduktion mit Rückgängen gerechnet werden. Damit verringert sich der Selbstversorgungsgrad.

Das Kernproblem ist allerdings weniger die Versorgung der Bevölkerung mit einheimischen Lebensmitteln. Ein primäres Problem liegt in der Tatsache, dass ein Rückgang der Nahrungsmittelproduktion in Bayern zu einer Reduktion der Produktion in nachfolgenden Bereichen führen kann. Die dort gebundene Wertschöpfung sowie die gebundenen Arbeitsplätze könnten dann verloren gehen. Es stellt sich prinzipiell die Frage, ob es sinnvoll ist, in Bayern Bioenergie auszudehnen und im Gegenzug weniger Nahrungsmittel zu erzeugen.

Die Frage nach den Auswirkungen auf den Boden- und Pachtmarkt lässt sich nicht abschließend beantworten, da in den untersuchten Schwerpunktregionen die Pachtpreisanalyse kein einheitliches Bild ergeben hat. Definitiv werden in Landkreisen mit intensiver Viehhaltung oder hoher Biogasdichte höhere Pachtpreise gezahlt. Auch die Dynamik der letzten Jahre offenbart einen klar steigenden Trend in diesen Regionen, zumindest bei Ackerland. Grünland verliert tendenziell an Attraktivität. Ein weiterer Ausbau der Biogaserzeugung in Konfliktregionen, wo Tierhaltung und Energieerzeugung aufeinander prallen, könnte dieses Problemfeld weiter verschlechtern.

Aus Sicht des Klimaschutzes zeigt sich in allen Szenarien ein positives Bild. Allerdings resultiert die Treibhausgaseinsparung aus zwei Gründen, die unterschiedlich zu bewerten sind. Auf der einen Seite führt der Ausbau der Biogaserzeugung zu einer Substitution fossiler Energieträger und damit verbunden zu einer Emissionsminderung. Gleich-

zeitig können beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen Emissionen eingespart werden, die sonst bei der herkömmlichen Lagerung frei werden würden. Auf der anderen Seite wird die Treibhausgasreduktion durch den Rückgang der Tierzahl erreicht. Diese Klimaschutzmaßnahme ist nur bedingt positiv zu bewerten.

Zum jetzigen Stand der Dinge sind Bioenergieverfahren noch in geringem Maße in bestehende Landnutzungsmodelle integriert. Deswegen existieren für die im Rahmen der Dissertation ermittelten Ergebnisse nur wenige Vergleichsmöglichkeiten. Einzig die Modelle *RAUMIS* und *S_INTEGRAL* berücksichtigen die Bioenergie. Allerdings nur in Form weiterer pflanzenbaulicher Optionen. Doch auch hier wird deutlich, dass unter den momentanen Rahmenbedingungen ein steigender Stellenwert der Produktion von Energiebiomasse prognostiziert wird. Die Resultate des Modells *LaNuOpt* werden also vom Grund her bestätigt.

Die Ergebnisse sind aber eng im Kontext mit der Gestaltung des Modells zu sehen. Das Modell *LaNuOpt* als komparativ-statisches Modell hat nicht die Möglichkeit mit Hilfe eines Marktmodells dynamische Entwicklungen abzubilden. Trotzdem lassen sich entscheidende Trends abbilden. Geprägt werden diese durch den Ansatz mittels Bodenrente, der der bestehenden Wirtschaftsstruktur eine höhere Gewichtung zukommen lässt. Ein weiterer wichtiger Parameter bildet die Wahl des Lohnansatzes, der, je nach Region, die Wettbewerbsfähigkeit besonders arbeitsintensiver Verfahren bestimmt. Ausschlaggebender Parameter bleibt aber der Boden und die Annahme, dass dieser der knappste Faktor ist.

Abschließend gilt es die Ergebnisse noch inhaltlich zu interpretieren. Zum einen werden zwar die Märkte der Nahrungsmittelproduktion entlastet, da weniger Anbaufläche zur Verfügung stehen. Dies kann dazu führen, dass evtl. eine Angebotsverknappung schneller zu einem Preisanstieg für Agrarprodukte führt, was der gesamten Landwirtschaft zu Gute kommen würde. Zum anderen führt die hohe Konkurrenzkraft der Biogasproduktion zu einem Verdrängungswettbewerb auf dem Pachtmarkt, der auch vor Betrieben, die eigentlich auf die Zukunft ausgerichtet sind, nicht Halt macht. Gleichzeitig bedeutet ein starker Wirtschaftszweig in der Landwirtschaft, dass einige Betriebe die schlechten Ergebnisse in den anderen Betriebszweigen kompensieren können. Diese Erkenntnis gilt auch für den Arbeitsplatzbedarf in der Landwirtschaft. Hier sind sowohl Kompensations- als auch Verdrängungseffekte durch die Bioenergie zu erwarten. Im nachgelagerten Bereich ist dies dagegen nicht der Fall. Insgesamt lässt sich festhalten, dass durch das EEG zahlreiche strukturelle Verwerfungen entstehen, die z. T. positiv aber auch negativ eingeordnet werden können. Eine endgültige Bewertung der politischen Maßnahmen kann deshalb noch nicht geschehen.

Mit dem Landnutzungsmodell *LaNuOpt* wurde ein Werkzeug geschaffen, mit dem zahlreiche Fragestellungen bezüglich einer möglichen Entwicklung der Landwirtschaft beantwortet werden können. Zusätzliche Informationen, wie z. B. die Treibhausgasinven-

tare, können vergleichsweise einfach eingearbeitet werden. Auch die Bearbeitung von weiteren Fragestellungen, wie z. B. die Rolle des Ökolandbaus und dessen Konsequenzen für den nachgelagerten Bereich, ist im Zuge weiterer Arbeiten mit Hilfe von *LaNu-Opt* möglich.



9 Summary

The fossil energy resources of our planet are definitely limited. For this reason mankind is forced to transfer to other systems of energy supply at least regarding a long-term basis. Moreover, it is more and more obvious that the use of fossil energy sources accelerates climate change. One out of numerous options to provide alternative energy is the production of energy on the basis of biomass. At least in the western world utilization of biomass causes a reduction of the existing overproduction of food. Thus in the last years policy makers were forced to push forward the energetic use of biomass. A conflict between food and energy production as well as a strong competition around agricultural surface were at this time not actual.

Changes of the political framework and fluctuations in the agricultural commodity markets have direct consequences for agriculture and effects on land use. Wavelike trends in prices of agricultural products showed up in the last two years. Up-to-date especially dairy farming follows a depression. On the other hand amendments lead to a fortification and a weakening of total branches of industry respectively. The economy of biogas production was effectively forced by the amendment of the Renewable Energy Law. On the opposite side the competitive advantage of vegetable oil production was reduced by the taxation of pure fuels. A farmer has the opportunity to move into the most lucrative market. Therefore, it is particularly interesting to analyze interactions of these various factors with help of a land use model as well as to provide prognoses concerning the future developments and their consequences.

In the context of this thesis it was valid to develop a land use model for Bavaria. Superficial objective was the simulation of the reaction of the Bavarian agriculture towards changes of energy policy framework and market tendencies respectively. The land use model ought to be able to reveal effects of a changed land use on the requirement of labour as well as the income in the agricultural sector. Finally, the land use model ought to be linked with a simplified greenhouse gas inventory for the agriculture, which allows statements concerning the climate effect of agriculture.

Paying attention to some basic requirements is necessary to satisfy the demands of a land use model. On the one hand, it is fundamental to concentrate on the essence while achieving a high resolution with regards to content. On the other hand the results must be submitted to a validation procedure, in order to be able to declare reliable statements. Existing land use models can give clues.

Land use models, currently applied in German-speaking countries, are used on very different spatial levels and in different regions and differ partly crucially in their approach. That can depend on different requirements of the question or the investigated region and furthermore on the available data and on the operated effort. Goal of all models is the maximization of economic success. This can be differentiated between optimization concerning the income (land rent) and the profit contribution. The necessary calculations result from different forms of linear and nonlinear programming. The land use model developed in the context of this thesis analyzes existing models and tries to reach a methodical advancement, in order to answer the current questions in agriculture. For the first time, techniques of the bio energy production are included in the spectrum of process.

The new developed land use model has the name *LanUOpt*. This acronym stands for **Land Use Optimization**. The model is designed for the Federal State of Bavaria, in which the districts are independently modelled. Thereby, the smallest decision unit is one hectare of agricultural area. Generally, *LanUOpt* can be classified in the category of the comparative static models. As approach for optimization, linear programming (LP) with a maximization of land rent of a region was selected. For that reason, the resulting land use is optimal in the view of an economically thinking farmer.

Land rent was selected due to the exposed position of land in agriculture. The fact that land is not increasable, but rather a limited production factor, leads to a monetary valuation. In the model *LanUOpt* the maximization of economic success, or the land rent, is assumed as the farmer's goal. In principle by computing the land rent all benefits and costs of a production procedure, which result per hectare, are charged with each other. The so called ground costs (costs of lease, taxes, etc.) are not included by definition. The land rent is the amount of money the farmer keeps after deduction of all costs, in order to remunerate the scarce land. For this reason all imputed costs, like the point of wage, are considered. In order to reach a more realistic simulation of the

farmers' decision behaviour, the so called sunk costs are taken into account. A further parameter, namely the land rent II, is derived from the general term of the land rent (= land rent I). Here the sunk costs of a production procedure are not included. So a farmer longer remains in an existing procedure, although a change to an alternative procedure would be already meaningful for purely economic reasons. This behaviour can be recognized in the reality. The transfer into another production procedure only takes place if the land rent I of the new procedure is larger than the land rent II of the existing procedure.

In the land use model *LanUOpt* the land rent II is used for the existing agricultural structure, while for new or replacement investments land rent I serves as decision basis. Thus a quasi-dynamic view of the most important production procedures including bio energy procedures is carried out. The land use of the selected regions is simultaneously optimized on the basis of complex sets of equations with the help of linear programming. The weak points of linear optimization are switched off by comprehensive restrictions. Finally, the computed results are visualized in a geographic information system (GIS).

Linear optimization is considered as adequate instrument for the allocation of scarce resources. With the help of the land rent of all production procedures, including refining and biogas procedures, a unique basis of analysing the competitive strength is created. The land rent includes full costs, so long-term prognoses can be made. A dynamic component is reached by the implementation of sunk costs in the land rent II. Beside the mentioned advantages of the selected model, some weak points must be accepted. The usual aggregation error cannot be prevented. The model constructor is limited to a selection of procedures and so the reality could be represented only in a limited extend.

Altogether, the land use model *LanUOpt* contains 113 alternative production procedures. 64 procedures are referred to crop farming with different ways of utilization (cash crop, feed, energy raw material). In addition 31 procedures of animal husbandry (including different performance classes in the dairy cattle husbandry) as well as 18 biogas procedures are integrated. The procedures were defined on the basis of relevant technical literature and contain uniform machinery. The land rent is computed on the basis of the prices from the years 2005 till 2008. Characteristic for the model are the individually determined value of liquid manure of the animal feeds and substrates as well as the derived wage in the individual regions on the basis of indices (closure of farms and unemployment).

All production procedures are summarized in a LP tablet, in order to ensure a simultaneous optimization. It is guaranteed that crop rotation restrictions or contingent limits are kept., The current economic structure is as well integrated as the extent of new

investments are regulated in a reasonable scale by further restrictions. Additional regional aspects or ecological parameters complete the model.

Finally, a greenhouse gas inventory is attached, in order to make statements concerning the climatic effect of the agriculture possible. Here the most important emissions of crop farming, the animal husbandry and the biogas production are included.

The investigation of possible changes of land use takes place in scenarios (see table 8-1). First, for validation of the model a basic scenario („AS“) is compiled. This scenario tries to copy the land use of the year 2008 as detailed as possible. If the model validation supplies a positive result, scenarios for the prognosis of future developments can be built up. First the scenario „Businesses as Usual “ („BAU“) is defined. Within almost all ranges it corresponds to the basic scenario. Only the investigated year (2015) moves into the future. Out of this, the scenario „EEG 2009 “ („EEG“) is developed. Here changes of the amendment of the EEG are implemented and thus the scenario represents the up-to-date valid political framework.

Table 9-1: Overview of relevant parameters in different scenarios

	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW
Scenario/Scenaret	Scenario	Scenario	Scenario	Scenaret	Scenario	Scenaret
Investigated Year	2008	2015	2015	2015	2015	2015
Yield	Trend Yield or Average Yield 1990-2008					
Market Price	Ø 2005-2008					
Electricity Price	EEG 2004	EEG 2009				
Land Subsidies	Valid for 2008				unique	
Subsidies for Energy Plants	yes				no	
Costs for Milk Quota	yes				no	
Milk Quota	yes				no	
Milk Price [ct/kg Milk]	32		23			
Biogas restricted?	no			yes		

Notes:

BAU Scenario „Business as Usual“

EEG Scenario „EEG 2009“

EEG nMP Scenaret „low milk price“ in scenario „EEG 2009“

AP Scenario „agricultural policy 2015“

AP kLW Scenaret „classic agriculture“ in scenario „agricultural policy 2015“

Quelle: own illustration

In the scenario „agricultural policy 2015 “ („AP “) the planned political changes are simulated regarding milk quota as well as uniform subsidies. Due to the abolition of the quota, the assumed milk price is 23 ct/kg. In contrast to both other scenarios the average price of the past four years (32 ct/kg) is used. In order to accommodate current questions, additional scenarets to the scenarios described above are developed. In scenarets only one investigated parameter is varied compared to the associated scenarios. Scenario „EEG 2009“ is assigned to scenaret „low milk price“ („EEG nMP“),

by correcting the milk price downward from 32 ct/kg to 23 ct/kg. The scenaret („classic agriculture“) in which only the classical procedures of the food production compete around the surface, is attached to scenario „AP 2015“.

Comparing the results of the scenario „AS“ with the reality is suitable for the validation of the model. The deviations of the model are relatively marginal. Particularly, the animal husbandry is represented accurately. During an evaluation of the results of the different scenarios and scenarets the results of the basic scenario („AS“) can serve as comparative scenario. Thus misinterpretations, which result from the definition of the model, are avoided. The analyses are executed for the year 2015. In a period of seven years first changes of land use get clearly visible, without being speculative. Results for a farther future would be more uncertain, since the political basic conditions will change after 2015.

An overview of the most important results of the individual scenarios are given in table 8 2.

