

**Aus dem Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur
und ländliche Räume**

Katja Hemme-Seifert

**Regional differenzierte Modellanalyse der Erzeugung
von Biomasse zur energetischen Nutzung in
Deutschland**

Manuskript, zu finden in www.fal.de

Published as: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 261

**Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2003**

Sonderheft 261
Special Issue



Landbauforschung
Völkenrode
FAL Agricultural Research

**Regional differenzierte Modellanalyse der
Erzeugung von Biomasse zur energetischen
Nutzung in Deutschland**

Katja Hemme-Seifert

**Die wirkungsvollste Energiequelle unseres Lebens
ist und bleibt die menschliche Wärme.**

Ernst Ferstl



Diese Arbeit widme ich dem Wunsch nach einer ökonomisch und ökologisch rationalen, auf Fakten basierenden Energiepolitik.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Vorgehensweise	2
2	Einordnung der Arbeit	5
2.1	Definition zentraler Begriffe	5
2.1.1	Biomasse als Erneuerbare Energie	5
2.1.2	Interne, externe und soziale Kosten der Bereitstellung und Einsatz von Energie	7
2.2	Stellenwert Erneuerbarer Energien und Biomasse in Deutschland	9
2.2.1	Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch	10
2.2.2	Erneuerbare Energien in der Stromproduktion	10
2.2.3	Entwicklung der Biodieselproduktion	11
2.2.4	Biomasse in der landwirtschaftlichen Produktion	12
2.2.5	Fazit	14
2.3	Energie- und agrarpolitische Rahmenbedingungen	14
2.3.1	Energiepolitik	15
2.3.1.1	Energiepolitisches Ziel: Klimaschutz	15
2.3.1.2	Maßnahmen im Bereich Biomasse	18
2.3.1.3	Fazit	21
2.3.2	Agrarpolitik	22
2.3.2.1	Entwicklungen der Agrarpolitik seit 1990	23
2.3.2.2	Maßnahmen im Bereich des Klimaschutzes	24
2.3.2.3	Fazit	25
2.4	Methodische Einordnung	25
2.4.1	Potenzialabschätzungen	26
2.4.2	Wirtschaftlichkeitsanalysen	27
2.4.3	Einsatz ökonomischer Modelle für den Agrarbereich	27
3	Entwicklung der Analysemethode und der Datengrundlage	30
3.1	RAUMIS als Methodik für die Angebotsanalyse	30

3.1.1	Genereller Ansatz und Anwendungsmöglichkeiten	30
3.1.2	Aufbau von Produktionsverfahren in RAUMIS	36
3.1.3	Konzeption der Modellgrundlage	39
3.1.3.1	Modellaufbau	39
3.1.3.1.1	Verfahren der Biomasseproduktion auf stillgelegten Flächen	39
3.1.3.1.2	Verfahren auf nicht stillgelegten Flächen	41
3.1.3.1.3	Flächenunabhängige Verfahren	42
3.1.4	Datengrundlage zur regionalen Abbildung	45
3.1.4.1	Produktionsverfahren Miscanthus	45
3.1.4.2	Produktionsverfahren Pappeln	47
3.1.4.3	Produktionsverfahren Waldrest- und Schwachholz	51
3.1.4.4	Produktionsverfahren Stroh	55
3.1.4.5	Sonstige Produktionsverfahren	61
3.2	Methodik zur Preisermittlung für Biomasse: Die Äquivalenzkostenmethode	61
3.2.1	Annahmen und Datengrundlage für die Berechnung von Äquivalenzkosten	64
3.2.2	Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten	69
3.2.3	Soziale Äquivalenzkosten	71
3.3	Methodik zur Quantifizierung makroökonomischer Effekte	72
3.3.1	Beschäftigungswirkungen	73
3.3.2	Land- und forstwirtschaftliches Einkommen	75
3.3.3	Steuereinnahmen	76
4	Spezifizierung der Modellanwendungen	81
4.1	Basisjahr und Referenz	81
4.2	Modellanwendungen	82
4.2.1	Anwendung A: „Biomasseproduktion unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten (Szenario 1)“	82
4.2.2	Anwendung B: „Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht (Szenarien 2 bis 4)“	84
4.2.3	Ergänzende Annahmen	87

5	Ergebnisse der Modellanwendungen	88
5.1	Basisjahr '95 und Referenz '05	88
5.2	Anwendung A: Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht (Szenario 1)	89
5.2.1	Art und Umfang der erzeugten Bioenergieträger	90
5.2.2	Auswirkungen auf die Flächennutzung	94
5.2.3	Auswirkungen auf das Einkommen	94
5.2.4	Auswirkungen auf die Beschäftigung	97
5.2.5	Auswirkungen auf die Steuereinnahmen	99
5.2.6	Variation des Szenarios 1	100
5.3	Anwendung B: Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht (Szenarien 2 bis 4)	101
5.3.1	Art und Umfang der erzeugten Bioenergieträger	102
5.3.2	Struktur der Holzaufbereitung	107
5.3.3	Auswirkungen auf die Flächennutzung	108
5.3.4	Auswirkungen auf das Einkommen	109
5.3.5	Auswirkungen auf die Beschäftigung	110
5.3.6	Auswirkungen auf die Steuereinnahmen	112
5.4	Schlussfolgerungen	113
5.4.1	Inhaltliches Fazit	113
5.4.1.1	Anwendung A: Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht (Szenario 1)	113
5.4.1.2	Anwendung B: Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht (Szenario 2 bis 4)	114
5.4.1.3	Abschließendes Fazit: Anwendung A und Anwendung B	115
5.4.2	Methodisches Fazit	116
6	Zusammenfassung	118
	Literaturverzeichnis	123
	Anhang	130-138

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1:	Primärenergieverbrauch in Deutschland	10
Tabelle 2.2:	Inlandsabsatz von Dieselkraftstoff und produzierter Biodiesel in den Jahren 1990 bis 1999	11
Tabelle 2.3:	Umfänge der sektoralen Flächenstilllegung sowie Non-Food-Raps auf obligatorischer Stilllegung	13
Tabelle 2.4:	Minderungsziele für Treibhausgasemissionen (Prozent CO ₂ -Äquivalentemissionen) 2008 bis 2012, bezogen auf 1990 (3. Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto, Dezember 1997)	16
Tabelle 2.5:	Reduktionsverpflichtungen und Obergrenzen für Treibhausgasemissionen der EU-Mitgliedsstaaten, bezogen auf ihre 1990er Emissionen	16
Tabelle 2.6:	Steuersätze für Strom und Treibstoffe aus fossilen Rohstoffen unter Einbezug der Steuerreform von 1999 bis nach 2003	19
Tabelle 2.7:	Aktuelle energiepolitische Rahmenbedingungen und ihre Wirkungen auf die Energieproduktion aus Biomasse	21
Tabelle 2.8:	Beispiele für Agrarsektormodelle	29
Tabelle 3.1:	Datenbedarf für die regionale Abbildung der Biomasseproduktion sowie deren Verfügbarkeit	38
Tabelle 3.2:	Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von Biomasseproduktionsverfahren auf stillgelegten Flächen	40
Tabelle 3.3:	Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von Biomasseproduktionsverfahren auf Ackerflächen am Beispiel Zuckerrüben	41
Tabelle 3.4:	Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von Biomasseproduktionsverfahren auf Ackerflächen und stillgelegten Flächen am Beispiel Triticale	42
Tabelle 3.5:	Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von flächenunabhängigen Biomasseproduktionsverfahren am Beispiel Strohbereitstellung	43

Tabelle 3.6:	Modellhafte Abbildung des maximalen Anteils am vollmechanisierten Verfahren im Brusthöhendurchmesser 1 und Brusthöhendurchmesser 2	44
Tabelle 3.7:	Im Modell abgebildete Holzbereitstellungsverfahren	52
Tabelle 3.8:	Tierartspezifischer Strohbedarf in Deutschland (Basisjahr) unter Berücksichtigung der Weidetage	57
Tabelle 3.9:	Durch Biomasse substituierte fossile Energieträger	64
Tabelle 3.10:	Zusammensetzung der internen Energiegestehungskosten fossiler Vergleichssysteme mit Berücksichtigung der Brennstoffkosten	65
Tabelle 3.11:	Zusammensetzung der internen Energiegestehungskosten von Biomasseenergieträgern ohne Berücksichtigung der Brennstoffkosten für Biomasse	66
Tabelle 3.12:	Quantifizierbare externe Kosten der untersuchten Energieträger in verschiedenen Verwendungsalternativen	68
Tabelle 3.13:	Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten fester Bioenergieträger in verschiedenen Energieerzeugungssystemen frei Energieanlage in Deutschland insgesamt	69
Tabelle 3.14:	Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten für die Ausgangsprodukte von Biokraftstoffen frei Produktionsanlage	70
Tabelle 3.15:	Soziale Äquivalenzkosten fester Bioenergieträger in verschiedenen Energieerzeugungssystemen	71
Tabelle 3.16:	Soziale Äquivalenzkosten für die Ausgangsprodukte von Biokraftstoffen und für die jeweiligen Kraftstoffe beim fossilen Referenzkraftstoff	72
Tabelle 4.1:	Preisannahmen für konventionelle pflanzliche Produkte im Basisjahr und in der Referenz (Auszug)	82
Tabelle 4.2:	Anwendung A: Unterstellte Preise für biogene Festbrennstoffe sowie landwirtschaftliche Ausgangsstoffe für die Herstellung biogener Kraftstoffe frei Energieanlage bzw. Konversionsanlage	84

Tabelle 4.3:	Anwendung B: Unterstellte Preise für biogene Festbrennstoffe sowie landwirtschaftliche Ausgangsstoffe für die Herstellung biogener Kraftstoffe frei Energieanlage bzw. Konversionsanlage	86
Tabelle 4.4:	Szenarienüberblick	86
Tabelle 5.1:	Charakterisierung des Basisjahres 1995 und des Referenzszenarios 2005 für die Landwirtschaft auf sektoraler Ebene	89
Tabelle 5.2:	Szenario 1: Auf sektoraler Ebene bereitgestellte Biomasse-mengen	90
Tabelle 5.3:	Szenario 1: Nach Bundesländern differenzierter Energieoutput	91
Tabelle 5.4:	Szenario 1: Wirkungen auf die Flächennutzung gegenüber der Referenz	94
Tabelle 5.5:	Szenario 1: Einkommens- und Gewinnwirkungen innerhalb der Landwirtschaft gegenüber der Referenz	95
Tabelle 5.6:	Szenario 1: Einkommenswirkungen innerhalb der Forstwirtschaft	97
Tabelle 5.7:	Szenario 1: Beschäftigungswirkungen innerhalb der Land- und Forstwirtschaft	97
Tabelle 5.8:	Szenario 1: Änderung des quantifizierten Steueraufkommens	100
Tabelle 5.9:	Variationsszenarien des Szenario 1: Senkung des Äquivalenzpreises auf 70 bzw. 50 % und daraus resultierende Änderungen der Energiebereitstellung	101
Tabelle 5.10:	Auf sektoraler Ebene bereitgestellte Mengen an Biomasse	102
Tabelle 5.11:	Szenario 4: Nach Bundesländern differenzierter Energieoutput	106
Tabelle 5.12:	Szenarien 2 bis 4: Struktur der Holzbereitstellung	108
Tabelle 5.13:	Szenario 4: Sektorale Wirkungen auf die Flächennutzung gegenüber der Referenz	108
Tabelle 5.14:	Einkommens- und Gewinnwirkungen innerhalb der Landwirtschaft gegenüber der Referenz (Szenarien 2 bis 4)	109

Tabelle 5.15:	Einkommenswirkungen innerhalb der Forstwirtschaft	110
Tabelle 5.16:	Beschäftigungswirkungen innerhalb der Land- und Forstwirtschaft	111
Tabelle 5.17:	Veränderung des quantifizierten Steueraufkommens im Jahr 2005 (Szenarien 2 bis 4)	112

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2.1:	Abgrenzung des verwendeten Begriffs der Biomasse und Einordnung der wichtigsten Biomasseenergieträger	6
Abbildung 2.2:	Anteil der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland an der Gesamtstromproduktion	11
Abbildung 2.3:	Entwicklung der Non-Food-Rapsproduktion auf stillgelegten und nicht stillgelegten Flächen 1993 bis 2000	13
Abbildung 2.4:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Deutschland von 1990 bis 1999 sowie Ziel im Jahr 2005	17
Abbildung 3.1:	Schematische Darstellung des Modellsystems RAUMIS	31
Abbildung 3.2:	Grafische Herleitung von PQP-Termen	34
Abbildung 3.3:	Erträge von Pappeln im Kurzumtrieb in Abhängigkeit von der Bodenzusammensetzung in Tonnen Trockenmasse (atro) pro Jahr	50
Abbildung 3.4:	Aufbereitungskosten für Schwach- und Waldrestholz im motormanuellen Verfahren ohne Einbezug der Kosten für Arbeit nach DIETER (2000) und eigene Berechnungen	53
Abbildung 3.5:	Vergleich der Aufbereitungskosten für Schwachholz (BHD 1) im vollmechanisierten und teilmechanisierten Verfahren unter Einbezug der Kosten für Arbeit nach DIETER (2000)	54
Abbildung 3.6:	Vergleich der Aufbereitungskosten für Waldrestholz (BHD 2) im vollmechanisierten und teilmechanisierten Verfahren unter Einbezug der Kosten für Arbeit nach DIETER (2000)	54
Abbildung 3.7:	Berechnungsschema für die Äquivalenzkosten am Beispiel der betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten für Holz beim Einsatz im Heizkraftwerk	63
Abbildung 5.1:	Szenario 1: Prozentuale Änderung des Arbeitsbedarfs innerhalb der Landwirtschaft, differenziert nach Bundesländern	98

Verzeichnis der Karten

Karte 3.1:	Regionale Ertragsabschätzung für Miscanthus	47
Karte 3.2:	Regionale Ertragsabschätzung für Pappeln im Kurzumtrieb	51
Karte 3.3:	Regionale Kosten für die vollmechanisierte Holzernte im BHD 2	55
Karte 3.4:	Zu- und Verkaufsregionen für Stroh unter Berücksichtigung des regionalen Einstreustrohbedarfs und des Getreideumfangs im Basisjahr 1995	58
Karte 3.5:	Kalkulierter Bedarf an Einstreustroh in Prozent des Strohaufkommens im Basisjahr 1995	59
Karte 3.6:	Kalkulierter Bedarf an Einstreustroh in Prozent des Strohaufkommens in der Referenz 2005	60
Karte 5.1:	Szenario 1: Schwerpunkte von energetisch genutztem Stroh in 1.000 t/Modellkreis	92
Karte 5.2:	Szenario 1: Schwerpunkte der motormanuellen Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis	93
Karte 5.3:	Szenario 1: Schwerpunkte der vollautomatisierten Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis	93
Karte 5.4:	Szenario 1: Änderung der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft in Prozent gegenüber der Referenz	96
Karte 5.5:	Szenario 1: Änderung der Beschäftigung in der Landwirtschaft in Prozent gegenüber der Referenz	99
Karte 5.6:	Szenario 2: Schwerpunkte der vollautomatisierten Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis	103
Karte 5.7:	Szenario 3: Schwerpunkte der motormanuellen Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis	104
Karte 5.8:	Szenario 3: Schwerpunkte der vollautomatisierten Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis	105

Karte 5.9:	Szenario 4: Schwerpunkte von energetisch genutztem Stroh in 1.000 t/Modellkreis	107
Karte 5.10:	Szenario 4: Änderung der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft in Prozent gegenüber der Referenz	110

Verzeichnis der Karten im Anhang

Karte A.1:	Regionale Kosten für die motormanuelle Holzernte im Brusthöhendurchmesser 1	131
Karte A.2:	Regionale Kosten für die motormanuelle Holzernte im Brusthöhendurchmesser 2	131
Karte A.3:	Kosten für die motormanuelle Holzernte im Brusthöhendurchmesser 3	132
Karte A.4:	Regionale Kosten für die vollmechanisierte Holzernte im Brusthöhendurchmesser 1	132
Tabelle A.1:	Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von ein- und mehrjährigen halmgutartigen Bioenergieträgern (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)	133

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tabelle A.2:	Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von Holzhackschnitzeln aus Forstkulturen (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)	133
Tabelle A.3:	Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von Holzhackschnitzeln aus Pappel-Kurzumtriebsplantagen (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)	134
Tabelle A.4:	Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von flüssigen Bioenergieträgern (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)	134
Tabelle A.5:	Annahmen über die Einteilung der Größenklassen in der Tierproduktion	135
Tabelle A.6:	Annahmen über den Einstreubedarf bei Tierhaltungsverfahren auf Stroh	135
Tabelle A.7:	Korn-/Strohverhältnisse von Getreide	136

Tabelle A.8:	Kraftstoffverbrauch der untersuchten Mittelklasse-Pkw in Abhängigkeit vom eingesetzten Treibstoff	136
Tabelle A.9:	Kostenstruktur des Betriebs eines Mittelklasse-Pkw mit Otto- bzw. Dieselmotor (Angaben ohne MwSt.)	136
Tabelle A.10:	Feuerungstechnik, Nutzungsgrade, Eigenstromverbrauch und Personalbedarf der untersuchten Energieanlagen	137
Tabelle A.11:	Installierte Leistung, Auslastung und Investitionskosten der untersuchten stationären Energieanlagen (Angaben ohne MwSt.)	137
Tabelle A.12:	Modell RAUMIS: Jährliche Wachstumsraten für Erträge und resultierende Ertragsannahmen (Auszug des sektoralen Durchschnitts)	138
Tabelle A.13:	Modell RAUMIS: Jährliche Wachstumsraten für Erträge und resultierende Ertragsannahmen (Auszug des sektoralen Durchschnitts)	138

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der Ausbau erneuerbarer Energieträger wird als eine wichtige Maßnahme im Rahmen des Klimaschutzes gesehen. Obwohl Erneuerbare Energien konventionelle Energien nicht vollkommen ersetzen können, wird ihnen ein großes Potenzial zugesprochen.

In diesem Zusammenhang gewinnt die Energiebereitstellung aus Biomasse an Beachtung. Zahlreiche landwirtschaftliche Produkte wie Holz, Stroh, Miscanthus, Pappeln, Triticale, Raps (RME), Zuckerrüben (Ethanol) können als Energieträger eingesetzt werden.

Die Vorteile, die mit der energetischen Nutzung von Biomasse in Verbindung gebracht werden, sind u. a. (a) die Minderung der Treibhausgasemissionen, (b) die Erhöhung der inländischen Versorgungssicherheit, (c) positive Wirkungen auf die Beschäftigung und (d) die Stärkung des ländlichen Raums durch die Nutzung dezentraler Energien. Es wird also erwartet, dass der Einsatz von Biomasse als Energieträger mit volkswirtschaftlichem Nutzen verbunden ist.

Die Bundesregierung hat das Ziel, den Anteil der Erneuerbaren Energien (u. a. Biomasse) am Primärenergieverbrauch Deutschlands bis zum Jahr 2010 auf 10 bis 12 % zu steigern. Zur Erreichung des genannten Ziels trat am 1. April 2000 das „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ in Kraft.

Es stellt sich die Frage, welche Auswirkungen diese politische Maßnahme auf die Produktion und Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung haben wird. Die Politik wird wissen wollen welche politischen Ziele mit dem Gesetz erreicht und welche nicht erreicht werden. Investoren (z. B. Landwirte, Anlagenbetreiber) müssen wissen, an welchem Standort welche Biomasseprodukte in welcher Menge wettbewerbsfähig produziert und verarbeitet werden können.

In bisherigen Untersuchungen ist keine Methode zu finden, die eine hierfür notwendige Kombination von regionaler und sektoraler Angebotsabschätzung von Biomasse und Wirtschaftlichkeitsanalysen auf Ebene der Land-, Forst- und Energiewirtschaft darstellt.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methodik zu entwickeln, die Politikfolgenabschätzungen im Bereich der Biomasseproduktion in Deutschland auf regionaler und sektoraler Ebene ermöglicht. Die Methodik soll die Wettbewerbsbeziehung der Biomasseproduktion zur sonstigen Agrarproduktion abbilden und Angebotsprognosen unter verschiedenen Preis- und Politikszenerarien ermöglichen.

Die zu entwickelnde Methode soll in der Lage sein, speziell die folgenden Fragen zu beantworten:

- a) Wie viel Biomasse zur energetischen Nutzung wird zukünftig produziert?
- b) Wo wird welche Art von Biomasse bereitgestellt?
- c) Welche Effekte sind hinsichtlich des land- und forstwirtschaftlichen Einkommens, der Beschäftigung, Flächennutzungsstruktur und Steuereinnahmen des Staates zu erwarten?

1.3 Vorgehensweise

Die Arbeit gliedert sich in vier Teilbereiche: Einordnung der Arbeit (Kapitel 2), Entwicklung der Analysemethode und der Datengrundlage (Kapitel 3), Spezifizierung der geplanten Modellanwendungen (Kapitel 4), Ergebnisdarstellung (Kapitel 5) sowie Zusammenfassung (Kapitel 6).

Zunächst werden in Kapitel 2 zentrale Begriffe definiert, eine Bestandsaufnahme der derzeitigen Biomasseproduktion und –nutzung erstellt sowie Hintergrundinformationen über Rahmenbedingungen in Energie- und Agrarpolitik gegeben. Darauf folgt eine methodische Einordnung der Arbeit.

In Kapitel 3 wird die Methode und die Datengrundlage entwickelt. Hierzu zählen die drei folgenden Bereiche:

- Methode für die Angebotsanalyse: Das Agrarsektormodell RAUMIS soll durch die Spezifizierung der verschiedensten Biomasseproduktionsverfahren erweitert werden. Neben der modelltechnischen Erweiterung bedarf es Daten, wie z. B. regionale Erträge von Biomasseproduktionsverfahren zu ermitteln. Erstmals sollen in das Modell RAUMIS die für die Biomasseproduktion relevanten Verfahren der Forstwirtschaft implementiert werden.