Table 9-2: Overview of important results in bavaria

	Scenario					
	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW
Animal Species						
Dairy Cows [number in 1.000]	1.034	886	863	662	645	740
Cattle [number in 1.000]	2.987	2.557	2.494	1.938	1.893	2.155
Breeding Sows [number in 1.000]	273	256	253	259	259	261
Feeding Pigs [number in 1.000]	2.009	1.886	1.848	1.903	1.892	1.919
Food						
Milk [1.000 t]	6.997	6.102	5.924	4.491	4.430	4.974
Quota [%]	98	86	83	63	62	70
Meat [1.000 t]	921	835	818	761	752	792
Biogas Production						
Installed Capacity [MW]	425	923	1.080	1.152	1.116	466
Increase relatively	1,0	2,2	2,5	2,7	2,6	1,1
Employment Market and Land Rent						
Demand for Labour [1.000 AKE]	142	132	133	118	116	115
Ø Land Rent [€/ha]	926	824	922	783	780	713
Greenhose Gas Inventory						
Emissions Crop Pro- duction [Mio. t CO ₂ eq]	4,29	3,91	3,54	3,85	3,95	4,77
Emissions Animal Hus- bandry [Mio. t CO ₂ eq]	13,07	11,31	11,04	8,92	8,79	9,70
Emissions Biogas [Mio. t CO ₂ eq]	-1,05	-2,22	-2,90	-3,10	-3,08	-1,31
Emissions Overall [Mio. t CO ₂ eq]	16,31	13,01	11,68	9,67	9,66	13,16

Notes:

BAU Scenario „Business as Usual“

EEG Scenario „EEG 2009“

EEG nMP Scenaret „low milk price“ in scenario „EEG 2009“

AP Scenario „agricultural policy 2015“

AP kLW Scenaret „classic agriculture“ in scenario „agricultural policy 2015“

Quelle: own illustration

These numbers alone reveal little about the spatial distribution of the change of land use. After an analysis of the map material provided by the model *LanUOpt*, this is possible. The following conclusions for the land use and the subsequent sector for the year 2015 can be drawn:

If the basic conditions of the past years 2005 to 2008 are stable (scenario “Business as Usual”: average prices of the years 2005 to 2008; EEG of the year 2004), then...

- ... the biogas production nearly doubles (900 MW in 2015) at the expense of „classical“ agriculture.
- ... due to the subordinate stable milk prices (32 ct/kg) the extension of the biogas production mainly takes place on field locations with few losses of jobs.
- ... an increase of fodder plants (silage maize, grain GPS) and a decrease of cash crops can be observed.

If additionally the amendment of the EEG is considered (scenario “EEG 2009”), then...

- ... biogas production is enlarged onward (1.100 MW).
- ... the highest average land rent is reached.
- ... dairy farming in grassland regions is not reduced inevitably.

If, however, a low milk price (23 ct/kg), serves as basis of decision (scenaret “low milk price”), then...

- ... the liquid manure bonus cannot prevent the decrease of the milk and meat production.
- ... not only the biogas production benefits from the decrease of milk production, but also the pig production.
- ... the low milk price hits especially typical grassland regions.
- ... agriculture loses 400 Mio. € land rent in whole Bavaria, but shows the highest advantage for the climate.

If the decision for future land use is orientated at the defaults of the coming agricultural policy (uniform surface premiums, abolishment of the milk ratio with a milk price of 23 ct/kg), and at the same time the EEG 2009 is valid (scenario “agricultural policy 2015”), then...

- ... no serious effects on the land use result from the uniform surface premiums.
- ... milk moves to adequate (grassland-) regions.
- ... more jobs are bound in the agriculture than in scenaret „classical agriculture“ despite of the expansion of the biogas capacities.

If the predicted development of the energy production on the field comes true, this results inevitably in a decrease of the food production. In grain production it should be possible to import the necessary amounts. The self-sufficiency ratio will decline.

The supply of the population with native food is not the central problem. Indeed the fact of a decreasing food production leads to a reduction of the production in the following industry branches in Bavaria. The added value as well as the jobs could get lost. The question is whether it is reasonable to expand bio energy and in response produce less food in Bavaria.

As the examined regions show no unique results, the effects on the rent market cannot be described finally. Definitely, in districts with intensive animal husbandry or biogas density, higher rents are paid. The dynamic of the last years reveals a clearly rising trend in these regions, at least for cropland. Grassland instead loses attractiveness. In conflict regions, where animal husbandry and energy production converge, a further expansion of the biogas production could worsen this problem.

From the view of climate protection a positive picture comes up in all scenarios. However, savings of greenhouse gas result from two reasons, which have to be evaluated differently. On the one hand the development of the biogas production leads to a substitution of fossil sources of energy and therefore to a reduction of emissions. At the same time emissions can be saved by using farm fertilizer in biogas plants. Otherwise they would be released during conventional storage. On the other hand the reduction of greenhouse gas is reached by decreased numbers of animals. This climate protection method is not purely positive.

As things are now, bio energy procedures are integrated in few existing land use models. Therefore hardly any comparison exists with regard to the results in the context of the thesis. Only the models RAUMIS and S_INTEGRAL consider the bio energy, but just in form of further crop production options. In these models a rising value of energy biomass production is predicted under the current framework. So the results of the model *LanUOpt* are confirmed.

The results have to be seen closely to the context of the structure of the model. The model *LanUOpt* as a comparative static model has no access to a market model to demonstrate dynamic developments. Nevertheless crucial trends can be illustrated. These are shaped by the approach of land rent, which weighs the existing economy structure higher. However, ground remains the key parameter and it is accepted that this is the scarcest factor.

Finally, it is important interpreting the results with regard to contents. Since on the one hand there is less cultivated area, the markets of food production are relieved. The entire agriculture could benefit from this release. On the other hand the high competitive strength of biogas production leads to a cutthroat competition on the rent market. At the same time a strong economic sector in agriculture means that some enterprises can compensate the bad results of the other economic sectors. This is valid for the jobs in agriculture, too. Here both compensation and depletion effects have to be expected. In the following economic branches the situation is the other way round. Alto-

gether it can be noted that numerous structural distortions result from the EEG, which can be arranged positively or negatively. Therefore, a final evaluation of the political measures cannot happen yet.

With the land use model *LanUOpt* a tool was created, which can answer numerous questions concerning a possible development of agriculture. Additional information, like e. g. the greenhouse gas inventories, could be included without problems. The adaption of further questions, like e. g. the role of organic farming can be integrated easily in the course of further work by LaNuOpt.

10

10Anhang

10.1 Anhang-Tabellen

Anhang-Tabelle 1: Berechnung des Güllewertes am Beispiel Silomais.....	174
Anhang-Tabelle 2: Verwendete Kennzahlen zur Berechnung von Treibhausgasbilanzen in der Pflanzenproduktion.....	175
Anhang-Tabelle 3: Methanbildungspotenziale, Methankonversionsfaktoren und Lachgasemissionsfaktoren zur Berechnung von Methan- und Lachgasemissionen im Wirtschaftsdünger-Management.....	176
Anhang-Tabelle 4: Vergütungen von Strom aus der Biogaserzeugung nach EEG 2009.....	176
Anhang-Tabelle 5: Nummerierung der Landkreise (Teil 1)	177
Anhang-Tabelle 6: Nummerierung der Landkreise (Teil 2)	178
Anhang-Tabelle 7: Vergleich und Bewertung der Korrelation der Landnutzung im Status Quo und im Szenario „AS“ anhand ausgewählter Kulturen (Stadtlandkreise berücksichtigt).....	179
Anhang-Tabelle 8: Anteil an der Ackerfläche der modellierten Kulturen in den unterschiedlichen Szenarien (korrigierter Mittelwert).....	179
Anhang-Tabelle 9: Überblick über Tierzahlen, Nahrungsmittel-, Biogasproduktion, Arbeitsmarkt, Bodenrente und Treibhausgasinventar der einzelnen Szenarien/Szenarettten im Vergleich.....	180

Anhang-Tabelle 1: Berechnung des Güllewertes am Beispiel Silomais

Größe [Einheit] = Berechnung mit Zeilennummern	Silomais Futter	Silomais Substrat
1 Ertrag [dt/ha]	480	480
2 Entzug N [kg/dt]	0,43	0,43
3 Entzug P [kg/dt]	0,18	0,18
4 Entzug K [kg/dt]	0,51	0,51
5 Entzug N [kg/ha] = 1*2	206,40	206,40
6 Entzug P [kg/ha] = 1*3	86,40	86,40
7 Entzug K [kg/ha] = 1*4	244,80	244,80
8 Preis N [€/kg]	0,9	0,9
9 Preis P [€/kg]	0,5	0,5
10 Preis K [€/kg]	0,4	0,4
11 Kosten Mineraldünger [€/h] = (5+30)*8+6*9+7*10	354	354
Nährstoffverbrauch Tier bzw. BGA		
12 N [kg/ha] = 23 %*5 bzw. 0	47,5	0,0
13 P [kg/ha] = 30 %*6 bzw. 0	25,9	0,0
14 K [kg/ha] = 6 %*7 bzw. 0	14,7	0,0
Nährstoffabgabe Tier		
15 N [kg/ha] = 5-12	158,9	206,4
16 P [kg/ha] = 6-13	60,5	86,4
17 K [kg/ha] = 7-14	230,1	244,8
Stall- und Lagerverluste		
18 N [kg/ha] = 22,5 %*15 bzw. 5 %*15	35,8	10,3
19 P,K [kg/ha]	0,0	0,0
Nährstoffabgabe Güllebehälter		
19 N [kg/ha] = 15-18	123,2	196,1
20 P [kg/ha] = 16-19	60,5	86,4
21 K [kg/ha] = 17-19	230,1	244,8
Pflanzenverfügbare Nährstoffmenge		
22 N [kg/ha] = 75 %*19	92,4	147,1
23 N [kg/ha] = 100 %*20	60,5	86,4
24 N [kg/ha] = 100 %*21	230,1	244,8
25 Güllewert [€/ha] = 22*8+23*9+24*10	205	273
26 Effektive Düngemittelkosten [€/ha] = 11-25	148	80

Quelle: eigene Berechnungen (Datengrundlage LFL 2007c)

Anhang-Tabelle 2: Verwendete Kennzahlen zur Berechnung von Treibhausgasbilanzen in der Pflanzenproduktion

Betriebsmittel	BE	THG-Emissionen [kg CO _{2eq} /BE]
Saatgut		
Getreide, Körnerleguminosen	kg	0,57
Mais	U	10,66
Raps	kg	1,46
Sonnenblumen	U	2,28
Kartoffeln	kg	0,17
Zuckerrüben	U	3,02
Stecklinge (KUP)	Stück	0,001
Gräser, Klee	kg	1,27
Düngemittel		
Stickstoff (Reinnährstoff)	kg	7,47
Phosphor (Reinnährstoff)	kg	1,18
Kalium (Reinnährstoff)	kg	0,66
Kalk	kg	0,30
Pflanzenschutzmittel		
Herbizid (Wirkstoff)	kg	5,86
Fungizid (Wirkstoff)	kg	3,98
Insektizid (Wirkstoff)	kg	4,82
Wachstumsregler (Wirkstoff)	kg	2,80
Diesel und Betriebsstoffe		
Diesel und Betriebsstoffe	l	3,09

Anmerkungen:

BE Bezugseinheit

THG Treibhausgas

kg CO_{2eq} kg CO₂-Äquivalent

U Unit = Einheit

l Liter

KUP Kurzumtriebsplantage

Quelle: eigene Annahmen; BERENZ 2009; ECOINVENT 2004; KALTSCHMITT und REINHARDT 1997; PATYK und REINHARDT 1997

Anhang-Tabelle 3: Methanbildungspotenziale, Methankonversionsfaktoren und Lachgasemissionsfaktoren zur Berechnung von Methan- und Lachgasemissionen im Wirtschaftsdünger-Management

Faktor & Differenzierung	Wert
Methanbildungspotenzial b_0 [m³ CH₄/kg C (VS)]	
Milchkühe und Stroh	0,24
Sonstige Rinder	0,18
Zuchtsauen	0,48
Mastschweine	0,45
Methankonversionsfaktor MCF [kg/kg]	
Gülle mit natürlicher Kruste	0,10
Festmist	0,20
Weidehaltung	0,01
Lachgasemissionsfaktor EF_{N_2O} [kg N₂O-N/kg N]	
Gülle mit natürlicher Kruste	0,005
Festmist	0,005
Weidehaltung	0,02

Quelle: DÄMMGEN 2009a, S. 83 & S. 158 & S. 180 & S. 324; UBA 2009, S. 345 ff. & S. 366; HIRSCHFELD 2008, S. 103

Anhang-Tabelle 4: Vergütungen von Strom aus der Biogaserzeugung nach EEG 2009

	< 150 kW	< 500 kW	< 5 MW
Grundvergütung	11,67 (+1) ↑	9,18	8,25
NaWaRo-Bonus	7 (+1) ↑		4
Gülle-Bonus*	4 neu	1 neu	--
KWK-Bonus	3 (+1) ↑		
Landschaftspflege-Bonus**	2 neu		--
Technologie-Bonus***	2		
Emissionsschutz-Bonus***	1 neu		
Degression je Inbetriebnahmejahr	1% (-0,5%) ↓		

Anmerkungen:

Vergütungen gelten für Anlagen, die 2009 in Betrieb gehen.

* bei 30 Masseprozent Gülle

** bei mehr als 50 % Landschaftspflegematerial

*** nachweispflichtig

Quelle: eigene Darstellung nach BGBL 2008b

Anhang-Tabelle 5: Nummerierung der Landkreise (Teil 1)

Lfd. Nr.	Landkreis-ID	ABK	Landkreis
1	161	IN	Ingolstadt (Stadt)
2	162	M	München (Stadt)
3	163	RO	Rosenheim (Stadt)
4	171	AÖ	Altötting
5	172	BGL	Berchtesgadener Land
6	173	TÖL	Bad Tölz-Wolfratshausen
7	174	DAH	Dachau
8	175	EBE	Ebersberg
9	176	EI	Eichstätt
10	177	ED	Erding
11	178	FS	Freising
12	179	FFB	Fürstenfeldbruck
13	180	GAP	Garmisch-Partenkirchen
14	181	LL	Landsberg am Lech
15	182	MB	Miesbach
16	183	MÜ	Mühldorf am Inn
17	184	M	München
18	185	ND	Neuburg-Schrobenhausen
19	186	PAF	Pfaffenhofen an der Ilm
20	187	RO	Rosenheim
21	188	STA	Starnberg
22	189	TS	Traunstein
23	190	WM	Weilheim-Schongau
24	261	LA	Landshut (Stadt)
25	262	PA	Passau (Stadt)
26	263	SR	Straubing (Stadt)
27	271	DEG	Deggendorf
28	272	FRG	Freyung-Grafenau
29	273	KEH	Kehlheim
30	274	LA	Landshut
31	275	PA	Passau
32	276	REG	Regen
33	277	PAN	Rottal-Inn
34	278	SR	Straubing-Bogen
35	279	DGF	Dingolfing-Landau
36	361	AM	Amberg (Stadt)
37	362	R	Regensburg (Stadt)
38	363	WEN	Weiden i.d.Opf. (Stadt)
39	371	AS	Amberg-Sulzbach
40	372	CHA	Cham
41	373	NM	Neumarkt i.d.Opf.
42	374	NEW	Neustadt an der Waldnaab
43	375	R	Regensburg
44	376	SAD	Schwandorf
45	377	TIR	Tirschenreuth
46	461	BA	Bamberg (Stadt)
47	462	BT	Bayreuth (Stadt)
48	463	CO	Coburg (Stadt)

Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Tabelle 6: Nummerierung der Landkreise (Teil 2)