- Methode zur Preisermittlung für Biomasse: Für die Ermittlung der maximalen Erzeugerpreise für Biomasse soll eine Methode entwickelt werden, die Parameter wie Verarbeitungskosten für Energieträger (z. B. in Heizkraftwerken), Preise fossiler Energieträger (Preise für Steinkohle und Heizöl), energiepolitische Maßnahmen (z. B. Einspeisevergütung), volkswirtschaftliche Gesichtspunkte (z. B. externe Kosten durch Luftverschmutzung) einbezieht.¹
- Methode zur Quantifizierung von Ergebnisvariablen: Neben den aus RAUMIS ableitbaren Variablen (u. a. Wirkungen auf das Einkommen, die Beschäftigung und die Flächennutzung) sollen weitere Ergebnisvariablen zur Beurteilung der Biomasseproduktion entwickelt und quantifiziert werden; dies sind die Wirkungen auf Steuereinnahmen des Staats.

In Kapitel 4 wird die Methodik getestet. Die Anwendungsbeispiele basieren auf Fragestellungen, die in Expertenrunden mit politischen Entscheidungsträgern entwickelt wurden. Zum einen stellt sich die Frage welche politischen Ziele mit vorgeschlagenen oder bereits implementierten Maßnahmen erreicht werden. In diesem Fall liegen bereits konkrete Politiken vor. Zum anderen steht die Frage im Raum, wie das politische Ziel (z. B. 10 bis 12 % Anteil am Primärenergieverbrauch) am effizientesten erreicht werden kann. Aus den genannten Überlegungen wurden die folgenden zwei Fragen zur Biomasseproduktion in Deutschland entwickelt.

Anwendung A:

Wie wird sich die Biomasseproduktion in Deutschland unter derzeitigen politischen Rahmenbedingungen (hierzu gehören das „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ und die Ökologische Steuerreform) entwickeln?

Arbeitstitel: „Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht“.

Anwendung B:

Welches ist aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten der optimale Produktionsmix der Biomasse, wenn ein bestimmter Prozentsatz an Energie aus Biomasse am Primärenergiebedarf in Deutschland politisch gewünscht wird?

Arbeitstitel: „Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht“.

¹ Diese Dissertation ist im Rahmen eines von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Verbundforschungsprojekts entstanden. An diesem Projekt waren außer der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume (FAL-BAL), die Universität Stuttgart und das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart (IER), mit insgesamt fünf Wissenschaftlern beteiligt. Wichtige Eingangsdaten und Annahmen werden aus den Arbeiten der Projektgruppe übernommen.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Kapitel 5. Zum einen werden physische Variablen, wie der Mix der produzierten Biomasse, die Energiemenge aus Biomasse, die regionale Verteilung der Biomasseproduktion, die Auswirkungen auf die Flächennutzung und die Agrarproduktion insgesamt und die Wirkung auf die Beschäftigung in Land- und Forstwirtschaft ermittelt. Zum anderen werden monetäre Wirkungen der Biomasseproduktion quantifiziert, wie das Einkommen in der Land- und Forstwirtschaft sowie Steuereinnahmen des Staates. Die Arbeit schließt mit einem inhaltlichen und methodischen Fazit sowie mit einer Zusammenfassung.

2 Einordnung der Arbeit

Bevor mit der Entwicklung der Analysemethode begonnen wird, werden an dieser Stelle einige, für die vorliegende Arbeit wichtige Hintergrundinformationen gegeben. Hierzu zählt zum einen die Klärung zentraler Begrifflichkeiten. Dies ist notwendig, da es für zahlreiche in dieser Arbeit verwendeten Begriffe mehrere Definitionen und Auslegungsmöglichkeiten gibt. Weiterhin wird ein Überblick über energie- und agrarpolitische Rahmenbedingungen gegeben. Dies ist notwendig, da Anbau- und Nutzungsentscheidungen zugunsten von Biomasse, die zwar in erster Linie von einzelwirtschaftlichen Überlegungen abhängig sind, entscheidend durch die politischen Rahmenbedingungen beeinflusst werden. Schließlich erfolgt eine methodische Einordnung unter Berücksichtigung vorhandener Analysemethoden im Bereich Biomasse zum einen und Agrarsektoranalyse zum anderen.

2.1 Definition zentraler Begriffe

2.1.1 Biomasse als Erneuerbare Energie

Erneuerbare Energien sind Energiequellen, die nach den Zeitmaßstäben des Menschen „unendlich“ lange zur Verfügung stehen. Hierzu werden gezählt: Windenergie, Wasserkraft, Sonnenenergie, Umweltwärme, geothermische Energie, Gezeiten-, Wellen- sowie Meeresströmungsenergie und Biomasse. Alle diese Energien lassen sich auf drei Hauptquellen zurückführen: Solarstrahlung, Erdwärme und Gezeitenenergie.²

Unter Biomasse werden im weitesten Sinne Stoffe organischer Herkunft zusammengefasst. Biomasse wird unterteilt in Primär- und Sekundärprodukte. Erstere entstehen durch die direkte Speicherung der Sonnenenergie (Phytomasse). Sekundärprodukte sind solche, die durch die Aufnahme und den Umbau von Primärprodukten entstehen. Hierzu zählt die Zoomasse.³

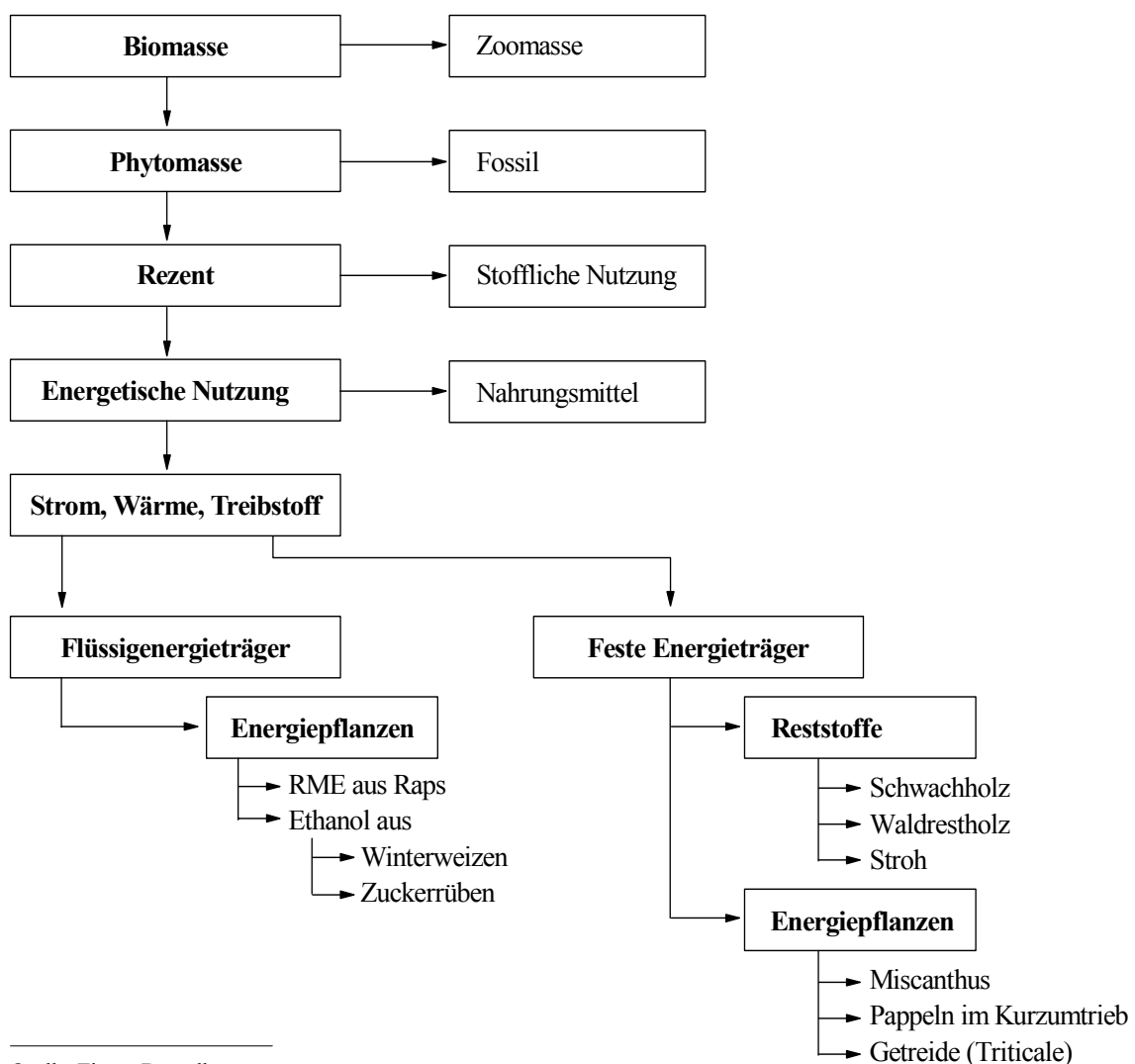
Betrachtet man die zeitliche Entstehung, so ist pflanzliche Biomasse in rezente (gegenwärtige) und fossile Biomasse (aus der erdgeschichtlichen Vergangenheit stammend) zu unterteilen. Rezente, pflanzliche Biomasse wird heute in erster Linie als

² BRAUCH (1997, S. 604).

³ KALTSCHMITT und REINHARDT (1997, S. 6).

Nahrungsmittel verwendet oder stofflich und industriell genutzt. Die über den Prozess der Photosynthese gewonnene Energie der Sonneneinstrahlung kann durch den Energieumsatz wieder freigesetzt werden: Die „Verbrennung“ der so gespeicherten Energie ist z. B. Grundlage des menschlichen Stoffwechsels. Die **rezente Biomasse** ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit und wird im Weiteren als Biomasse bezeichnet (vgl. Abbildung 2.1).

Abbildung 2.1: Abgrenzung des verwendeten Begriffs der Biomasse und Einordnung der wichtigsten Biomasseenergieträger



Quelle: Eigene Darstellung.

Unter „energetischer Nutzung“ wird die Nutzung von Biomasse in Form von Strom, Wärme oder Treibstoff verstanden. Als „Bioenergie“ bzw. „Biostrom“ wird die Energie bzw. der Strom bezeichnet, die bzw. der aus Energiepflanzen oder Reststoffen gewonnen wird.

In den Analysen dieser Arbeit werden die nach derzeitigem Kenntnisstand für die Land- und Forstwirtschaft relevanten Energiepflanzen und Reststoffe ausgewählt. Zum einen werden solche Pflanzen betrachtet, die zu flüssigen Energieträgern (RME und Ethanol) umgewandelt werden. Dies sind Winterweizen, Zuckerrüben und Raps. Zum anderen werden Energiepflanzen in die Betrachtung einbezogen, die als feste Brennstoffe genutzt werden. Hierzu gehören Getreide (Triticale) sowie Miscanthus und Pappeln im Kurzumtrieb sowie die Reststoffe Getreidestroh sowie Waldrest- und Schwachholz.

2.1.2 Interne, externe und soziale Kosten der Bereitstellung und Einsatz von Energie

Jede Bereitstellung von Energie (Strom, Wärme, Treibstoff) ist mit Kosten verbunden. Auf der einen Seite sind dies die betriebswirtschaftlichen Kosten, die sogenannten **internen Kosten**, die Unternehmen entstehen.

Mit dem Energieeinsatz sind auf der anderen Seite aber auch Effekte verbunden, z. B. negative Folgen von Luftschadstoffemissionen oder Folgen einer Inanspruchnahme erschöpflicher Ressourcen, die zu Kosten führen, welche weder im betriebswirtschaftlichen Rechnungssystem von Unternehmen noch in der Wirtschaftsrechnung von privaten und öffentlichen Haushalten Beachtung finden.⁴

Die Erkenntnis über das Vorhandensein dieser zusätzlichen aber im betriebswirtschaftlichen Kalkül nicht berücksichtigten Kosten gehen auf PIGOU (1912) zurück.⁵ Dieser beschreibt in seinem Werk „Wealth and Welfare“ die Nichtübereinstimmung von betriebswirtschaftlichen und gesamtgesellschaftlichen Kosten mit den folgenden Worten:⁶

⁴ Siehe hierzu auch WICKE (1982, S. 40).

⁵ PIGOU (1912).

⁶ Vgl. PIGOU (1912, S. 159), zitiert in HOHMEYER (1989, S. 3).

“It is true, and this matter is of growing importance, of resources devoted to the prevention of smoke from factory chimneys: for this smoke in large towns inflicts a heavy uncharged loss on the community in respect of health, of injury to buildings and vegetables, of expenses of washing clothes and cleaning rooms, of expenses for the provision of extra artificial light, and in many other ways.”

Die so zusätzlich entstehenden Belastungen werden negative externe Effekte genannt. Es muss jedoch zwischen negativen und positiven externen Effekten unterschieden werden: Negative externe Effekte führen zu **externen Kosten**, positive externe Effekte dagegen zu externem Nutzen. WICKE (1982) definiert externe Effekte wie folgt:⁷

„Als externe Effekte lassen sich die gegenseitigen Einwirkungen von Wirtschaftssubjekten, die nicht über den Markt erfasst und bewertet werden, bezeichnen.“

Werden aus externen Effekten entstehende Kosten oder Nutzen bei Produktionsentscheidungen nicht berücksichtigt, kommt es aus gesamtwirtschaftlicher Sicht auf Grund verzerrter, nur einen Teil der tatsächlich entstehenden Kosten und Nutzen abbildender Marktpreise, zu wohlfahrtsökonomisch ineffizienten Entscheidungen der Marktpartner.⁸ Eine gesamtwirtschaftlich optimale Ressourcenallokation ist somit nicht gewährleistet.

Für den Begriff **„soziale Kosten“** werden verschiedene Definitionen verwendet. So grenzt zum Beispiel KAPP (1979) den Begriff „soziale Kosten“ als

„alle direkten und indirekten Verluste, die Drittpersonen oder die Allgemeinheit als Folge einer uneingeschränkten wirtschaftlichen Tätigkeit zu tragen haben“

ab.⁹ Hier werden also die externen Kosten mit den sozialen Kosten gleichgesetzt. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „soziale Kosten“ definiert als die Summe der internen und externen Kosten, wobei die externen Kosten die monetarisierbaren externen Effekte umfassen.¹⁰ Die monetarisierbaren externen Effekte sind hierbei im einzelnen luftschadstoffbedingte Wirkungen wie Gesundheitsschäden, Materialschä-

⁷ WICKE (1982, S. 40).

⁸ In HENRICHSMEYER und WITZKE (1994, S. 282 ff.) wird dies erläutert.

⁹ KAPP (1979, S. 19).

¹⁰ Vgl. OSTERKAMP und SCHNEIDER (1982, S. 15), zitiert in HOHMEYER (1989, S. 3).

den, Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion, Auswirkungen auf naturnahe Ökosysteme und der anthropogene Treibhauseffekt.¹¹

In der Beantwortung der Frage „Wie wird sich die Biomasseproduktion unter derzeitigen politischen Rahmenbedingungen entwickeln?“ werden die externen Kosten und Nutzen der Energiebereitstellung aus Biomasse nicht, also nur das betriebswirtschaftliche Kalkül, berücksichtigt. Dagegen erfolgt bei Bearbeitung der Fragestellung „Welches ist aus volkswirtschaftlicher Sicht der optimale Produktionsmix der Biomasse?“ ein Einbezug externer Kosten und Nutzen der Energiebereitstellung aus Biomasse und aus konventionellen Energien.

Darüber hinaus gehen Änderungen in der Struktur der Energiegewinnung mit vielfältigen strukturellen, monetären und beschäftigungswirksamen Auswirkungen sowohl auf die deutsche Land- und Forstwirtschaft als auch auf alle anderen Sektoren der Volkswirtschaft einher. Nach KAPP (1979) zählen diese ebenfalls zu den sozialen Kosten. In der vorliegenden Arbeit werden sie jedoch getrennt in die Betrachtung einbezogen.

2.2 Stellenwert Erneuerbarer Energien und Biomasse in Deutschland

Welchen Stellenwert hat Biomasse innerhalb der Erneuerbaren Energien in Deutschland, welchen Energieanteil liefern Erneuerbare Energien? Wie hoch ist der Umfang der für Energiepflanzen genutzten Fläche? Welche Entwicklungen zeichnen sich ab? Ziel der folgenden Ausführungen ist es, einen Überblick über den Beitrag der Biomasse zum Primärenergieverbrauch, zur Strom- und Treibstoffnutzung zu geben sowie den Stellenwert innerhalb der landwirtschaftlichen Produktion darzulegen. Dies soll einen Beitrag zur Einordnung Erneuerbarer Energien und Biomasse in das Gesamtsystem liefern.

¹¹ Die in dieser Arbeit einbezogenen externen Effekte wurden in KALTSCHMITT et al. (2000) monetarisiert. Zu den verwendeten Daten und zur Vorgehensweise der Monetarisierung siehe KALTSCHMITT et al. (2000, S. 44 ff.).

2.2.1 Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch

Unter Primärenergie wird die Energiemenge in solchen Energieträgern verstanden, die noch keiner Umwandlung unterzogen worden sind. Bis zum Verbraucher wird Primärenergie über Endenergie in Nutzenergie umgewandelt.

Folgende Tabelle 2.1 zeigt die Zusammensetzung des Primärenergieverbrauchs Deutschlands auf.

Tabelle 2.1: Primärenergieverbrauch in Deutschland

	1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998 ²		1999 ²	
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%
Mineralöl	5.237	35,1	5.548	38,0	5.627	39,3	5.744	40,2	5.692	40,1	5.689	39,9	5.809	39,4	5.753	39,5	5.777	40,0	5.595	39,4
Steinkohle	2.307	15,5	2.330	15,9	2.195	15,3	2.139	15,0	2.139	15,1	2.060	14,4	2.090	14,2	2.043	14,0	2.037	14,1	1.890	13,3
Braunkohle	3.200	21,5	2.506	17,2	2.178	15,2	1.984	13,9	1.861	13,1	1.735	12,2	1.688	11,4	1.591	10,9	1.512	10,5	1.468	10,3
Naturgas	2.315	15,5	2.433	16,7	2.406	16,8	2.544	17,8	2.591	18,3	2.828	19,8	3.151	21,4	3.022	20,7	3.048	21,1	3.057	21,5
Kernenergie	1.665	11,2	1.609	11,0	1.732	12,1	1.673	11,7	1.650	11,6	1.682	11,8	1.764	12,0	1.858	12,8	1.764	12,2	1.852	13,0
Wasser + Windkraft	59	0,4	53	0,4	62	0,4	62	0,4	64	0,5	82	0,6	73	0,5	70	0,5	79	0,5	91	0,6
Sonstige ¹	129	0,9	132	0,9	114	0,8	158	1,1	185	1,3	193	1,4	170	1,2	234	1,6	243	1,7	240	1,7
<i>Summe</i>	<i>14.912</i>		<i>14.611</i>		<i>14.314</i>		<i>14.304</i>		<i>14.182</i>		<i>14.269</i>		<i>14.745</i>		<i>14.571</i>		<i>14.460</i>		<i>14.193</i>	

¹ Brennholz, Brenntorf, Klärschlamm, Müll, sonstige Gase sowie Außenhandelsaldo Strom.

² Vorläufige Werte.

Quelle: BMWI (2000).

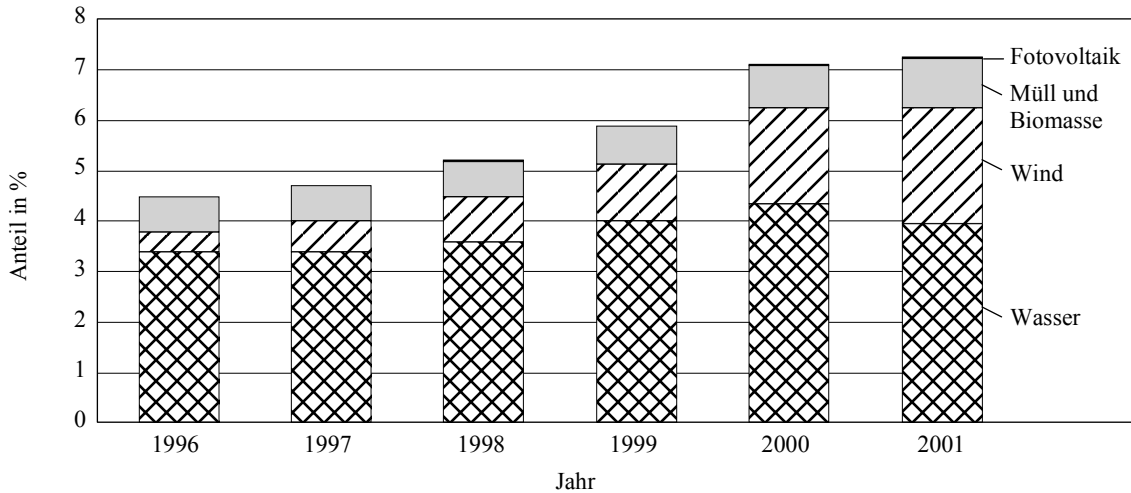
Der Anteil der „sonstigen Energieträger“ am Primärenergieverbrauch Deutschlands betrug in den Jahren 1990 bis 1999 ca. 1 bis 1,5 % (Tabelle 2.1). Der Beitrag von Holz und Stroh und anderen festen Stoffen zum Primärenergieverbrauch Deutschlands stieg in den Jahren 1990 bis 1996 von 45 auf 125 PJ, dies entspricht einem Anteil von ca. 0,3 und 0,8 %.¹²

2.2.2 Erneuerbare Energien in der Stromproduktion

Abbildung 2.2 zeigt die Entwicklung der Beiträge Erneuerbarer Energien zur Stromproduktion in den Jahren 1996 bis 1998. Circa 4 bis 5 % der Strommenge wurden durch Erneuerbare Energien erzeugt. Den Hauptanteil hierbei lieferte mit 70 bis 75 % die Wasserkraft, gefolgt von Windkraft mit 9 % im Jahr 1996 und 17 % im Jahr 1998. Hier sind die größten Steigerungsraten zu verzeichnen. Der Anteil der Biomasse ist hierbei verschwindend gering.