Lfd. Nr.	Landkreis-ID	ABK	Landkreis
49	464	HO	Hof (Stadt)
50	471	BA	Bamberg
51	472	BT	Bayreuth
52	473	CO	Coburg
53	474	FO	Forchheim
54	475	HO	Hof
55	476	KC	Kronach
56	477	KU	Kulmbach
57	478	LIF	Lichtenfels
58	479	WUN	Wunsiedel im Fichtelgebirge
59	561	AN	Ansbach (Stadt)
60	562	ER	Erlangen (Stadt)
61	563	FÜ	Fürth (Stadt)
62	564	N	Nürnberg (Stadt)
63	565	SC	Schwabach (Stadt)
64	571	AN	Ansbach
65	572	ERH	Erlangen-Höchstadt
66	573	FÜ	Fürth
67	574	LAU	Nürnberger Land
68	575	NEA	Neustadt an der Aisch-Bad Windsheim
69	576	RH	Roth
70	577	WUG	Weißenburg-Gunzenhausen
71	661	AS	Aschaffenburg (Stadt)
72	662	SW	Schweinfurt (Stadt)
73	663	WÜ	Würzburg (Stadt)
74	671	AB	Aschaffenburg
75	672	KG	Bad Kissingen
76	673	NES	Rhön-Grabfeld
77	674	HAS	Haßberge
78	675	KT	Kitzingen
79	676	MIL	Miltenberg
80	677	MSP	Main-Spessart
81	678	SW	Schweinfurt
82	679	WÜ	Würzburg
83	761	A	Augsburg (Stadt)
84	762	KF	Kaufbeuren (Stadt)
85	763	KE	Kempten (Stadt)
86	764	MM	Memmingen (Stadt)
87	771	AIC	Aichach-Friedberg
88	772	A	Augsburg
89	773	DLG	Dillingen an der Donau
90	774	GZ	Günzburg
91	775	NU	Neu-Ulm
92	776	LI	Lindau (Bodensee)
93	777	OAL	Ostallgäu
94	778	MN	Unterallgäu
95	779	DON	Donau-Ries
96	780	OA	Oberallgäu

Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Tabelle 7: Vergleich und Bewertung der Korrelation der Landnutzung im Status Quo und im Szenario „AS“ anhand ausgewählter Kulturen (Stadtlandkreise berücksichtigt)

Kultur	Regressionsgerade	Bestimmtheitsmaß	Bewertung
Getreide	$y = 0,5291x + 19,529$	0,19	↓↓
Winterraps	$y = 0,3562x + 17,535$	0,05	↓↓
Sonnenblumen	$y = 0,7402x + 0,3877$	0,03	↓↓
Körnermais	$y = 0,6278x + 1,0488$	0,40	∅
Silomais	$y = 0,7527x + 5,5244$	0,68	↑↑
Zuckerrüben	$y = 0,9259x - 0,0091$	0,93	↑↑
Kartoffeln	$y = 1,0070x + 0,2618$	0,96	↑↑
Körnerleguminosen	$y = -0,1069x + 0,7820$	0,01	↓↓

Anmerkungen:

- ↑↑ hohe Qualität der Korrelation
- ∅ mittlere Qualität der Korrelation
- ↓↓ geringe Qualität der Korrelation

Quelle: eigene Darstellung nach MAYER 1995, S. 92 ff.

Anhang-Tabelle 8: Anteil an der Ackerfläche der modellierten Kulturen in den unterschiedlichen Szenarien (korrigierter Mittelwert)

Kultur	Szenario					
	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW
Winterweizen	28,69	22,22	20,92	21,27	20,88	27,11
Wintergerste	7,12	9,64	7,31	8,77	9,25	7,23
Sommergerste	5,25	1,59	1,39	1,85	1,64	6,27
Winterroggen	0,55	0,83	0,60	0,77	0,74	1,02
Wintertriticale	1,89	1,61	1,14	1,42	1,33	2,28
Hafer	1,36	0,88	0,88	0,88	0,88	0,92
Getreide-GPS	0,22	0,60	5,30	3,17	2,05	0,15
Getreide	44,86	38,98	39,59	40,15	38,67	46,62
Körnermais	2,40	1,19	1,18	1,29	1,27	2,51
Silomais	18,78	27,36	26,96	26,53	27,38	17,42
Mais	21,76	28,98	28,55	28,23	29,06	20,55
Winterraps	20,22	20,16	20,19	20,12	20,42	21,00
Sonnenblumen	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Kartoffeln	1,93	1,91	1,86	1,91	1,90	1,93
Zuckerrüben	1,59	1,52	1,44	1,46	1,42	1,58
Ackerbohnen	0,07	0,17	0,10	0,19	0,16	0,21
Futtererbsen	0,58	0,47	0,40	0,54	0,44	0,56
Klee gras	1,10	0,38	0,50	0,18	0,31	0,14
KuP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Brache	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,13

Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Tabelle 9: Überblick über Tierzahlen, Nahrungsmittel-, Biogasproduktion, Arbeitsmarkt, Bodenrente und Treibhausgasinventar der einzelnen Szenarien/Szenarettten im Vergleich

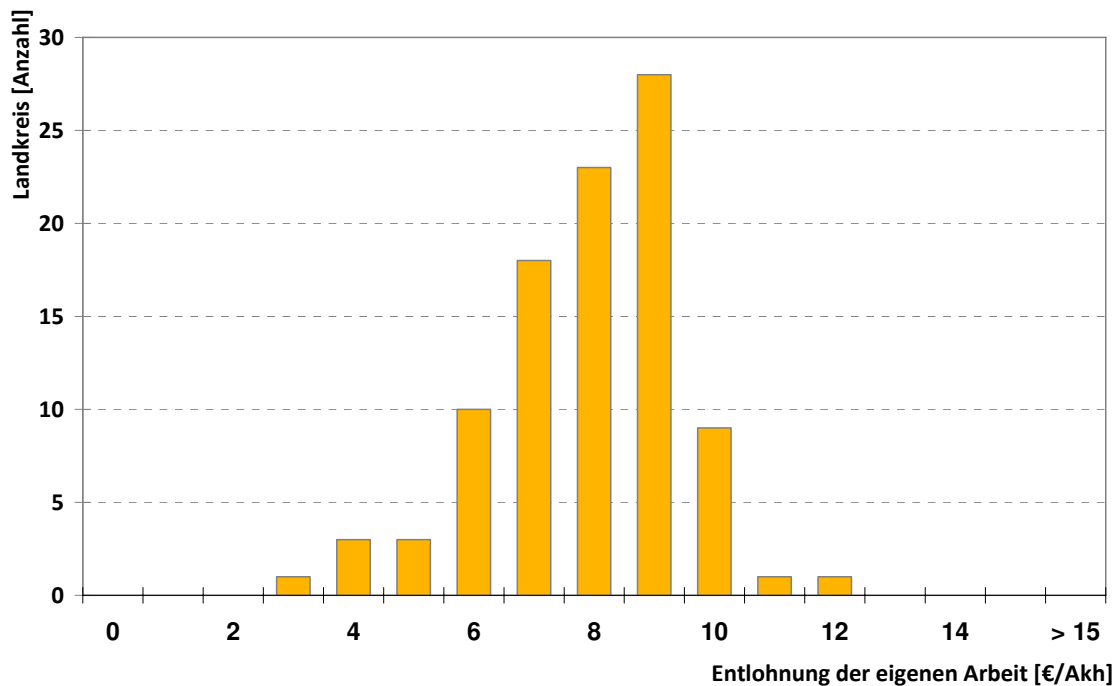
	Szenario					
	AS	BAU	EEG	EEG nMP	AP	AP kLW
Tierart						
Milchkühe [Anzahl in 1.000]	1.034	886	863	662	645	740
Rinder [Anzahl in 1.000]	2.987	2.557	2.494	1.938	1.893	2.155
Zuchtsauen [Anzahl in 1.000]	273	256	253	259	259	261
Mastschweine [Anzahl in 1.000]	2.009	1.886	1.848	1.903	1.892	1.919
Nahrungsmittel						
Milch [1.000 t]	6.997	6.102	5.924	4.491	4.430	4.974
Ausschöpfung Quote [%]	98	86	83	63	62	70
Fleisch [1.000 t]	921	835	818	761	752	792
Biogasproduktion						
Installierte Leistung [MW]	425	923	1.080	1.152	1.116	466
Steigerung um das ...-fache	1,0	2,2	2,5	2,7	2,6	1,1
Arbeitsmarkt und Bodenrente						
Arbeitskraftbedarf [1.000 AKE]	142	132	133	118	116	115
Ø Bodenrente [€/ha]	926	824	922	783	780	713
Treibhausgasinventar						
Emissionen Pflanzen- bau [Mio. t CO _{2eq}]	4,29	3,91	3,54	3,85	3,95	4,77
Emissionen Tier- haltung [Mio. t CO _{2eq}]	13,07	11,31	11,04	8,92	8,79	9,70
Emissionen Biogas [Mio. t CO _{2eq}]	-1,05	-2,22	-2,90	-3,10	-3,08	-1,31
Emissionen Gesamt [Mio. t CO _{2eq}]	16,31	13,01	11,68	9,67	9,66	13,16

Quelle: eigene Darstellung

10.2 Anhang-Abbildungen

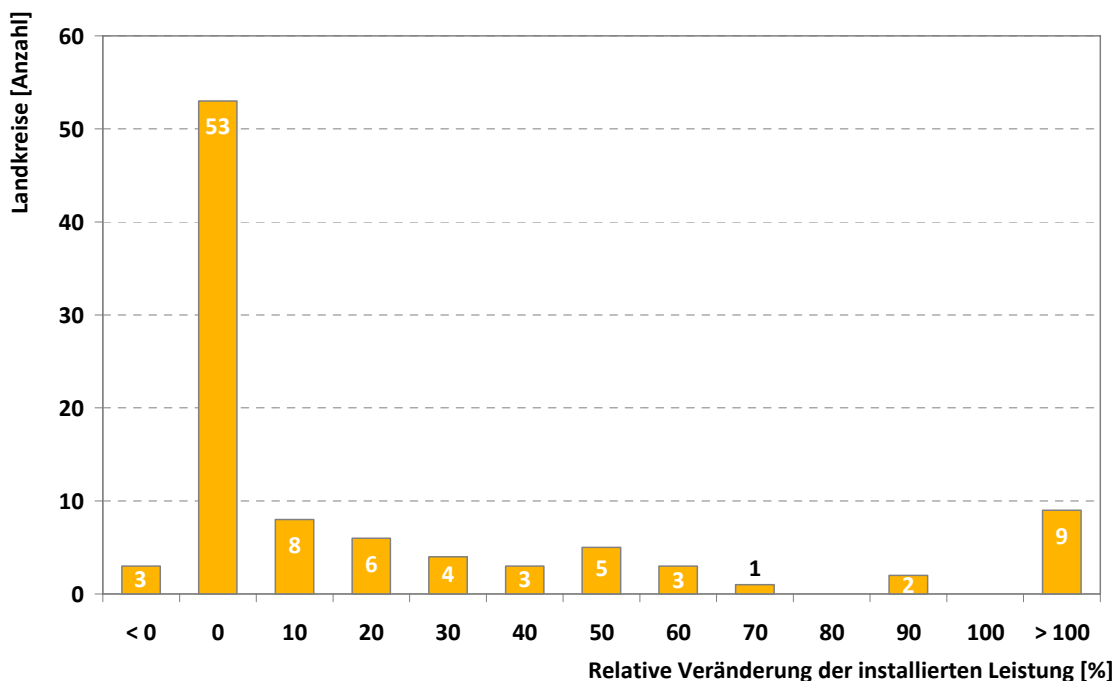
Anhang-Abbildung 1: Anzahl der Landkreis in den jeweiligen Entlohnungsklassen	182
Anhang-Abbildung 2: Anzahl der Landkreise in den Klassen der relativen Veränderung der installierten Leistung (Szenario „EEG“ im Vergleich zum Szenario „BAU“).....	182
Anhang-Abbildung 3: Ausschöpfung der Milchquote in Abhängigkeit vom Milchpreis (Szenario „AP“ vs. Szenarrette „klassische Landwirtschaft“)	183
Anhang-Abbildung 4: Anteil der Braugerste an der Ackerfläche in Abhängigkeit vom Erzeugerpreis und dem Vorhandensein einer Biogasproduktion unter den Rahmenbedingungen des Szenario „EEG“ im Jahr 2015.....	183

Anhang-Abbildung 1: Anzahl der Landkreis in den jeweiligen Entlohnungsklassen



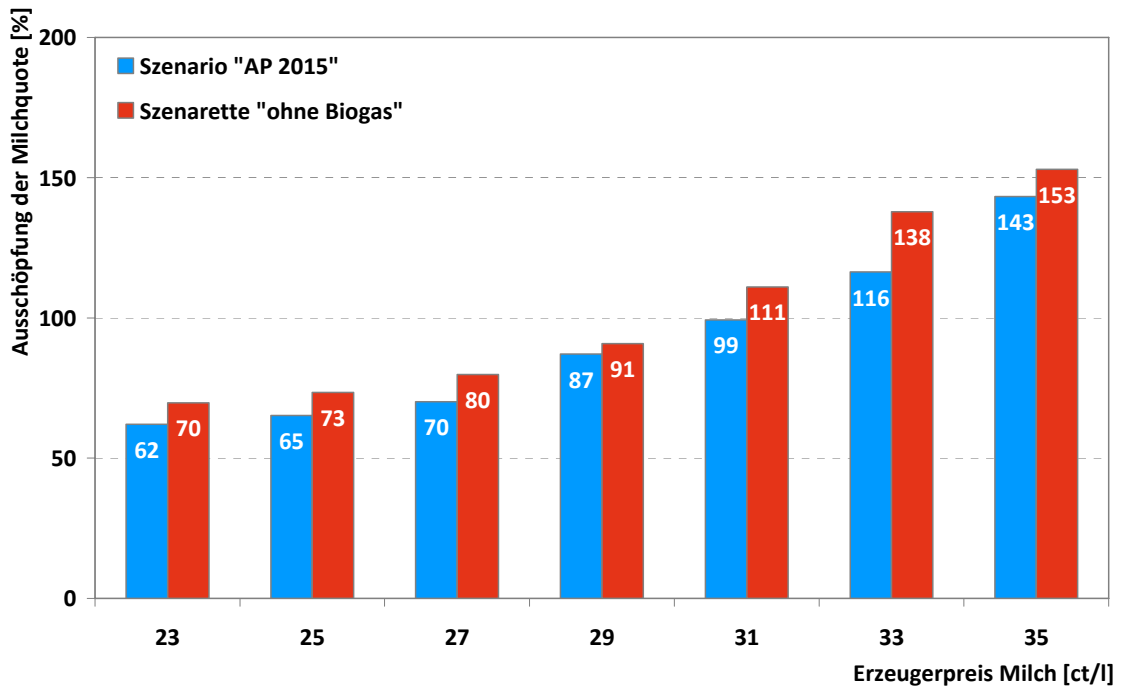
Quelle: eigene Berechnungen

Anhang-Abbildung 2: Anzahl der Landkreise in den Klassen der relativen Veränderung der installierten Leistung (Szenario „EEG“ im Vergleich zum Szenario „BAU“)