¹² Quelle: BMWI EnergieDaten 2000, Seite 24.

Abbildung 2.2: Anteil der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland an der Gesamtstromproduktion



Quelle: VDEW: Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW); www.strom.de (Stand 20.01.03).

2.2.3 Entwicklung der Biodieselproduktion

Die Produktion von Biodiesel stieg im letzten Jahrzehnt stetig an. Wurden 1992 noch 5.000 t RME produziert, so waren im Jahr 1999 100.000 t zu verzeichnen. Gemessen am Gesamtdieserverbrauch in Deutschland (bezogen auf den Inlandsabsatz) entsprach dies jedoch nur einem Anteil von 0,3 % (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Inlandsabsatz von Dieselkraftstoff und produzierter Biodiesel in den Jahren 1990 bis 1999

Jahr	Dieselmkraftstoff	Biodiesel
	1.000 Tonnen	
1991	22.823	0
1992	23.876	5
1993	25.084	10
1994	25.549	25
1995	26.208	45
1996	25.982	60
1997	26.186	100
1998	27.106	100
1999	28.775	100

Quelle: Mineralölwirtschaftsverband (MWW) (2000); Ufop (1999).

In den Jahren 2000 und 2001 wurden starke Produktionssteigerungen verzeichnet: 2001 lag der Biodieselsatz bei 400.000 Tonnen, was einem Beitrag von 1,5 % des Dieselsatzes entspricht. Dieser Anstieg liegt in der vermehrten Nachfrage infolge hoher Ölpreise in den Jahren 2000 und 2001 begründet.

2.2.4 Biomasse in der landwirtschaftlichen Produktion

Die Produktion von Energiepflanzen und Bereitstellung von energetisch nutzbaren Reststoffen ist Konkurrenzbeziehungen ausgesetzt: Innerhalb der landwirtschaftlichen Produktion ergeben sich Konkurrenzen in Form alternativer Verwendungsmöglichkeiten der Produktionsfaktoren Arbeit, Boden und Kapital zur Herstellung sonstiger Agrarprodukte, in erster Linie Nahrungsmittel. Die Entscheidungen, Biomasse für die energetische Verwendung zur Verfügung zu stellen, ergeben sich ergänzend aus Überlegungen der alternativen Verwendung in Form von Futtermitteln (z. B. Triticale) oder zur Bodenverbesserung (z. B. Stroh).

Die Produktion von Energiepflanzen konzentrierte sich in der Vergangenheit auf stillgelegte Flächen. Seit der Reform der gemeinsamen Agrarpolitik von 1992 (siehe dazu Kapitel 2.3) dürfen stillgelegte Flächen für den Anbau genutzt werden, wenn die Rohstoffe ausschließlich zu Nichtnahrungsmitteln verarbeitet werden, wobei der Erzeuger die Stilllegungsprämie weiterhin erhält. Dies stellt einen hohen Produktionsanreiz dar. Die Kontrolle der Verwendung von Rohstoffen, die auf Stilllegungsflächen angebaut werden, wird zentral von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) übernommen. Deshalb liegt umfangreiches Datenmaterial über den Produktionsumfang vor.

Die in Deutschland bedeutendste Energiepflanze – gemessen am Anbauumfang auf stillgelegten Flächen – ist der Non-Food-Raps. Von 1993 bis 1995 wurde ein starker Anstieg der Non-Food-Rapsfläche auf Stilllegungsflächen verzeichnet (Tabelle 2.3).

Mit Absenkung des Flächenstilllegungssatzes im Jahr 1997 von 10 auf 5 % der Basisfläche ging die Anbaufläche zurück, jedoch wurden nach wie vor ca. 25 % der obligatorisch stillgelegten Flächen genutzt (im Jahr 1998 sogar 35 %). In den Jahren 1999 und 2000 wurde ein Anstieg des Anbauumfangs auf 360.000 bzw. 333.000 ha verzeichnet. Circa 80 bis 90 % des angebauten Non-Food-Raps wurde energetisch verwertet. Über diesen Produktionsumfang hinaus wird Non-Food-Raps auch auf nicht stillgelegten Flächen angebaut. Die Entwicklung des Gesamtumfangs ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Der Anteil des Rapsanbaus an der Gesamtnutzung stillgelegter Flächen für nachwachsende Rohstoffe beläuft sich auf 80 bis 97 % (Tabelle

2.3), sonstige nachwachsende Rohstoffe haben demnach einen nur geringen Stellenwert. Für die Produktion von Energiepflanzen wurden in den Jahren 1993 bis 2000 somit jeweils ca. 1 bis 4 % der Ackerfläche Deutschlands verwendet.

Tabelle 2.3: Umfänge der sektoralen Flächenstilllegung sowie Non-Food-Raps auf obligatorischer Stilllegung

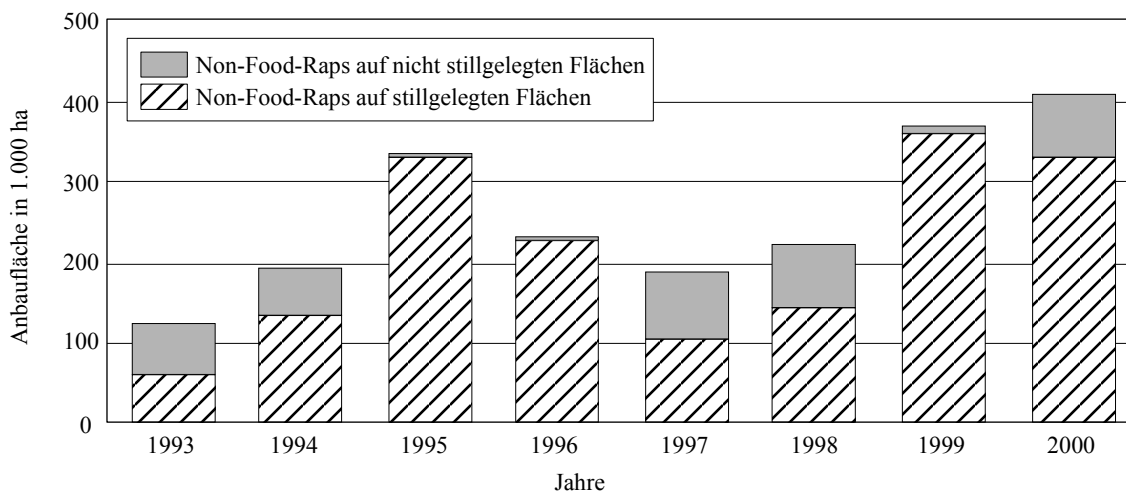
	1993	1994	1995	1996	1997	1998 ¹
	1.000 ha					
Freiwillige Flächenstilllegung ²	411	221	155	503	417	412
Obligatorische Stilllegung	1.050	1.392	1.325	790	408	409
Summe	1.461	1.612	1.480	1.293	825	821
Non-Food-Raps auf obligatorischer Stilllegung	60	133	331	227	106	143
<i>Non-Food-Raps auf obligatorischer Stilllegung in %</i>	<i>5,8</i>	<i>9,5</i>	<i>25,0</i>	<i>28,7</i>	<i>26,1</i>	<i>35,0</i>
<i>Anteil Raps an der Gesamtnutzung der Flächenstilllegung in %</i>	<i>92,4</i>	<i>82,6</i>	<i>91,4</i>	<i>95,9</i>	<i>96,4</i>	<i>96,7</i>

¹ Ohne auslaufende 5-Jahresstilllegung.

² Inkl. auslaufende 5-Jahresstilllegung.

Quelle: Agrarbericht der Bundesregierung, versch. Jahrgänge.

Abbildung 2.3: Entwicklung der Non-Food-Rapsproduktion auf stillgelegten und nicht stillgelegten Flächen 1993 bis 2000



Quelle: Agrarbericht der Bundesregierung, versch. Jahrgänge.

2.2.5 Fazit

Wie im vorangegangenen Kapitel dargelegt wurde, stieg der Anteil der Erneuerbaren Energien, hierbei auch die Biomasse, am Primärenergieverbrauch in den letzten Jahren stetig, er bleibt mit 1,5 % jedoch gering.

Die Stromproduktion aus Erneuerbaren Energieträgern stieg in den Jahren 1996 bis 2001 auf ca. 7 % an. Hierbei dominiert die Wasserkraft mit ca. 70 %, Biomasse hat dabei mit einem Anteil von 4 % nur einen untergeordneten Stellenwert.

Der Beitrag von Biodiesel zum Gesamtverbrauch an Dieseltreibstoff ist mit bis zu 1,5 % als gering einzustufen. Durch hohe Ölpreise in den Jahren 2000 und 2001 wurde jedoch ein starker Anstieg der Produktionskapazitäten und der Nachfrage hervorgerufen.

In der landwirtschaftlichen Produktion dominiert Non-Food-Raps andere Energiepflanzen. Energiepflanzen wie Pappeln im Kurzumtrieb, Energiegetreide oder Miscanthus haben sich in der Vergangenheit noch nicht durchsetzen können. Scheinbar liegen hier Wettbewerbsnachteile vor.

2.3 Energie- und agrarpolitische Rahmenbedingungen

Energie- und agrarpolitische Rahmenbedingungen haben Einfluss auf die Produktion und Nutzung Erneuerbarer Energien. Wichtige Einflussgrößen sind die Steuer- und Subventionspolitik, die Regelungen zur obligatorischen Flächenstilllegung (wie in Kapitel 2.2 dargelegt wurde) sowie die Regelungen der Anbaumöglichkeiten für Non-Food-Produkte.

Es besteht das energiepolitische Ziel, Treibhausgasemissionen zu vermindern. Als ein Mittel für die Erreichung dieses Ziels wird die verstärkte Nutzung Erneuerbarer Energien angesehen, da bei der energetischen Nutzung von Biomasse ein geschlossener CO₂-Kreislauf besteht.

Im Folgenden wird ein Überblick über diese für die Produktion und Nutzung von Biomasse relevanten Politikbereiche gegeben und die potenziellen Wirkungen jüngst geänderter Rahmenbedingungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der Biomasseproduktion abgeleitet.

2.3.1 Energiepolitik

Energiepolitik wird definiert als der „Bereich der sektoralen Wirtschaftspolitik, durch die der Staat die Energiewirtschaft beeinflusst, mit dem Ziel der 'Gewährleistung einer längerfristig sicheren, kostengünstigen und umweltgerechten Energieversorgung'“.¹³

2.3.1.1 Energiepolitisches Ziel: Klimaschutz

Zielsetzungen für die aktuellen Gesetzesänderungen entspringen den Verpflichtungen, die in der **Klimarahmenkonvention**¹⁴ von 1992 und im Klimaprotokoll von Dezember 1997 („**Kyoto-Protokoll**“) eingegangen wurden. Die Industrieländer haben sich rechtsverbindlich verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren. Für die Annex I-Staaten¹⁵ wurden Minderungsziele vereinbart, die sich auf sechs Treibhausgasgruppen beziehen.¹⁶ Für die Nicht-Annex I-Staaten wurden keine spezifischen Minderungsziele vereinbart. Als Zielkorridor wurden die Jahre 2008 bis 2012 festgelegt.¹⁷ Einen Überblick über die Minderungsziele gibt Tabelle 2.4.