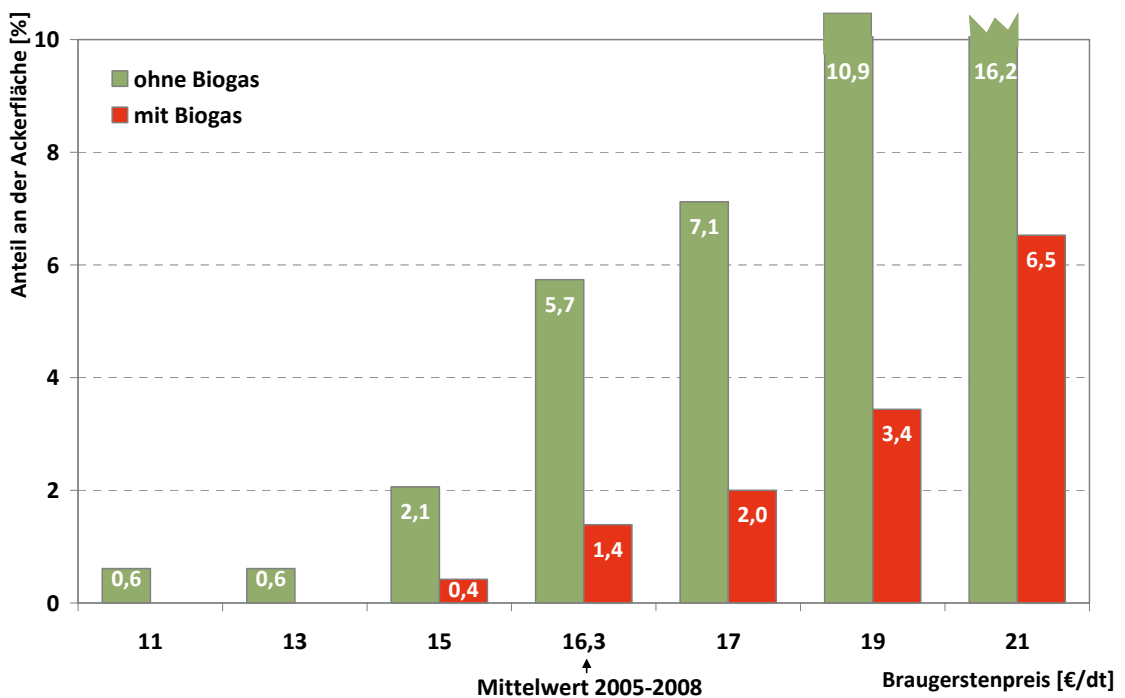
Quelle: eigene Berechnungen

Anhang-Abbildung 3: Ausschöpfung der Milchquote in Abhängigkeit vom Milchpreis (Szenario „AP“ vs. Szenarette „klassische Landwirtschaft“)



Quelle: eigene Berechnungen

Anhang-Abbildung 4: Anteil der Braugerste an der Ackerfläche in Abhängigkeit vom Erzeugerpreis und dem Vorhandensein einer Biogasproduktion unter den Rahmenbedingungen des Szenario „EEG“ im Jahr 2015



Anmerkungen:

ohne Biogas: keine Ausweitung der Biogasproduktion von 2009-2015

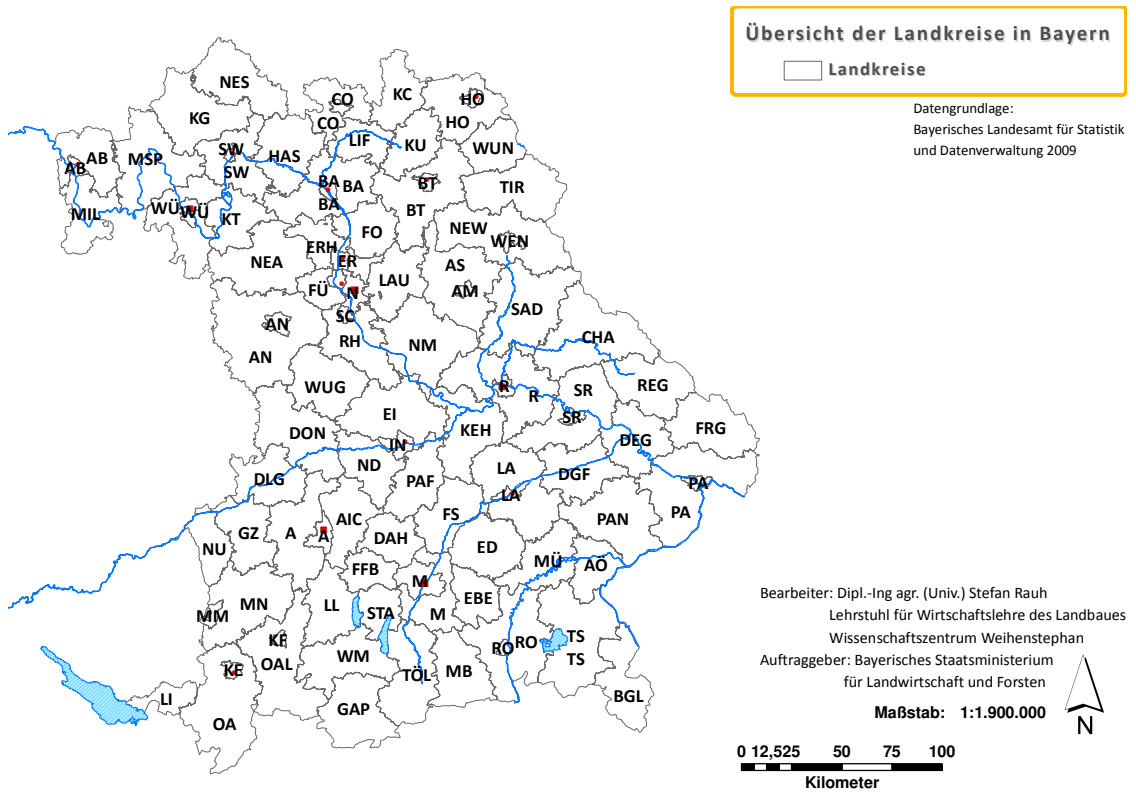
mit Biogas: Ausweitung der Biogasproduktion von 2009-2015 erlaubt

Quelle: eigene Berechnungen

10.3 Anhang-Karten

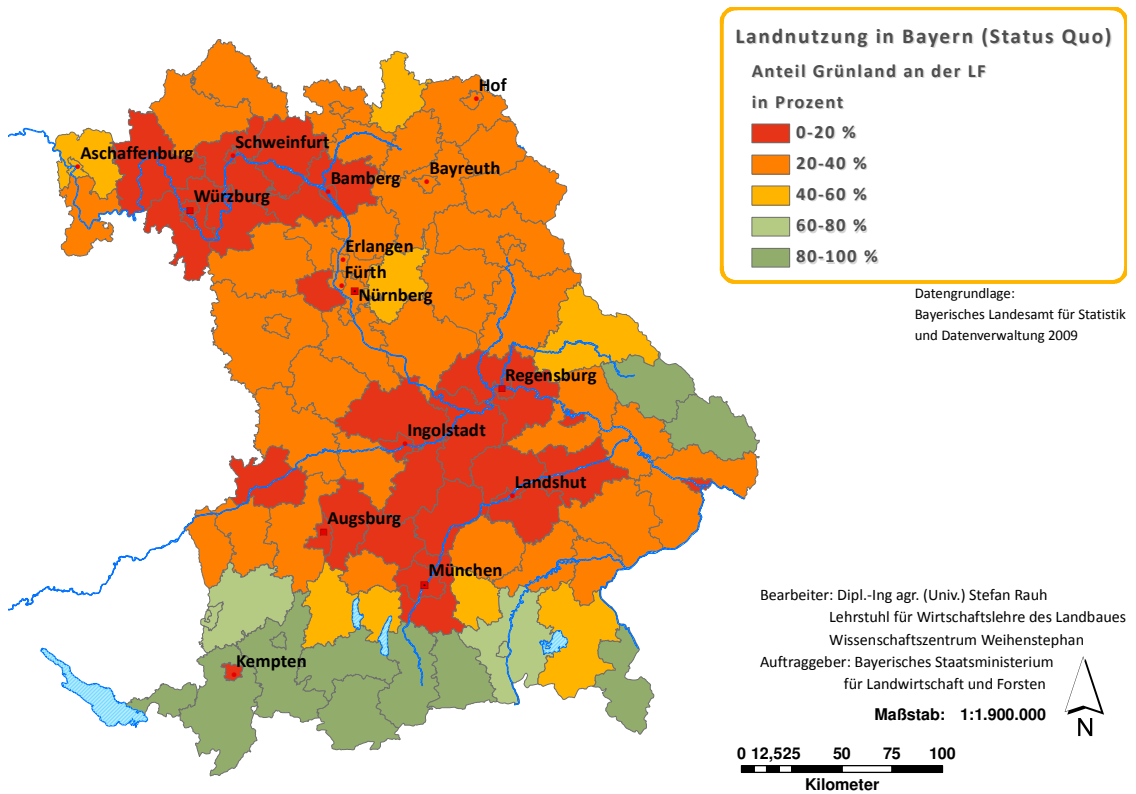
Anhang-Karte 1: Übersicht über die Landkreise	185
Anhang-Karte 2: Grünlandanteil an der LF (Stand 2007)	185
Anhang-Karte 3: Installierte Leistung der Biogasanlagen in Bayern	186
Anhang-Karte 4: Milchproduktion und Verarbeitung in Bayern	186
Anhang-Karte 5: Getreideanteil an der Ackerfläche (Status Quo)	187
Anhang-Karte 6: Getreideanteil an der Ackerfläche (Ausgangsszenario)	187
Anhang-Karte 7: Relative Abweichung des Getreideanteils im Modell LaNuOpt vom Status Quo	188
Anhang-Karte 8: Maisanteil an der Ackerfläche (Status Quo)	188
Anhang-Karte 9: Maisanteil an der Ackerfläche („AS“)	189
Anhang-Karte 10: Maisanteil an der Ackerfläche („BAU“)	189
Anhang-Karte 11: Rückgang des Arbeitskraftbedarfs in der Landwirtschaft im Szenario „EEG“ im Vergleich zum Ausgangsszenario	190
Anhang-Karte 12: Anteil der Brachflächen an der Ackerfläche („AP“)	190
Anhang-Karte 13: Rückgang des Arbeitskraftbedarfs in der Landwirtschaft im Szenario „EEG“ im Vergleich zum Ausgangsszenario	191

Anhang-Karte 1: Übersicht über die Landkreise



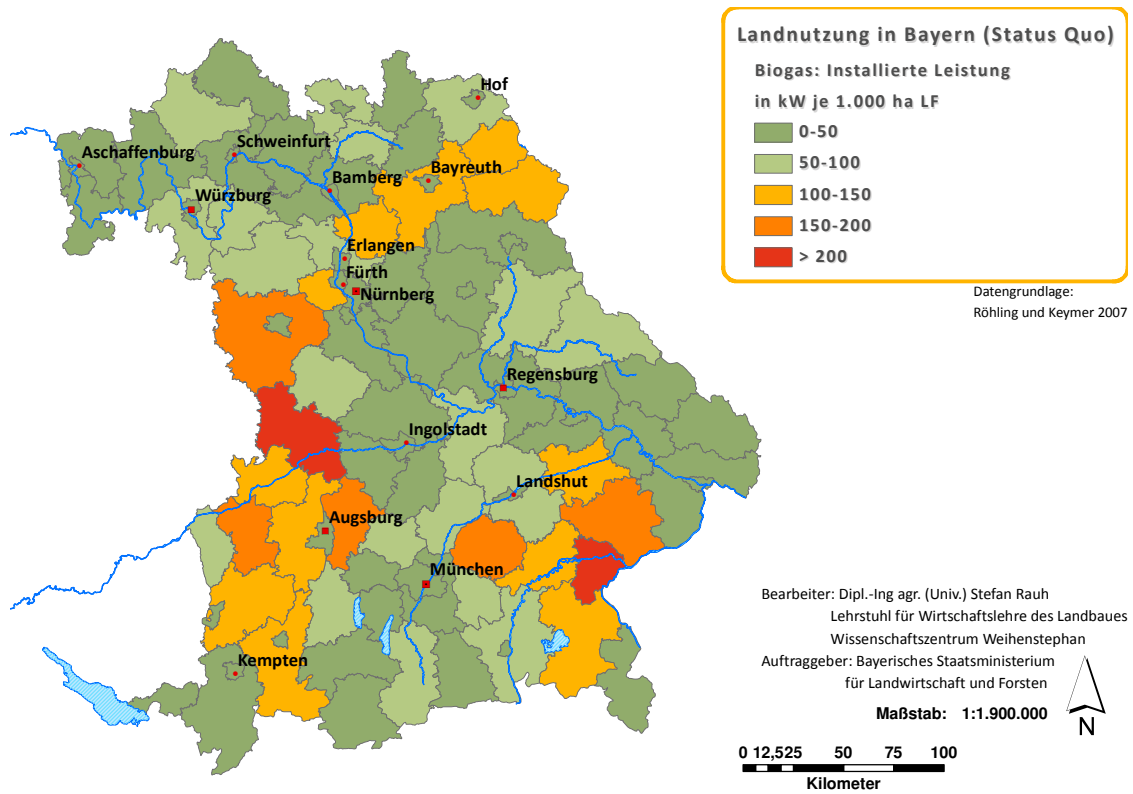
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 2: Grünlandanteil an der LF (Stand 2007)