Die Europäische Union hat sich als Gemeinschaft verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen um 8 % gegenüber 1990 zu vermindern (vgl. Tabelle 2.4). Die Minderungsbeiträge der einzelnen Mitgliedsstaaten wurden nach einem differenzierten Schlüssel berechnet. Hiernach tragen Deutschland und Großbritannien den (absoluten) Hauptbeitrag, wohingegen Portugal, Griechenland, Spanien, Irland und Schweden den Ausstoß an Treibhausgasen steigern dürfen (vgl. Tabelle 2.5).

¹³ Nach OLSEN und PIEPENBROCK (1993, S. 95), zitiert in BRAUCH (1997, S. 6).

¹⁴ United Nations Framework Convention on Climate Change = UNFCCC.

¹⁵ Als Annex I-Staaten werden die Länder der OECD sowie die früheren Ostblockstaaten bezeichnet.

¹⁶ Diese sechs Treibhausgasgruppen sind: Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid, wasserstoffhaltige und perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid.

¹⁷ Basisjahr bildet für die Treibhausgase Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid das Jahr 1990; für Schwefelhexafluorid, wasserstoffhaltige und perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe das Jahr 1995.

Tabelle 2.4: Minderungsziele für Treibhausgasemissionen (Prozent CO₂-Äquivalentemissionen) 2008 bis 2012, bezogen auf 1990 (3. Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto, Dezember 1997)

Land oder Ländergruppe	Minderungsziel
EU	8%
OECD (ohne EU)	-6% (Zunahme)
dar.: Australien	-8% (Zunahme)
Kanada	6%
Island	-10% (Zunahme)
Japan	6%
Neuseeland	0%
Norwegen	-1% (Zunahme)
Schweiz	8%
USA	7%
Im Übergang befindliche Länder	-1% (Zunahme)
dar.: Russland, Ukraine	0%
Kroatien	5%
Polen, Ungarn	6%
Bulgarien, Tschechien, Estland, Lettland, Litauen, Rumänien, Slowakei, Slowenien	8%
Alle Annex I-Staaten zusammen	5%

Quelle: SCHAFHAUSEN (1998), BRAUNE (1998).

Tabelle 2.5: Reduktionsverpflichtungen und Obergrenzen für Treibhausgasemissionen der EU-Mitgliedsstaaten, bezogen auf ihre 1990er Emissionen

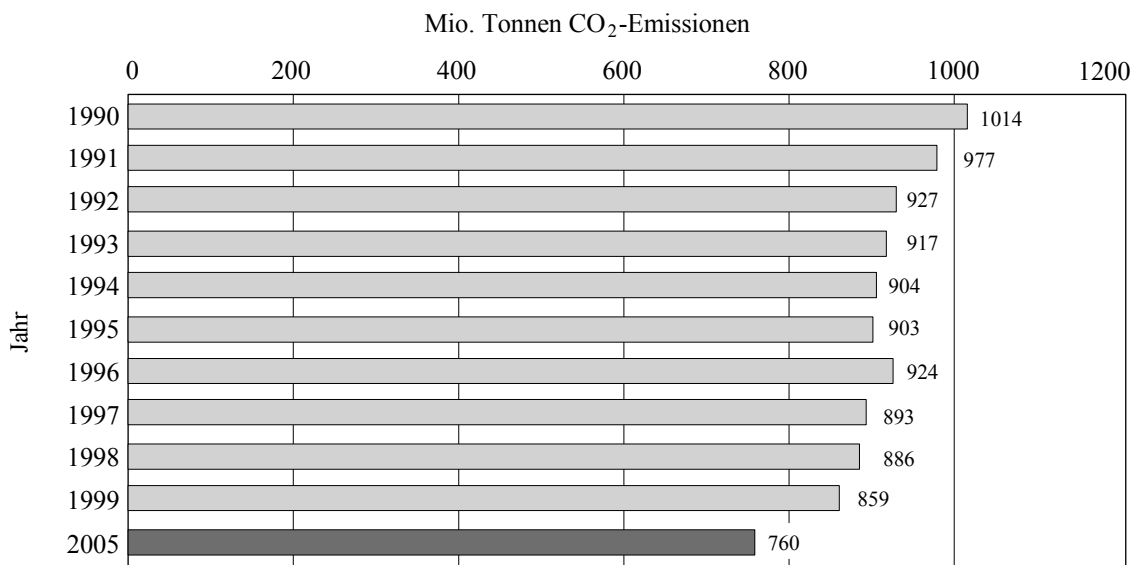
Land	Reduktionsverpflichtungen	Emissionsobergrenzen
Luxemburg	-28 %	
Deutschland	-21 %	
Dänemark	-21 %	
Österreich	-13 %	
Großbritannien	-12,5 %	
Belgien	-7,5 %	
Italien	-6,5 %	
Niederlande	-6 %	
Finnland, Frankreich	+/-0 %	
Schweden		+4 %
Irland		+13 %
Spanien		+15 %

Quelle: BMU (2000).

Klimaschutzziele Deutschlands. Deutschland hat sich das energiepolitische Ziel gesetzt, die energiebedingten, jährlichen CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2005 um 25 % gegenüber dem Jahr 1990 auf 760 Mio. t zu vermindern.¹⁸ Die technologie- und energieträgerbezogenen Ziele belaufen sich auf die Punkte:¹⁹ (1) Verdopplung des Anteils Erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2010 und weitere Steigerung der Erneuerbaren Energien nach 2010, (2) Ausbau der Kraft-Wärmekopplung durch eine Quotenregelung und (3) Steigerung der Energieproduktivität.

Zwischen 1990 und 1999 ist eine Minderung der CO₂-Emissionen um ca. 15,5 % zu verzeichnen (siehe Abbildung 2.4). Daraus folgt, dass bis zum Jahr 2005 Maßnahmen eingesetzt werden müssen, die zu einer jährlichen Einsparung der CO₂-Emissionen von ca. 100 Mio. t führen.

Abbildung 2.4: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 1999 sowie Ziel im Jahr 2005



Quelle: IMA (2000, S. 167).

¹⁸ IMA (2000), S. 8.

¹⁹ BMU (2000b), S. II.

2.3.1.2 Maßnahmen im Bereich Biomasse

Der Einsatz Erneuerbarer Energien vermeidet heute ca. 13,5 Mio. t CO₂.²⁰ Es wird für möglich gehalten, durch Erneuerbare Energien als Substitut für fossile Energie bis zum Jahr 2005 CO₂-Emissionen von jährlich zusätzlich 13 bis 15 Mio. t einzusparen. Dies sind 1,3 bis 1,5 % der Emissionen des Jahres 1990, bzw. 13 bis 15 % der verbleibenden Deckungslücke bis 2005. Im Vergleich hierzu wird angestrebt, durch Maßnahmen im Verkehr jährlich 15 bis 20 Mio. t CO₂ und durch Maßnahmen im Gebäudebereich 18 bis 25 Mio. t CO₂ einzusparen. Dem Bereich „Erneuerbare Energien“ wird also ein nennenswerter Beitrag zugesprochen.

Im Koalitionsvertrag der Regierungsparteien des Jahres 1998 werden die Zielsetzungen für den Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse in allgemeiner Form im Zusammenhang mit denen für alle anderen erneuerbaren Energieträger formuliert:²¹

„Wir werden den Einsatz regenerativer Energieträger fördern und diese durch die ökologische Steuerreform nicht belasten. Damit verbessern wir die preisliche Wettbewerbsfähigkeit der Erzeugung und des Handels Erneuerbarer Energien. Auch für die Stromerzeugung aus Kraftwerken mit hohen Wirkungsgraden werden wir Anreize schaffen.“

In den Jahren 1998 bis 2000 wurden folgende, die energetische Nutzung von Biomasse betreffenden energiepolitischen Maßnahmen in Kraft gesetzt:

- Ökologische Steuerreform
- Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG)
- Markteinführungsprogramm für Erneuerbare Energien

Ökologische Steuerreform. Die ökologische Steuerreform, die am 1. April 1999 eingeführt wurde, sieht eine Erhöhung der Energiekosten bei gleichzeitiger Senkung der Personalkosten vor. Mit dieser Steuerreform wurden das Mineralölsteuergesetz und die Mineralölsteuerverordnung geändert und ein Stromsteuergesetz sowie eine Stromsteuerverordnung eingeführt. Die **Mineralölsteuer** wird um 0,03 €/l

²⁰ IMA (2000) S. 174.

²¹ BMU (2000a), Punkt 3.3.

(0,06 DM/l)²² auf Kraftstoffe, um 0,02 €/l (0,04 DM/l) auf Heizöl erhöht. Bis zum Jahr 2003 wird die Steuer auf Kraftstoffe um jeweils weitere 0,03 €/l (0,06 DM/l) erhöht. Heizöl wird im Gegensatz zur ersten Stufe nicht weiter belastet. Treibstoff aus Biomasse bleibt von der Mineralölsteuer befreit. Die resultierenden Steuersätze sind in Tabelle 2.6 zusammengefasst. Das **Stromsteuergesetz (StromStG)** von November 1999 sieht progressive Steuertarife vor, die sich bis zum Jahr 2003 jährlich um 0,26 €/kWh (0,5 Pf/kWh auf 20,50 € (40 DM) pro Megawattstunde angehoben werden (Tabelle 2.6). Befreit von der Steuer ist u. a. solcher Strom, der aus Erneuerbaren Energien erzeugt wird „und aus einem, ausschließlich aus solchen Energieträgern gespeisten Netz oder entsprechender Leitung entnommen wird“.²³ Für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes und der Land- und Forstwirtschaft gelten auf 20 % des Regelsatzes ermäßigte Steuersätze.²⁴ Aus den Einnahmen der ökologischen Steuerreform fließen 102 Mio. € (200 Mio. DM) in Förderprogramme für den verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energien.²⁵

Tabelle 2.6: Steuersätze für Strom und Treibstoffe aus fossilen Rohstoffen unter Einbezug der Steuerreform von 1999 bis nach 2003

Energieträger		vor Steuerreform		1999	2000	2001	2002	ab 2003		
Strom	€/MWh	-	-	20	10	25	13	15	18	20
Dieselmotorkraftstoff	€/1.000 l	620 ¹⁾	317	680	348	740	378	409	440	470
Benzin										
unverbleit	€/1.000 l	980	501	1.040	532	1100	562	593	624	654
verbleit	€/1.000 l	980	501	1.140	583	1200	614	644	675	706
Heizöl	€/1.000 l	80	41	120	61	120	61	61	61	61

1) Kursive Zahlen: DM/Einheit

Quelle: Mineralölsteuergesetz (MinöStG).

Stromsteuergesetz (StromStG).

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Das Gesetz zum Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)) ersetzte im April 2000 das Strom-

²² Für die Umrechnung von DM zu Euro wurde der amtliche Umrechnungskurs verwendet: 1 Euro entspricht demnach 1,95583 DM. Für gesetzliche Vorgaben vor der Euro-Einführung wurden beide Währungen dargelegt und der Euro-Betrag, falls aus Darstellungsgründen sinnvoll, gerundet.

²³ StromStG § 9, Absatz 1.

²⁴ StromStG § 9, Absatz 3.

²⁵ IMA (2000) S. 178.

einspeisungsgesetz.²⁶ Diesem Gesetz liegt das Ziel der Bundesregierung zugrunde, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis zum Jahr 2010 auf 10 % verdoppeln. Netzbetreiber müssen nun die Einspeisung von Biostrom vorrangig behandeln.²⁷ Die Vergütung für eingespeisten „Biostrom“ wird, abweichend vom ursprünglichen Stromeinspeisungsgesetz nicht mehr prozentual nach den durchschnittlichen Strompreisen bestimmt, sondern mit festen Beträgen pro Kilowattstunde differenziert nach verschiedenen Energiesparten ausgestaltet. Mit dieser Neuregelung soll die aufgrund sinkender Strompreise bestehende Planungs- und Investitionsunsicherheit ausgeräumt werden. Die Vergütung für Strom aus Biomasse wird je nach elektrischer Leistung der Verbrennungsanlage wie folgt festgesetzt:²⁸ (1) 0,10 €/kWh²⁹ bis zu 500 kW, (2) 0,09 €/kWh³⁰ bis zu 5 MW, (3) 0,09 €/kWh³¹ ab 5 bis 20 MW. Diese Mindestvergütung wird ab 2002 jeweils um 1 % gesenkt.³² Ausgenommen von der Mindestvergütung sind Anlagen, die zu über 25 % dem Staat gehören sowie solche mit einer elektrischen Leistung von über 20 MW.³³ Des Weiteren wurde die „5 %-Grenze“ abgeschafft.

Als eine Grundlage für das EEG wurde im April 1998 das **Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)** novelliert. Die bisherige Monopolstellung auf dem Strommarkt wurde beendet. Ziel war es, dadurch den Wettbewerb um Einzelkunden zu ermöglichen. Die Konzessions- und Demarkationsverträge, die laut altem Recht vom Kartellverbot freigestellt waren, wurden aufgehoben. Die Netzbetreiber wurden verpflichtet, fremden Stromerzeugern die Nutzung des Netzes für die Durchleitung zu gestatten.

Markteinführungsprogramm. Das **Markanreizprogramm zugunsten Erneuerbarer Energien** sieht als Investitionsförderungsprogramm die Förderung von der

²⁶ Das Stromeinspeisungsgesetz regelte „die Abnahme und die Vergütung von Strom, der ausschließlich aus Wasserkraft, Windkraft, Sonnenenergie, Deponiegas, Klärgas oder aus Biomasse gewonnen wird durch öffentliche Elektrizitätsversorgungsunternehmen“. Für erneuerbare Energieträger wurde ein Vergütungspreis von 65 % des durchschnittlichen Strompreises festgelegt.

²⁷ Erneuerbare-Energien-Gesetz § 3.

²⁸ Erneuerbare-Energien-Gesetz § 5.

²⁹ 20 Pf/kWh.

³⁰ 18 Pf/kWh.

³¹ 17 Pf/kWh.

³² Erneuerbare-Energien-Gesetz § 5.

³³ Erneuerbare-Energien-Gesetz § 2.

Errichtung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse zur Wärmeerzeugung,

- Errichtung und Erweiterung von Anlagen zur Gewinnung und Nutzung von Biogas aus Biomasse zur Stromerzeugung oder zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung KWK)) und die
- Errichtung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse zur kombinierten Wärme-Strom-Erzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung)

vor.³⁴ Für dieses Investitionsprogramm wurden für die Jahre 1999 bis 2003 0,5 Mrd. € (1 Mrd. DM) bereitgestellt.³⁵

2.3.1.3 Fazit

In den aktuellen energiepolitischen Entwicklungen zeichnen sich eindeutige Ziele und eingeleitete Maßnahmen in Richtung einer verstärkten energetischen Nutzung von Biomasse ab.

Tabelle 2.7 stellt die derzeitigen energiepolitischen Rahmenbedingungen zusammen und zeigt ihre Wirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der Energieproduktion aus Biomasse auf.

Tabelle 2.7: Aktuelle energiepolitische Rahmenbedingungen und ihre Wirkungen auf die Energieproduktion aus Biomasse

Rahmenbedingungen	Wirkung
<i>Marktanreizprogramm</i>	Senkung der Investitionskosten von Biomasseanlagen Minderung des Investitionsrisikos
<i>Erneuerbare-Energien-Gesetz</i>	Stärkung der Planungssicherheit für Produzenten von Biostrom durch erhöhte Vergütungssätze und entfallender Abhängigkeit vom aktuellen Strompreis
<i>Ökologische Steuerreform: Mineralölsteuergesetzgebung Stromsteuergesetzgebung</i>	Steigerung fossiler Brennstoffkosten, Steigerung des Wettbewerbsvorteils von Biodiesel und von Biostrom durch Herausnahme aus der Besteuerung

Quelle: Eigene Darstellung.

³⁴ Darüber hinaus wird die Errichtung von Solarkollektoranlagen; Errichtung von Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie; netzgekoppelter Photovoltaikanlagen in Schulen; die Errichtung, Erweiterung und Reaktivierung von kleinen Wasserkraftanlagen gefördert.

³⁵ IMA (2000) S. 31.

Mit der Ökologischen Steuerreform steigen die Preise für konventionelle Energien, wobei sich die Preisrelationen zwischen Erneuerbaren Energien und konventionellen Energien zugunsten der Erneuerbaren Energien verschieben. Die Ausnahme des Biodiesels aus der Mineralölsteuer stärkt dessen Wettbewerbsfähigkeit.

Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wurden „Garantiepreise“ für Biostrom eingeführt. Somit entfällt die Preisabhängigkeit vom jeweils aktuellen Strompreis. Diese vorgesehenen hohen Vergütungssätze stärken die Planungssicherheit für Biostromproduzenten. Hierdurch wird für die Netzbetreiber jedoch eine Erhöhung der Einkaufspreise für Erneuerbare Energie verursacht.

Die Einführung der Investitionsförderung im Rahmen des Marktanzreizprogramms mindert das Investitionsrisiko bei der Errichtung von Biomasseanlagen.

2.3.2 Agrarpolitik

Agrarpolitik definieren HENRICHSMEYER und WITZKE (1991) als „die Gesamtheit aller Bestrebungen und Maßnahmen, die darauf abzielen, die ordnungspolitischen Rahmenbedingungen für den Agrarsektor zu gestalten und den Ablauf der ökonomischen Prozesse im Agrarsektor zu beeinflussen“.³⁶

Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen üben Einfluss auf die relativen Wettbewerbsstrukturen zwischen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren aus und haben somit im Bereich der Biomasse angebots- statt nachfragesteuernden Charakter. Bezugspunkte zur Analyse der Einflüsse auf die Menge der produzierten Biomasse sind bei Betrachtung eines Standorts – also unter Vernachlässigung regional unterschiedlicher Produktionskosten und Ertragsrelationen – unter anderem:

- **Preispolitik:** Höhe der Preise und Preisrelationen der Produkte untereinander (abhängig von Preisstützung; Interventionspolitik)
- **Subventionspolitik:** Höhe der flächenbezogenen Prämien und Verhältnisse der Prämienzahlungen unterschiedlicher, land- und forstwirtschaftlicher Flächennutzungen

³⁶ HENRICHSMEYER und WITZKE (1991, S. 13).

- **Politik der Mengensteuerung:** Festlegung des Satzes für die obligatorische Flächenstilllegung als Bedingung für die Auszahlung von Flächenprämie für Ackerkulturen
- Ausgestaltung der **sonstigen**, die Biomasse betreffenden Rahmenbedingungen (z. B. Modalitäten für die Nutzung von stillgelegten Flächen)

2.3.2.1 Entwicklungen der Agrarpolitik seit 1990

Die beiden wesentlichen Veränderungen der Agrarpolitik im letzten 10 Jahrzehnt sind die Reform der gemeinsamen EU-Agrarpolitik vom Mai 1992 und die Beschlüsse zur Agenda 2000 von März 1999.

Mit dem **Reformpaket von 1992** wurde das Ziel verfolgt, die Markt- und Preispolitik an den Markterfordernissen auszurichten und Einkommensziele durch den Einsatz anderer Mittel zu erreichen. Es wurden für den pflanzlichen Bereich folgende konkrete Maßnahmen beschlossen:³⁷

- Senkung der Agrarpreise: Absenkung der Interventionspreise für Getreide im Laufe einer dreijährigen Übergangsfrist um 40 %
- Kompensation von Einkommensverlusten durch Ausgleichszahlungen in Form von Flächenprämien, die in Abhängigkeit von regionalen Durchschnittserträgen berechnet werden
- Produktionssteuerung durch direkte Mengenbegrenzungen: Voraussetzung für den Erhalt der Flächenprämien ist die Teilnahme an der obligatorischen Flächenstilllegung, deren Höhe jedes Jahr in Abhängigkeit von der Marktlage festgesetzt wird³⁸
- Auf stillgelegten Flächen können nachwachsende Rohstoffe angebaut werden. Um sicherzustellen, dass die Ernteprodukte nicht als Nahrungsmittel verwendet werden, müssen für die angebauten Rohstoffe Abnahmeverträge mit einem Käufer oder Erstverarbeiter abgeschlossen werden

Die **Agenda 2000** wurde vom Europäischen Rat am 26. März 1999 in Berlin beschlossen. Im pflanzlichen Bereich zielt diese Reform durch die Einführung einer

³⁷ Siehe die Darstellung in HENRICHSMEYER und WITZKE (1994, S. 582 ff.).

³⁸ Ausgenommen von der Flächenstilllegungspflicht sind die sogenannten Kleinerzeuger mit einem Produktionspotenzial von bis zu 92 t Getreide.

einheitlichen Prämie für Getreide, Ölsaaten und Flächenstilllegung auf produktionsunabhängigere Prämienzahlungen ab. Damit einher gehen Preissenkungen für landwirtschaftliche Produkte. Auf stillgelegten Flächen dürfen weiterhin Rohstoffe zur Erzeugung von Nichtnahrungsmitteln angebaut werden.

Der Satz der **obligatorischen Flächenstilllegung** wird in Abhängigkeit von der Entwicklung des Weltmarktpreises für Getreide festgelegt. Die Anbaubedingungen für Rohstoffe, die auf stillgelegten Flächen angebaut werden dürfen, werden vereinfacht. In Zukunft entfällt die zwangsweise Abgabe der produzierten Rohstoffe an einen Endnutzer, so dass den Landwirten die eigene Nutzung der produzierten Rohstoffe von stillgelegten Flächen ermöglicht wird.