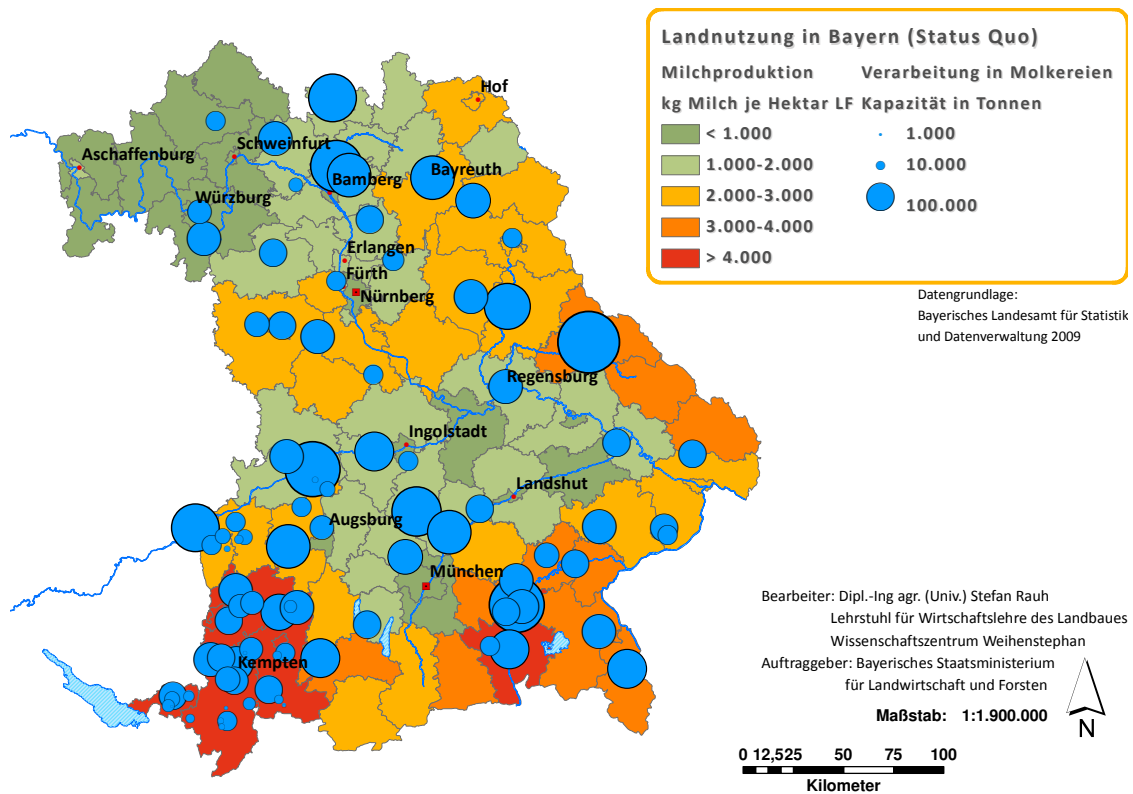
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 3: Installierte Leistung der Biogasanlagen in Bayern



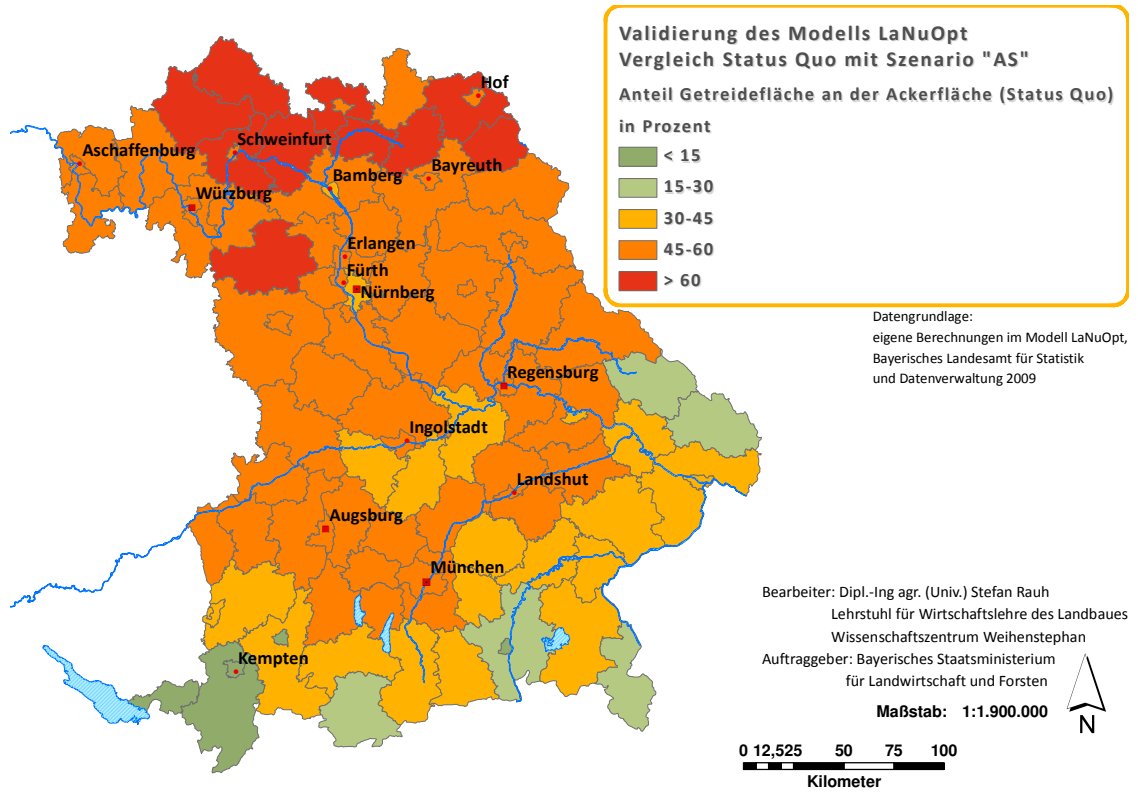
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 4: Milchproduktion und Verarbeitung in Bayern



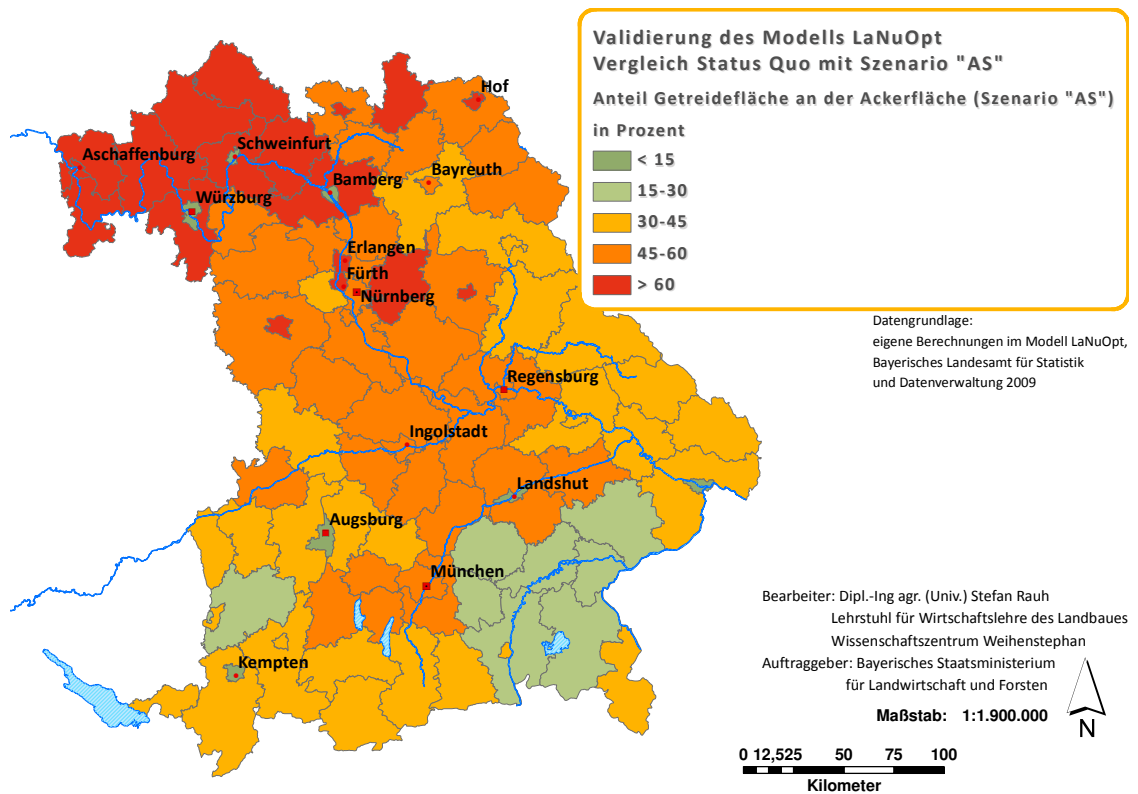
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 5: Getreideanteil an der Ackerfläche (Status Quo)



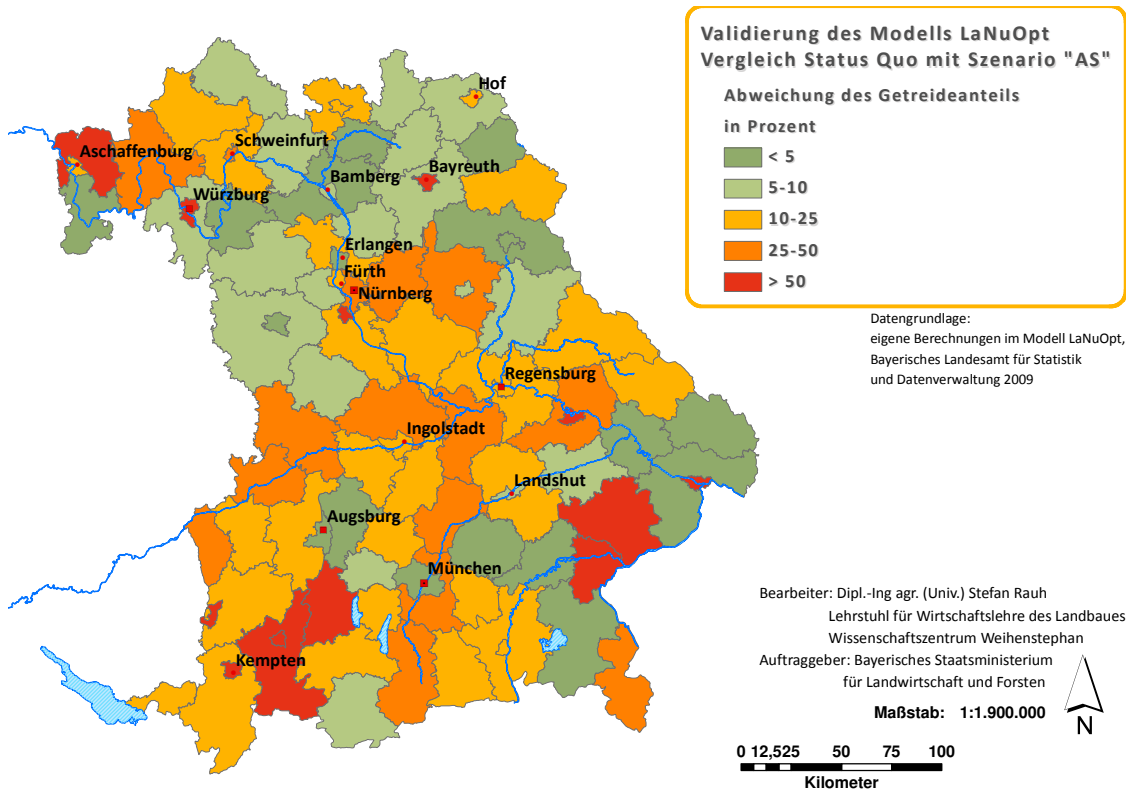
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 6: Getreideanteil an der Ackerfläche (Ausgangsszenario)



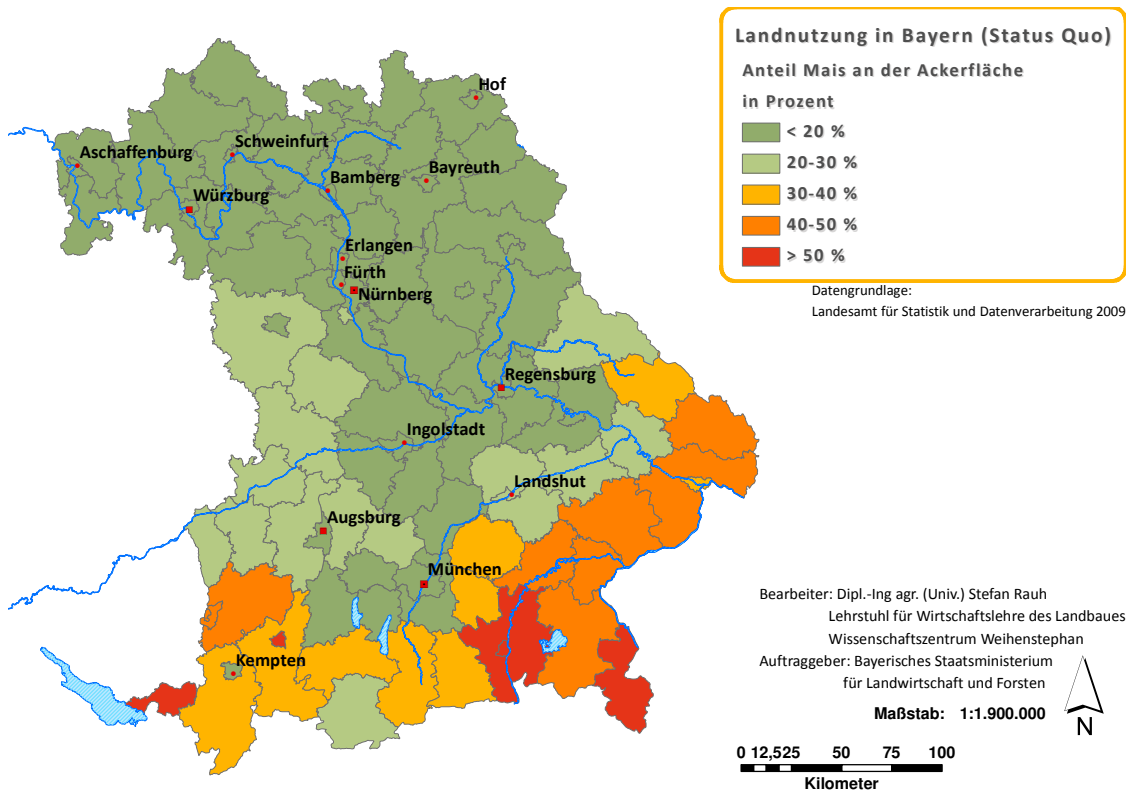
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 7: Relative Abweichung des Getreideanteils im Modell LaNuOpt vom Status Quo



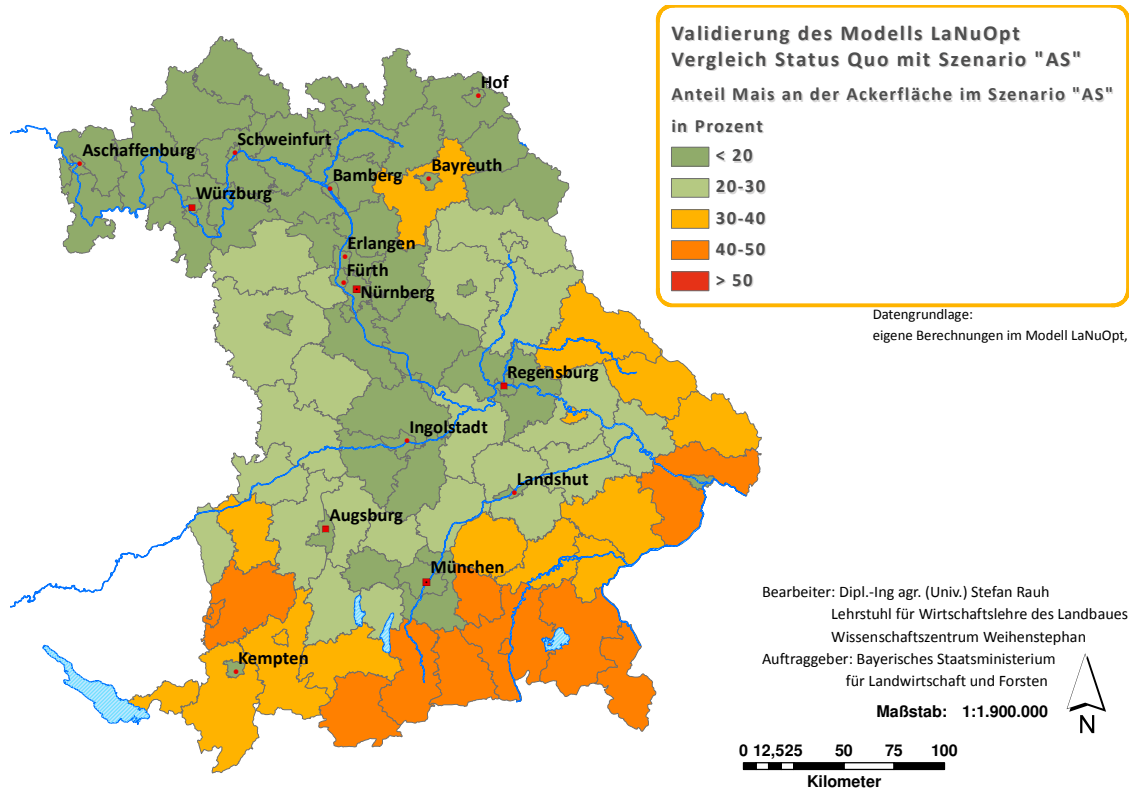
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 8: Maisanteil an der Ackerfläche (Status Quo)



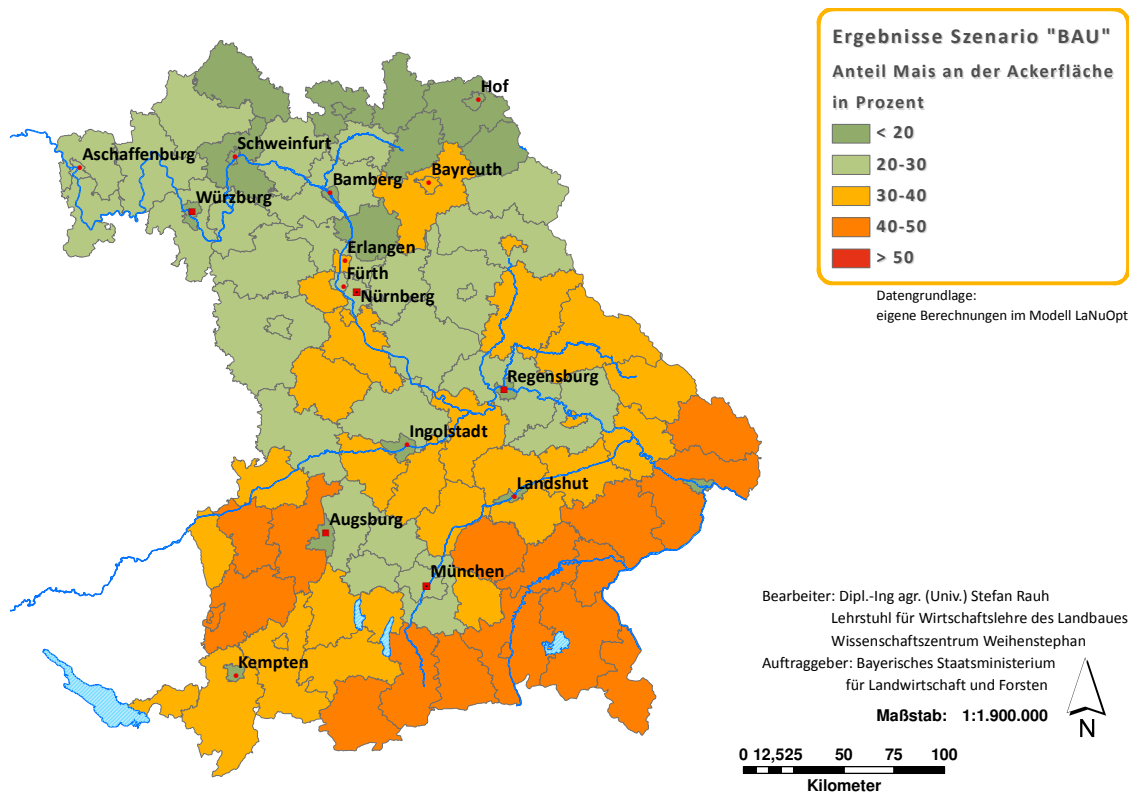
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 9: Maisanteil an der Ackerfläche („AS“)



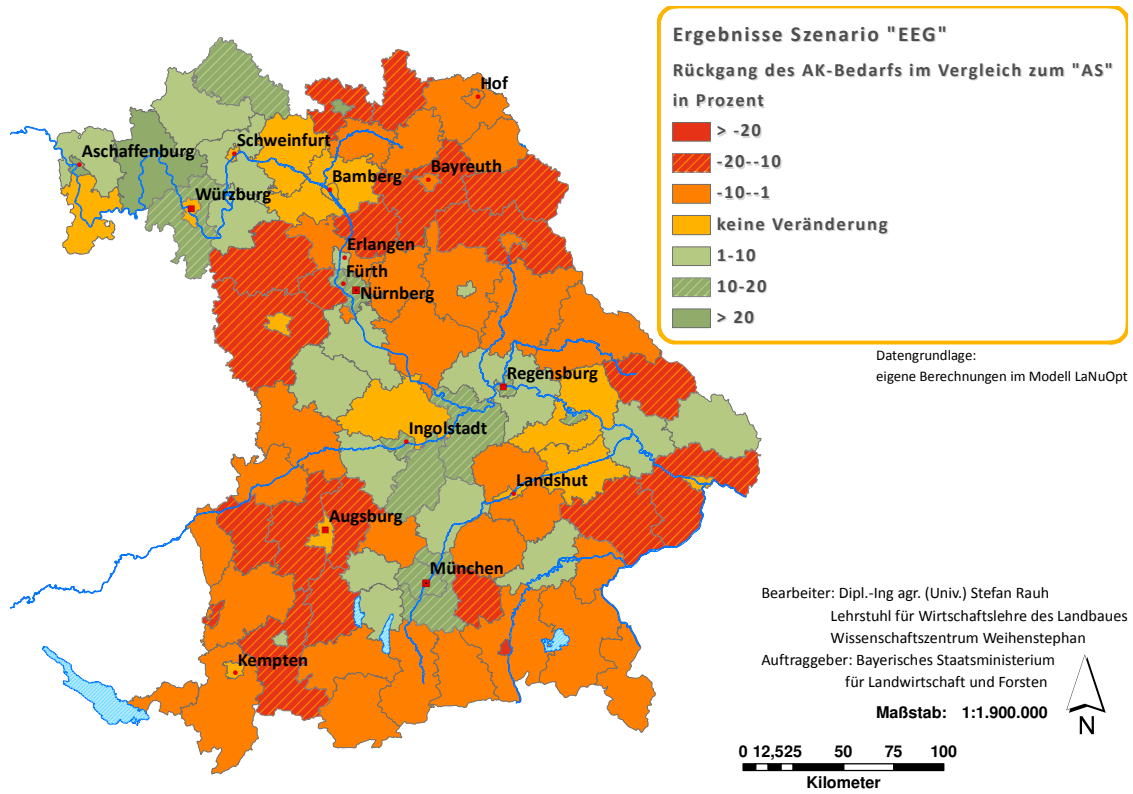
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 10: Maisanteil an der Ackerfläche („BAU“)



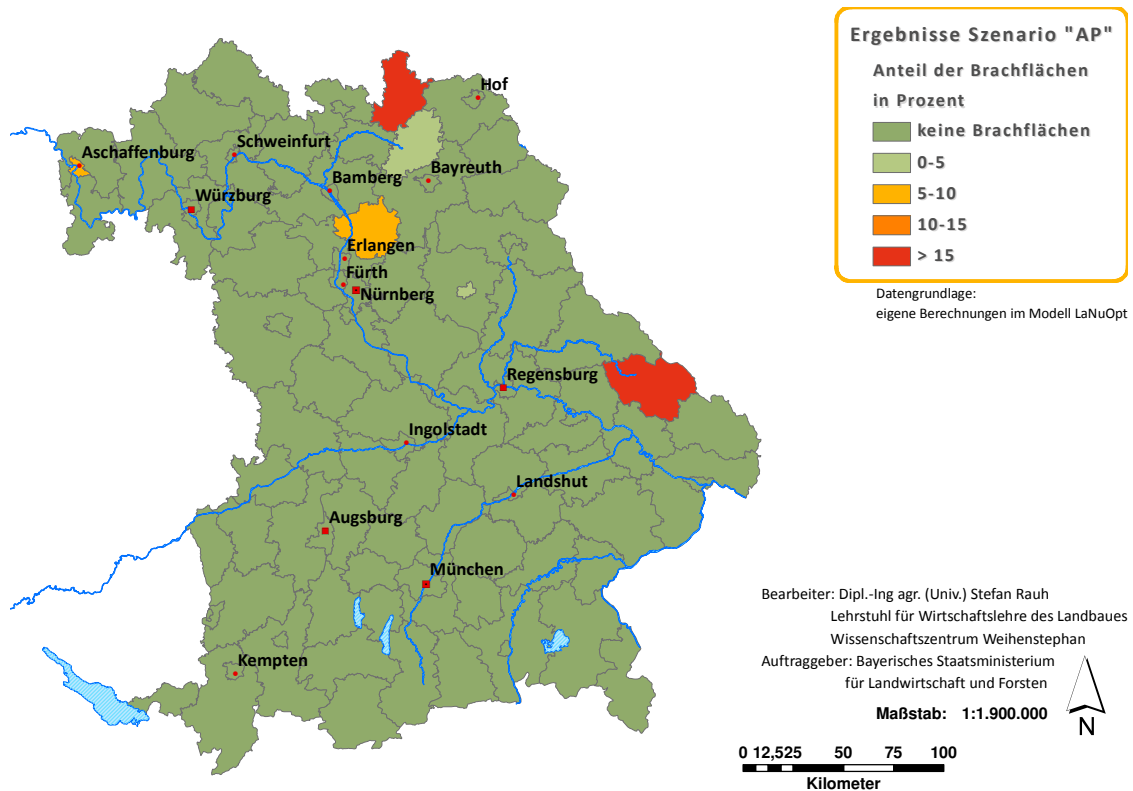
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 11: Rückgang des Arbeitskraftbedarfs in der Landwirtschaft im Szenario „EEG“ im Vergleich zum Ausgangsszenario



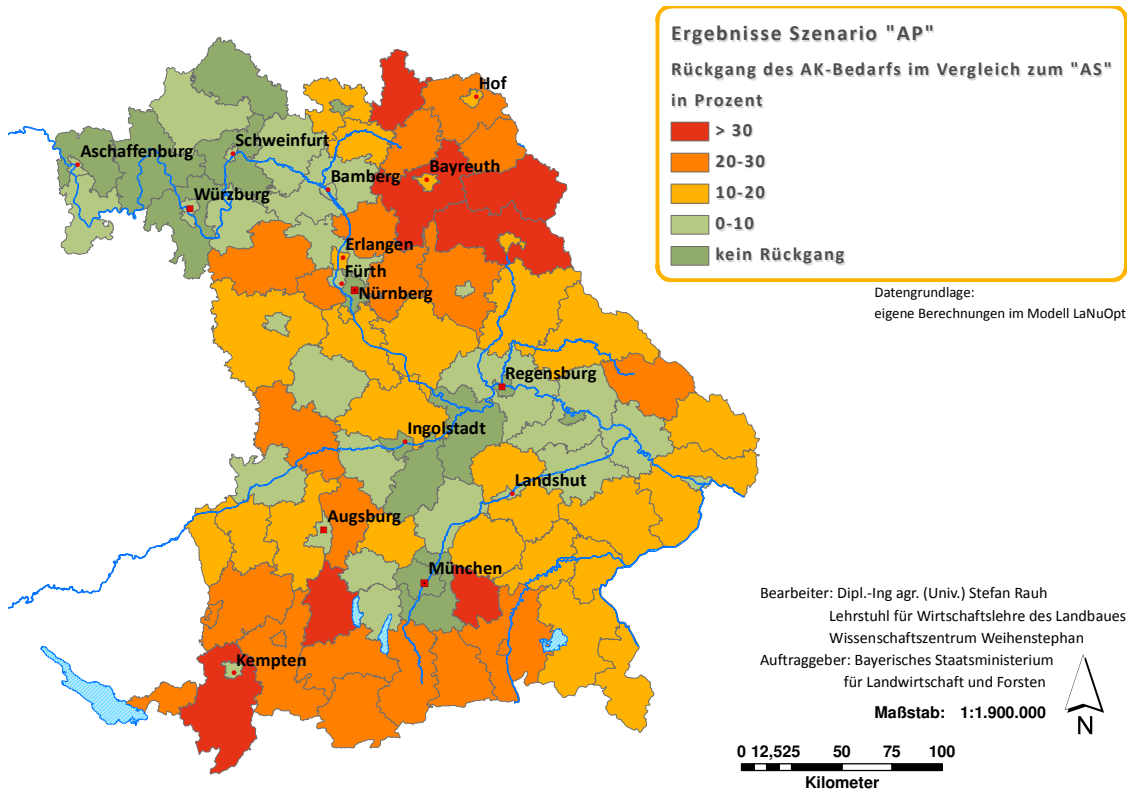
Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 12: Anteil der Brachflächen an der Ackerfläche („AP“)



Quelle: eigene Darstellung

Anhang-Karte 13: Rückgang des Arbeitskraftbedarfs in der Landwirtschaft im Szenario „EEG“ im Vergleich zum Ausgangsszenario



Quelle: eigene Darstellung



11 Literaturverzeichnis

- AGARWAL, C.; GREEN, G. M.; GROVE, J. M.; EVANS, T. P. und SCHWEIK, C. M. (2002): A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice; General Technical Report NE-297. United States Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Indiana University, Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental Change, Washington D. C.
- ALONSO, W. (1974): Location and Land Use - Toward a General Theory of Land Rent. Harvard University Press, 5. Auflage, Cambridge.
- ANGENENDT, E. (2003): Entwicklung eines ökologisch-ökonomischen Modells für extensive Futterbaubetriebe zur Abbildung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft und zur Bewertung von Vermeidungsstrategien. Sonderheft der Agrarwirtschaft 174, Hohenheim.
- ANGENENDT, E.; TRIEBE, S. und ZEDDIES, J. (2008): Der Beitrag erneuerbarer Energien zum Klimaschutz - eine ökonomisch-ökologische Analyse für die Landwirtschaft von Niedersachsen. In: HEIBENHUBER, A.; KIRNER, L.; PÖCHTRAGER, S.; SALHOFER, K.: Agrar- und Ernährungswirtschaft im Umbruch, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 43, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Weihenstephan, S. 463-472.
- AUERSWALD, K. (2009): Faktoren der ABAG auf Landkreisebene. Mitarbeiter am Lehrstuhl für Grünlandlehre in Weihenstephan, persönliche Mitteilung, 13.03.2009.
- AUERSWALD, K. und SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. GLA-Fachberichte 1 S. 1-74.
- BACHMEIER, H.; BAYER, K.; GRONAUER, A.; FRIEDL, G.; RAUH, S. und PAHL, H. (2009): Treibhausgasemissionen der Energieproduktion aus Biogas. Biogas Forum Bayern, Nr. V - 3/2009, Freising.

- BACHMEIER, H.; EFFENBERGER, M.; LEHNER, A. und GRONAUER, A. (2008): Klimabilanz von Praxis-Biogasanlagen. In: KTBL: Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger, Darmstadt, S. 194-200.
- BALMANN, A. (1996): Druck, Sog und die Einkommenssituation in der westdeutschen Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft 74 (4), S. 497-513.
- BALMANN, A.; LOTZE, H. und NOLEPPA, S. (1998a): Agrarsektormodellierung auf der Basis "typischer Betriebe" - Teil 1: Eine Modellkonzeption für die neuen Bundesländer. Agrarwirtschaft 47 (5), S. 222-230.
- BALMANN, A.; LOTZE, H. und NOLEPPA, S. (1998b): Agrarsektormodellierung auf der Basis "typischer Betriebe" - Teil 2: Auswirkungen der "Agenda 2000" auf die Landwirtschaft in den neuen Bundesländern. Agrarwirtschaft 47 (6), S. 251-258.
- BANSE, M. und SORDA, G. (2009): Impact of different biofuel policy options on agricultural production and land use in Germany. In: MÜLLER, R.A.E.; LOY, J.-P.: Agrar- und Ernährungsmärkte nach dem Boom, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 45, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Kiel, S. im Druck.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERWALTUNG (2009): GENESIS-Online Statistisches Informationssystem Bayern: <https://www.statistikdaten.bayern.de> (Abrufdatum: 17.01.2009).
- BBV - Bayerischer Bauernverband (Hrsg.) (2008): Agrarmärkte in Bayern - Jahresbericht 2007. München.
- BDF - Bundesverband Deutscher Fleischrinderzüchter und -halter e.V. (Hrsg.) (versch. Jahrgänge): Jahresbericht. Bonn.
- BERENZ, S. (2008): Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Biogaserzeugung aus Biomasse. In: KTBL: Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger, Darmstadt, S. 201-210.
- BERENZ, S. (2009): Die Ableitung eines optimierten Biomasse-Mix. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan (unveröffentlichtes Manuskript).
- BGBL - Bundesgesetzblatt Teil 1 (2004): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) vom 21.07.2004, S. 1918.
- BGBL - Bundesgesetzblatt Teil 1 (2006a): Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromrechtlicher Vorschriften (BioKraftQuG) vom 18.12.06, S. 3180.
- BGBL - Bundesgesetzblatt Teil 1 (2006b): Gesetz zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes (EnergieStG) vom 15.07.06, S. 1534.
- BGBL - Bundesgesetzblatt Teil 1 (2008): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften vom 31.10.2008, S. 2074.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) (2008): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2007. Hannover.
- BILL, R. und FRITSCH, D. (1994): Grundlagen der Geoinformationssysteme - Band 1: Hardware, Software und Daten. Herbert Wichmann Verlag GmbH, 2. Auflage, Heidelberg.

- BMELV - Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2006): Die EU-Agrarreform - Umsetzung in Deutschland Ausgabe 2006. Bonifatius GmbH, Berlin.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2006): Erneuerbare Energien - Innovationen für die Zukunft. Berlin.
- BOHNENKEMPER, O.; CHUDASKE, C.; LÜPPING, W.; RUTZMOSE, K.; SCHENKEL, H.; SOMMER, W.; SPIEKERS, H.; STALLJOHANN, H. und STAUDACHER, W. (2005): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M.
- BOUWMAN, A. (1996): Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 46 S. 53-70.
- BRANDES, W. (1985): Über die Grenzen der Schreibtisch-Ökonomie. J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen.
- BRANDES, W. und WOERMANN, E. (1971): Landwirtschaftliche Betriebslehre - Band 2: Spezieller Teil, Organisation und Führung landwirtschaftlicher Betriebe. Verlag Paul Parey, Berlin.
- BREUER, T. (2007): Potenziale der Bioenergieerzeugung in der Region. Bioenergie: Chancen für den Ländlichen Raum, 28.04.2007, Prüm.
- BRUNSCH, R.; KRAATZ, S.; BERG, W. und RUS, C.-G. (2008): Treibhausgasemissionen in der Futtererzeugung. Moderne Tierernährung - sicher, effizient und klimaschonend, Braunschweig.
- CARMEN - Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (2007a): Preisindex für Bioethanol (E 85). <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm> (Abrufdatum: 06.09.07).
- CARMEN - Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (2007b): Preisindex für Rapsöl. <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm> (Abrufdatum: 06.09.07).
- CARMEN - Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (2008): Preisindex für Waldhackgut. <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm> (Abrufdatum: 03.11.08).
- CYPRIS, C. (2000): Positive Mathematische Programmierung (PMP) im Agrarsektormodell RAUMIS. Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V., Bonn.
- DABBERT, S. und BRAUN, J. (2006): Landwirtschaftliche Betriebslehre. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- DABBERT, S.; HERRMANN, S.; KAULE, G. und MÖVIUS, R. (1999a): Das GIS als Instrument interdisziplinärer Landschaftsmodellierung. In: BERG, E.; HENRICHSMEYER, W.; SCHIEFER, G.: Agrarwirtschaft in der Informationsgesellschaft, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 35, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Bonn, S. 175-182.
- DABBERT, S.; HERRMANN, S.; KAULE, G. und SOMMER, M. (1999b): Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung. Springer Verlag, Berlin.

- DÄMMGEN, U. (2009a): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007. vTI Sonderheft 324 S. 1-410.
- DÄMMGEN, U. (2009b): Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007 Tabellen. vTI Sonderheft 324 A S. 1-402.
- DIXIT, A. (1992): Investment and Hysteresis. *Journal of Economic Perspectives* 6 (1), S. 107-132.
- DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (Hrsg.) (2004): Die neue Betriebszweigabrechnung. DLG-Verlags-GmbH, 2. vollständig überarbeitete Neuauflage, Frankfurt am Main.
- DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (Hrsg.) (2005): Bilanzierung der Nährstoffausscheidung von Nutztieren. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/M.
- DÖHLER, H. (2009): Klimagasbilanzen und CO₂-Minderungskosten bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen. vTI-Fachtagung: Aktiver Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel - Beiträge der Agrar- und Forstwirtschaft, Braunschweig.
- DÖHLER, H. und DÄMMGEN, U. (2008): Forschungsbedarf zur Emissionsminderung klimarelevanter Gase im Ökolandbau. In: KTBL: Klimawandel und Ökolandbau - Situation, Anpassungsstrategien und Forschungsbedarf, Darmstadt, S. 198-207.
- DÖHLER, H.; DÄMMGEN, U.; EURICH-MENDEN, B.; HAENEL, H.-D. und LÜTTICH, M. (2008): Klimarelevante Emissionen in der deutschen Landwirtschaft unter Berücksichtigung des Bioenergieträgers Biogas. In: KTBL: Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger, Darmstadt, S. 172-183.
- DUNN, E.S. (1954): *The Location of Agricultural Production*. Gainesville.
- ECOINVENT - Swiss Centre for Life Cycle Inventories (2004): *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems Data v.1.1* Zürich.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) (2000): *Handbuch zur Landwirtschaftlichen und Forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung (LGR/FGR 97 Rev. 1.1)*. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) (2005): *Aktionsplan für Biomasse*. Brüssel.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2008): *Gesundheitscheck der Gemeinsamen Agrarpolitik*. http://ec.europa.eu/agriculture/healthcheck/index_de.htm (Abrufdatum: 10.12.2008).
- FLACHOWSKY, G. (2008): Methanemissionen aus der Tierproduktion, Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung und Betrachtungen zu Ökobilanzen. Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammer e.V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), 22./23.04.2008, Würzburg.
- FNR - Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.) (2005a): *Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung*. Gülzow.
- FNR - Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.) (2005b): *Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*. Gülzow.
- FREYER, B. (2003): *Fruchtfolgen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- FRIEDL, G. (2009): *Ökonomische und ökologische Analyse von Biogasanlagen - anhand von ausgewählten Fallbeispielen in der EU*. Master Thesis, TU München, Freising-Weihenstephan.

- GEOINFORMATIK GMBH (Hrsg.) (2005): ArcGIS 9 das Buch für Einsteiger. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- GOLDBRUNNER, S. (2009): Marketingempfehlungen für auf Grünland erzeugte Produkte in der Region 18 (Südostoberbayern). Master Thesis, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- GÖMANN, H.; KREINS, P. und BREUER, T. (2007): Deutschland - Energie-Corn-Belt Europas? Agrarwirtschaft 56 (5/6), S. 263-271.
- GÖMANN, H.; KREINS, P. und BREUER, T. (2008): Einfluss steigender Weltagrarpreise auf die Wettbewerbsfähigkeit des Energiemaisanbaus in Deutschland. In: HEIBENHUBER, A.; KIRNER, L.; PÖCHTRAGER, S.; SALHOFER, K.: Agrar- und Ernährungswirtschaft im Umbruch, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 43, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Weihenstephan, S. 517-527.
- GÖMANN, H.; KREINS, P. und RICHMANN, A. (2009): Consequences from the German Renewable Energy Act for Grassland. 8th International Conference of the European Society for Ecological Economics, 29.06.-02.07.2009, Ljubljana.
- HÄGERSTRAND, T. (1968): Innovation Diffusion as a Spatial Process. University of Chicago Press, Chicago.
- HAMILTON, S. A.; MCCARL, B. A. und ADAMS, R. M. (1985): The Effect of Aggregate Response Assumptions on Environmental Impact Analyses. American Journal of Agricultural Economics 67 S. 407-413.
- HAPPE, K. und BALMANN, A. (2002): AgriPolis – Ein agentenbasiertes Modell zur Wirkungsanalyse agrarpolitischer Maßnahmen. In: WILD, K.; MÜLLER, R.-A.-E.; BIRKNER, U.: Referate der 23. GIL-Jahrestagung in Dresden 2002, 15, Dresden, S. 80-83.
- HAPPE, K. und SAHRBACHER, C. (2005): Entwicklung der Agrarstruktur in Sachsen unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen. In: SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 3, Dresden, S. 167-195.
- HAZELL, P. und NORTON, R. (1986): Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. Macmillan Publishing Company, New York.
- HIRSCHFELD, J.; WEIß, J.; PREIDL, M. und KORBUN, T. (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Schriftenreihe des IÖW 186/08, Berlin.
- HOFER, D. (2008): Literaturanalyse zu Landnutzungsmodellen im deutschsprachigen Raum. Bachelor Thesis, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- IFW - Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel (2009): Narola. <http://www.narola.ifw-kiel.de/> (Abrufdatum: 24.09.2009).
- IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers. Paris.

- ISERMEYER, F. (2007): Zukunft der Milchquotenregelung – wie sind die verschiedenen Politikoptionen zu beurteilen? Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- JUNGKUNST, H. F.; FREIBAUER, A.; NEUFELDT, H. und BARETH, G. (2006): Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany - a synthesis of available annual field data. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169 (3), S. 341-351.
- KÄCHELE, H. und ZANDER, P. (1999): Der Einsatz des Entscheidungshilfesystems MODAM zur Reduzierung von Konflikten zwischen Naturschutz und Landwirtschaft am Beispiel des Nationalparks "Unteres Odertal". In: BERG, E.; HENRICHSMeyer, W.; SCHIEFER, G.: *Agrarwirtschaft in der Informationsgesellschaft, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 35, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Bonn, S. 191-198.*
- KALTSCHMITT, M. und REINHARDT, G. (Hrsg.) (1997): *Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung.* Vieweg Verlagsgruppe, Wiesbaden.
- KALTSCHMITT, M.; STREICHER, W. und WIESE, A. (Hrsg.) (2009): *Erneuerbare Energien Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte.* Springer-Verlag, 4. Auflage, Berlin.
- KÄMPF, R. (1987): *Fruchtfolge aktuell.* DLG-Verlags-GmbH, 6. völlig überarbeitete Auflage, Frankfurt am Main.
- KILIAN, S.; RÖDER, N. und ZIRNBAUER, M. (2008): Öffentliche Zahlungen in Bayern. Mitarbeiter des Lehrstuhls für Volkswirtschaftslehre - Umweltökonomie und Agrarpolitik in Weihenstephan, persönliche Mitteilung, 18.11.2008.
- KIRCHGESSNER, M. (2000): *Tierernährung - Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis.* Verlagsunion Agrar, 10. neu bearbeitete Auflage, Frankfurt/M.
- KÖHNE, M. (2005): *Forschung und Lehre in der landwirtschaftlichen Betriebslehre - Rückblick und Ausblick -.* *Agrarwirtschaft* 54 (5), S. 241-243.
- KOOMEN, E. und STILLWELL, J. (2007): *Modelling land-use change.* In: KOOMEN, E.; STILLWELL, J.; BAKEMA, A.; SCHOLTEN, H. J.: *Modelling Land-Use Change - Progress and applications,* Springer Verlag, Dordrecht, S. 1-21.
- KOPETZ, H. (2006): *Auswege aus der Energiefalle - Überlegungen zur Optimierung des Beitrages der Bioenergie.* In: OSTBAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E. V.: 15. Symposium Bioenergie 23./24. November 2006, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e. V. (OTTI), Regensburg, S. 130-137.
- KREINS, P. (2009): *Ergebnisse des Modells RAUMIS in Bezug auf die Biogasproduktion.* Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Johann Heinrich von Thünen-Institut (Institut für Ländliche Räume), persönliche Mitteilung, 25.09.2009.
- KRETSCHMER, B.; PETERSON, S. und IGNACIUK, A. (2009): *Integrating biofuels into the DART model: Analysing the effects of the EU 10% biofuel target.* In: MÜLLER, R.A.E.; LOY, J.-P.: *Agrar- und Ernährungsmärkte nach dem Boom,* Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 45, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Kiel, S. im Druck.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2005): *Faustzahlen für die Landwirtschaft.* 13. Auflage, Darmstadt.

- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2006a): Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07. 20. Auflage, Darmstadt.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2006b): Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Darmstadt.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (2007a): Baukost 2.2 Darmstadt.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2007b): Faustzahlen Biogas. Darmstadt.
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (2008): Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas. <http://daten.ktbl.de/biogas/> (Abrufdatum: 18.03.2008).
- KUHLMANN, F. (2007): Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft. DLG-Verlags-GmbH, 3. Auflage, Frankfurt a. M.
- KUHLMANN, F.; MOLLER, D. und WEINMANN, B. (2002): Modellierung der Landnutzung - Regionshöfe oder Raster-Landschaft? - Berichte über Landwirtschaft 80 (3), S. 351-392.
- LAMBIN, E. F.; ROUNSEVELL, M. D. A. und GEIST, H. J. (2000): Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? Agriculture, Ecosystems & Environment 82 S. 321-331.
- LAREK, E. (2004): Lineare Systeme in der Wirtschaft. Peter Lang, 3. überarbeitete Auflage, Frankfurt a. M.
- LATACZ-LOHMANN, U.; RECKE, G. und WOLFF, H. (2001): Die Wettbewerbsfähigkeit des ökologischen Landbaus: Eine Analyse mit dem Konzept der Pfadabhängigkeit. Agrarwirtschaft 50 (7), S. 433-438.
- LENK, FABIAN; BROERING, STEFANIE; HERZOG, PHILIPP und LEKER, JENS (2007): On the usage of agricultural raw materials - energy or food? An assessment from an economics perspective. Biotechnology Journal 2 (12), S. 1497-1504.
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2006): Materialsammlung Futterwirtschaft - Daten, Fakten und Berechnungsgrundlagen zu den Kosten der Grundfuttererzeugung und der Futterwirtschaft. 4. Auflage, Freising.
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2007a): Futterberechnung für Schweine. 15. Auflage, Freising.
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2007b): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Mastrinder, Schafe, Ziegen. 28. Auflage, Freising.
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2007c): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. 8. Auflage, Freising.
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2008): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. <http://www.lfl.bayern.de/ilb/db/14249/index.php> (Abrufdatum: 09.01.2008).
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2009): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. <http://www.lfl.bayern.de/ilb/db/14249/index.php> (Abrufdatum: 29.01.2009).
- LFL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (versch. Jahrgänge): Buchführungsergebnisse des Wirtschaftsjahres 200X/200Y. Freising-Weihenstephan.

- LFU - Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2007): Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Augsburg.
- MAJER, S. und DANIEL, J. (2008): Einfluss des Gülleanteils, der Wärmeauskopplung und der Gärrestlagerabdeckung auf die Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen. In: KTBL: Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger, Darmstadt, S. 201-210.
- MAYER, H. (1995): Beschreibende Statistik. Carl Hanser Verlag, 3. überarbeitete Auflage, München.
- MCCARL, B. A. und APLAND, J. (1986): Validation of Linear Programming Models. Southern Journal of Agricultural Economics 18 (2), S. 155-164.
- MEA - Millennium Ecosystem Assessment (Hrsg.) (2005): Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2. Island Press, Washington, D.C.
- MEADOWS, D.; MEADOWS, D.; ZAHN, E. und MILLING, P. (1972): Die Grenzen des Wachstums - Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart.
- MILLER, J. - (2007): Nahrung und Energie aus der Landwirtschaft – Widerspruch oder Synergie?“. http://www.stmelf.bayern.de/reden/2007/linkurl_0_7.pdf (Abrufdatum: 25.09.2009).
- MÖLLER, D.; WEINMANN, B.; KIRSCHNER, M. und KUHLMANN, F. (1999): GIS-basierte Simulation regionaler Landnutzungsprogramme. In: BERG, E.; HENRICHSMeyer, W.; SCHIEFER, G.: Agrarwirtschaft in der Informationsgesellschaft, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 35, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Bonn, S. 183-190.
- MUSSHOFF, O. und HIRSCHAUER, N. (2008): Adoption of organic farming in Germany and Austria: an integrative dynamic investment perspective. Agricultural Economics 39 (1), S. 135-145.
- MWV - Mineralölwirtschaftsverband e. V. (2009): Preisstatistiken. <http://www.mwv.de/cms> (Abrufdatum: 11.02.2009).
- N. N. (2007): Wirtschaftszahlen. Agrarwirtschaft 56 (5/6), S. 289-292.
- N. N. (versch. Jahrgänge): Märkte und Preise. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt
- NEMECEK, T.; HEIL, A.; HUGUENIN, O.; MEIER, S.; ERZINGER, S.; BLASER, S.; DUX, D. und ZIMMERMANN, A. (2004): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Agroscope FAL Reckenholz und FAT Taenikon, Dübendorf.
- NITSCH, H. und OSTERBURG, B. (2007): Umsetzung von Cross-Compliance in verschiedenen EU-Mitgliedstaaten. FAL - Institut für ländliche Räume, Braunschweig.
- NUSSER, M.; SHERIDAN, P.; WALZ, R.; WYDRA, S. und SEYDEL, P. (2007): Makroökonomische Effekte von nachwachsenden Rohstoffen. Agrarwirtschaft 56 (5/6), S. 238-248.
- ODENING, M. und BALMANN, A. (1997): Probleme einer Politikoptimierung - Konsequenzen für die Konstruktion von Agrarsektormodellen. In: BAUER, S.; HERRMANN, R.; KUHLMANN, F.: Märkte der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 33, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Gießen, S. 371-382.

- OSTERBURG, B.; NIEBERG, H.; RÜTER, S.; ISERMAYER, F.; HAENEL, H.-D.; HAHNE, J.; KRENTLER, J.-G.; PAULSEN, H.-M.; SCHUCHARDT, F.; SCHWEINLE, J. und WEILAND, P. (2009): Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors. von Thünen-Institut, Braunschweig.
- PATYK, A. und REINHARDT, G. (1997): Düngemittel - Energie- und Stoffstrombilanzen. Vieweg, Braunschweig.
- PETER, S.; WEBER, M. und LEHMANN, B. (2008): Wirkungen der Produktion von Erdölsubstituten aus Biomasse auf den Agrarsektor in der Schweiz. InfoAgrarWirtschaft 2008 (1), S. 1-88.
- PRUSCHA (2006): Statistisches Methodenbuch. Springer-Verlag, Heidelberg.
- RAUH, S. und HEIßENHUBER, A. (2009): Nahrung vs. Energie – Analyse der Konkurrenzbeziehungen. In: BERG, E.; HARTMANN, M.; HECKELEI, T.; HOLM-MÜLLER, K.; SCHIEFER, G.: Risiken in der Agrar- und Ernährungswirtschaft und ihre Bewältigung, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 44, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Bonn, S. 409-421.
- REISCH, E. (1962): Die lineare Programmierung in der landwirtschaftlichen Betriebswirtschaft. BLV Verlagsgesellschaft, München.
- RICARDO, D. (1821): On the Principles of Political Economy and Taxation. Batoche Books, E-Text nach der 3. Auflage, Kitchener.
- RIPPEL, R.; AUERSWALD, K. und MÜLLER, A. - (2004): PC-ABAG, Version 3.0 Freising.
- RÖDER, N. (2007): Entwicklung und Anwendung eines agentenbasierten Landnutzungsmodells unter besonderer Berücksichtigung der Betriebsleitereinstellung. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- ROHIERSE, A. (2003): Regionale Darstellung der Umweltbelastungen durch klimarelevante Gase in der Agrarlandschaft Kraichgau – Das Boden-Landnutzungs-Informationssystem für Treibhausgasemissionen. Dissertation, Universität Hohenheim, Hohenheim.
- RÖHLING, I. und KEYMER, U. (2007): Biogasanlagen in Bayern 2006 - Ergebnisse einer Umfrage. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan.
- RÖHLING, I. und WILD, G. (2008): Biogas: Es läuft noch längst nicht alles rund. Top Agrar 2008 (10), S. 108-111.
- SCHEFFRAN, J. und BENDOR, T. (2009): Bioenergy and land use: a spatial-agent dynamic model of energy crop production in Illinois. International Journal of Environment and Pollution 39 (1-2), S. 4-27.
- SCHUEERLEIN, A. (1997): Finanzmanagement für Landwirte: Beispiele, Anwendungen, Beurteilungen. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München.
- SCHILCHER, M. und DONAUBAUER, A. (2007): Geoinformationssysteme 1 für Hörer am Wissenschaftszentrum Weihenstephan. Vorlesungsunterlagen Wintersemester 2007/2008. Freising-Weihenstephan.
- SCHROERS, J. O. (2006): Zur Entwicklung der Landnutzung auf Grenzstandorten in Abhängigkeit agrarmarktpolitischer, agrarstrukturpolitischer und produktionstechnologischer Rahmenbedingungen – eine Analyse mit dem Simulationsmodell ProLand. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.

- SCHWERTMANN, U.; VOGL, W. und KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- SEARCHINGER, T.; HAMBURG, S.; MELILLO, J.; CHAMEIDES, W.; HAVLIK, P.; KAMMEN, D.; LIKENS, G.; LUBOWSKI, R.; OBERSTEINER, M.; OPPENHEIMER, M.; ROBERTSEN, G.; SCHLESINGER, W. und TILMAN, G. (2009): Fixing a Critical Climate Accounting Error. *Science* 326 S. 527-528.
- SEIFFART, E. und MANTEUFFEL, K. (1991): *Lineare Optimierung*. Teubner Verlag, 5. Auflage, Leipzig.
- SHERIDAN, P.; SCHROERS, J. O. und ROMMELFANGER, E. (2007): GIS-based Modelling of Land-Use Systems. In: KOOMEN, E.; STILLWELL, J.; BAKEMA, A.; SCHOLTEN, H. J.: *Modelling Land-Use Change - Progress and applications*, Springer Verlag, Dordrecht, S. 375-389.
- SIEBNER, C.; FREIBAUER, A.; DECHOW, R.; GENSIOR, A. und HEINEMEYER, O. (2008): Klimaschutz in der Landwirtschaft - Anforderungen an Agrarumweltmaßnahmen. dvs-Tagung Agrarumweltmaßnahmen - Wie geht es weiter?, 30.09-01.10.2008, Berlin.
- SIMON, SONIA und WIEGMANN, KIRSTEN (2009): Modelling sustainable bioenergy potentials from agriculture for Germany and Eastern European countries. *Biomass and Bioenergy* 33 (4), S. 603-609.
- SMITH, A. (1789): An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. In: RECKTENWALD, H.C.: *Der Wohlstand der Nationen - eine Untersuchung seiner Natur und seiner Ursachen; aus den Englischen übertragen und mit einer umfassenden Würdigung des Gesamtwerkes, Vollständige Ausgabe nach der 5. Auflage*, Deutscher Taschenbuch Verlag, London, S. 1-819.
- STACHOWIAK, H. (1973): *Allgemeine Modelltheorie*. Springer Verlag, Wien.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (versch. Jahrgänge): *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung*. Wiesbaden.
- STEINHAUSER, H.; LANGBEHN, C. und PETERS, U. (1992): *Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre Band 1: Allgemeiner Teil*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- StMLF - Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) (2008a): *Bayerischer Agrarbericht 2008*. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- StMLF - Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) (2008b): *Das Kulturlandschaftsprogramm (KULAP) Herzstück bayerischer Agrarumweltpolitik*. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- StMLF - Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (2008c): *Merkblatt zum Mehrfachantrag 2008*.
http://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/programme/foerderwegweiser/11020/linkurl_3.pdf (Abrufdatum: 22.12.2008).
- THORNTON, P. K. und JONES, P. G. (1998): A conceptual approach to dynamic agricultural land-use modelling. *Agricultural Systems* 57 (4), S. 505-521.
- THRAEN, DANIELA und KALTSCHMITT, MARTIN (2007): Competition - Supporting or preventing an increased use of bioenergy? *Biotechnology Journal* 2 (12), S. 1514-1524.
- TLL - Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2009): *Bodenerosionsplattform - VERSTOLA-Projekt*. (Abrufdatum: 19.03.2009)

- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2009): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2007. Dessau.
- UFOP - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (Hrsg.) (versch. Jahrgänge): UFOP Marktinformation Ölsaaten und Biokraftstoffe. Berlin.
- VELDKAMP, A. und FRESCO, L. O. (1996): CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects. *Ecological Modelling* 85 (2-3), S. 253-270.
- VERBURG, P. H. und OVERMARS, K. P. (2007): Dynamic Simulation of Land-Use Change Trajectories with the CLUE-s Model. In: KOOMEN, E.; STILLWELL, J.; BAKEMA, A.; SCHOLTEN, H. J.: *Modeling Land-Use Change - Progress and applications*, Springer Verlag, Dordrecht, S. 321-335.
- VMB - Verband der Milcherzeuger Bayern e.V. (Hrsg.) (versch. Jahrgänge): *Milchwirtschaftlicher Informationsdienst*. München.
- VON THÜNEN, J. H. (1842): Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie. In: LEHMANN, H.: *Johann Heinrich von Thünen - Der isolierte Staat*, Akademie-Verlag, Berlin, S. 11-480.
- WBA - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Agrarpolitik (Hrsg.) (2007): *Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung*. Berlin.
- WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Hrsg.) (2009): *Welt im Wandel - Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung*. Mercedes Druck, Berlin.
- WEINMANN, B. (2002): *Mathematische Konzeption und Implementierung eines Modells zur Simulation regionaler Landnutzungsprogramme*. Sonderheft der Agrarwirtschaft 174, Gießen.
- WEINSCHENCK, G. und HENRICHSMAYER, W. (1966): Zur Theorie und Ermittlung des räumlichen Gleichgewichtes der landwirtschaftlichen Produktion. *Berichte über Landwirtschaft* 44 (2), S. 201-242.
- WINTER, T. (2005): *Ein Nichtlineares Prozessanalytisches Agrarsektormodell für das Einzugsgebiet der Oberen Donau - Ein Beitrag zum Decision-Support-System Glowa-Danubia*. Dissertation, Universität Hohenheim, Hohenheim.
- WÖHLKEN, E. (1991): *Einführung in die landwirtschaftliche Marktlehre*. Verlag Eugen Ulmer, 3. überarbeitete Auflage, Stuttgart.
- ZEHETMEIER, M. (2009): *Einfluss einer Leistungssteigerung in der Milchviehhaltung auf Treibhausgasemissionen, Nahrungsmittelproduktion, Wirtschaftlichkeit und Art der Flächennutzung*. Master Thesis, TU München, Freising-Weihenstephan.
- ZMP - Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH (Hrsg.) (versch. Jahrgänge): *ZMP Marktbi-lanz; Getreide Ölsaaten Futtermittel; Deutschland Europäische Union Weltmarkt*. Bonn.

Lebenslauf

Berufliche Tätigkeit:

- Seit Dez. 2009 Referatsleiter Landwirtschaft beim Fachverband Biogas e.V.
- Okt. 2006 – Dez. 2009 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues in Weihenstephan mit Ziel einer Promotion

Studium:

- Okt. 2001 – Sep. 2006 Studium der Agrarwissenschaften in Weihenstephan mit der Diplomnote 1,1
- Diplomarbeit: Risikoanalyse für Biogasanlagen mit der Monte-Carlo-Simulation
- Seminararbeit: BtL – Biomass to Liquid Ökonomische und ökologische Bewertung
- Projektarbeit: Zusammensetzung und Verwertung anaerob aufbereiteter Reststoffe (Kofermentation) am Beispiel eines landwirtschaftlichen Betriebs in Freising

Wehrdienst:

- Sep. 2000 – Jun. 2001 Grundausbildung zum Sanitätssoldaten bei der Luftwaffe in Roth
- Anschl. Dienst in Bayreuth

Schulbildung:

- 1991 – 2000 Besuch des Schiller Gymnasiums in Hof/Saale
- Erwerb der allg. Hochschulreife
- Abiturnote: 2,0
- 1987 – 1991 Besuch der Grundschule Bayer. Vogtland in Feilitzsch