2.3.2.2 Maßnahmen im Bereich des Klimaschutzes

Im Rahmen des nationalen Klimaschutzprogramms wurde ein Arbeitskreis „Land- und Forstwirtschaft“ eingerichtet. Dieser Arbeitskreis hat die Aufgabe „Beiträge der Land- und Forstwirtschaft zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung aufzuzeigen“.³⁹

Es wurde ein Maßnahmenkatalog entwickelt, der sich unter anderem auf die Reduzierung der CH₄-, N₂O- und NH₃-Emissionen sowie Investitionsförderung für den Bau von Anlagen zur Verringerung der Emissionen abzielen. Die Förderung der verstärkten Nutzung Erneuerbarer Energie aus Biomasse und Biokraftstoffen ist ein Teil dieses Maßnahmenkatalogs.

Die vorgesehenen Programme, die den Bereich Biomasse betreffen, umfassen (1) die Förderung innovativer Projekte im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse. Hierzu werden jährlich 26 Mio. € (51 Mio. DM) veranschlagt. (2) Das Markteinführungsprogramm Erneuerbare Energien (siehe Kapitel 2.3.1). (3) Programme im Bereich „Biogene Treib- und Schmierstoffe“ (für dieses Programm werden 2,56 Mio. € (5 Mio. DM) im Jahr 2000 und 10,2 Mio. € (20 Mio. DM) in den Jahren 2001 und 2002 bereitgestellt).⁴⁰

³⁹ IMA (2000) S. 290.

⁴⁰ IMA (2000) S. 311.

2.3.2.3 Fazit

Die Neuregelungen der Reform von 1992 gaben ökonomische Anreize für den Anbau nachwachsender Rohstoffe. Dies liegt darin begründet, dass der Anbau von Rohstoffen auf obligatorisch stillzulegenden Flächen nicht mit der Nahrungsmittelproduktion konkurrieren und die Opportunitätskosten des Bodens auf diesen Flächen bei null liegen.

Gegenüber der Reform von 1992 werden durch die Bestimmungen der Agenda 2000 die Wettbewerbsbedingungen für Biomasse auf stillgelegten Flächen nicht weiter verbessert. Jedoch werden durch die vereinfachten Regelungen für den Anbau von Energiepflanzen auf stillgelegten Flächen vormals bestehende Barrieren gemindert, was durch die Befreiung des Biodiesels von der Besteuerung verstärkt wird.

2.4 Methodische Einordnung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde gezeigt, dass die Biomasse u. a. aufgrund von Wettbewerbsnachteilen derzeit einen nur geringen Stellenwert innerhalb der land- und forstwirtschaftlichen Produktion sowie innerhalb der Energienutzung in Deutschland einnimmt. Aktuelle Entwicklungen der politischen Rahmenbedingungen zeigen jedoch, dass auf eine verstärkte Produktion und Nutzung Erneuerbarer Energien, und hier auch die Biomasse, hingewirkt werden soll und sich die Wettbewerbsfähigkeit der Biomasse tendenziell verbessert. Nun erfolgt eine methodische Einordnung der vorliegenden Arbeit.

Ziel der Arbeit ist es, Produktionsmengen und Produktionsstandorte der Biomasseerzeugung abzuschätzen. Dabei sollen zwei Analyseschwerpunkte gesetzt werden: (1) Wie wird sich die Biomasseproduktion unter derzeitigen politischen Rahmenbedingungen entwickeln? und (2) Wie sollte die Biomasseproduktion unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten gestaltet sein?

Bisherige Arbeiten von Wissenschaftlern, die auf solche Fragen Antworten zu geben versuchen, lassen sich methodisch in zwei Gruppen einteilen:

- Potenzialabschätzungen
- Wirtschaftlichkeitsanalysen

Im folgenden werden diese Kategorien kurz skizziert und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile bewertet.

2.4.1 Potenzialabschätzungen

Potenzialabschätzungen haben das Ziel, die maximal mögliche Biomassemenge in einem bestimmten Raum abzuschätzen. Zur Abschätzung der technischen (Maximal-) Potenziale der Biomasse wird die Flächen- und Bestandsstatistik des Statistischen Bundesamts (Stilllegungsflächen, Tierbestände, Durchschnittserträge) ausgewertet.⁴¹ Eine betriebswirtschaftliche Analyse bleibt aus.

Die Vorteile dieser Analysen bestehen in den folgenden Punkten: (a) Technische Potenzialabschätzungen liefern eine erste, grobe Abschätzung über maximal mögliche Mengen, die als Rohstoffe Verwendung finden können. (b) Sie zeichnen sich durch eine pragmatische Herangehensweise aus und sind somit in solchen Ländern einzusetzen, in denen die Datengrundlage für weitergehende Studien nicht ausreicht und (c) die verwendete statistische Datengrundlage ist sektorkonsistent.

Folgende Punkte bleiben bei Potenzialabschätzungen offen: (a) Die abgeschätzten Mengen einzelner Rohstoffe schließen sich aufgrund gleicher Datenbasis für den zur Verfügung stehenden Flächenumfang gegenseitig aus. Für Kombinationen von verschiedenen Flächennutzungen werden grobe Annahmen gebildet. (b) Die sich im Zeitablauf ändernde Flächennutzung (z. B. eine eventuelle Zunahme der Getreidefläche und das damit verbundene höhere Strohpotenzial) wird nicht berücksichtigt. (c) Agrar- und energiepolitische Rahmenbedingungen werden in die Analysen nicht einbezogen.

Die Methode der Potenzialabschätzung ist somit für Prognosen nur sehr eingeschränkt geeignet und kann nicht dazu beitragen, die Wirkungen politischer Maßnahmen auf die Anbauumfänge der Biomasseproduktion und ihre Zusammensetzung zu untersuchen. Untersuchungen zur Abschätzung des technischen Potenzials können somit als Information dafür gewertet werden, welche Grenzen des Biomasseeinsatzes grundsätzlich nicht überschritten werden können. Für eine unter gegebenen Rahmenbedingungen reale Beurteilung der Möglichkeiten, Biomasse einzusetzen, ist diese Art von Analysen jedoch nur sehr eingeschränkt nutzbar. Für die vorliegende Arbeit werden Potenzialabschätzungen deshalb nur als Rahmen für das maximal mögliche Biomasseangebot herangezogen.

⁴¹ Siehe z. B. KALTSCHMITT und WIESE (1993); BRÖCKELAND (1998).

2.4.2 Wirtschaftlichkeitsanalysen

Im Bereich der ökonomischen Analyse von Produktion und Bereitstellung von Biomasse werden **Wirtschaftlichkeitsanalysen** der Produktion unterschiedlicher Biomasserohstoffe durchgeführt, die jeweils eine hektarbezogene Kalkulation zur Grundlage haben.⁴² In diesen Analysen werden verschiedene Arten der Rohstoffbereitstellung miteinander verglichen. Oft werden die wirtschaftlichen Kalkulationen mit ökologischen Bilanzierungen gekoppelt.⁴³ Somit können „Rankings“ der Rohstoffe nach deren Vorteilhaftigkeit im Bereich der Produktionskosten und Umweltwirkungen gebildet werden.

Die Vorteile von Wirtschaftlichkeitsanalysen sind: (a) Es handelt sich um eine Methode, die für einen eng definierten Analyseraum klare Aussagen liefert. (b) Die Gegenüberstellung mehrerer Produktionsverfahren, deren Kosten und Umweltwirkungen nach dem jeweils gleichen Schema berechnet wurden, bietet eine gute Vergleichsmöglichkeit. (c) Durch die pragmatische Herangehensweise sowie durch die klar dargelegten Annahmen ist dem Leser die Möglichkeit gegeben, eigene „Szenarien“ zu bilden. (d) Im Vergleich zu den zuvor betrachteten Potenzialabschätzungen zeichnen sie sich durch höhere Prognosekraft aus, da die Rentabilität der Produktion in die Analyse einbezogen wird.

Bei dieser Methodik bleiben folgende Fragen unbeantwortet: (a) Bei hektarbezogenen Kalkulationen fehlt oft der regionale Bezug (Ertragsvariationen, Kostendifferenzen). Er lässt sich nur in Einzelfällen herstellen. (b) Es handelt sich um Ad-hoc-Ansätze, die wenig Kontinuität aufweisen. (c) Für sektorale Angebotsabschätzungen ist diese Methode mangels Hochrechnungsmöglichkeit nicht geeignet.

2.4.3 Einsatz ökonomischer Modelle für den Agrarbereich

Die zuvor besprochenen Potenzialabschätzungen können Beiträge zur Abschätzung maximal möglicher Biomasse mengen in Deutschland geben, Wirtschaftlichkeitsanalysen dagegen sind in der Lage, die Rentabilität der Biomasseproduktion in hektarbezogenen Kalkulationen zu berücksichtigen und somit Aussagen über die Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsverfahren an einem bestimmten Produktionsort zu

⁴² Siehe z. B. HARTMANN, STREHLER (1995) und GERSTENKORN (1995).

⁴³ Siehe auch KALTSCHMITT und REINHARDT (1997).

machen. Beide Analysemethoden sind aber für sich genommen nicht ausreichend für die Beantwortung der eingangs gestellten Fragen.

Die Analyse der Entwicklung des Biomassesektors in Deutschland erfordert eine zum Sektor konsistente und zugleich regional differenzierte Erfassung der landwirtschaftlichen Produktion. Darüber hinaus müssen die intrasektoralen Interdependenzen zwischen einzelnen Produktionsbereichen Berücksichtigung finden und zukunftsbezogene Abschätzungen ermöglicht werden.

Der Aufbau eines solchen Angebotsmodells für den deutschen Agrarsektor ist jedoch sehr zeitaufwändig. Es empfiehlt sich daher, an schon bestehende Modelle anzuknüpfen. Literaturanalysen zeigten, dass u. a. die in der folgenden Tabelle 2.8 aufgeführten Modelle in Betracht zu ziehen sind.

Für die vorliegende Arbeit wurde das **regionalisierte Agrar- und Umweltinformati- onssystem (RAUMIS)** als modellhafte Unterstützung gewählt. In diesem liegt für Deutschland eine komplette Datenbasis zur landwirtschaftlichen Produktion (außer Non-Food-Produktionsverfahren) in regionaler Auflösung vor.

Das Modell RAUMIS ist ein Instrument zur Abbildung und Analyse des deutschen Agrarsektors in regionaler Untergliederung (Landkreisebene). RAUMIS ist grundsätzlich zur Durchführung von Angebotsprognosen für alternative agrar- und umweltpolitische Rahmenbedingungen geeignet, wobei zukünftige Entwicklungen von Produktion, Faktoreinsatz und Wertschöpfung sowie Umweltwirkungen abgeschätzt werden können.

Durch seine regionale Aufgliederung und die bestehende sektorkonsistente Daten- grundlage ist RAUMIS prinzipiell für die Beantwortung der Fragestellungen geeig- net. Die Verfahren zur Biomasseproduktion lassen sich grundsätzlich in das Modell implementieren. Diese zeigen Modellanwendungen, in denen RAUMIS in der Ver- gangenheit für Analysen mit Bezug zu den nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt wurde.⁴⁴ Die damaligen Anwendungen betrafen allerdings nur die Alten Länder, wo- bei eine Vorversion des heutigen Modells zum Einsatz kam, und nur einen Teil der nunmehr untersuchten Produktpalette. Außerdem wurden die externen Kosten und Nutzen, die sich aus der energetischen Verwendung pflanzlicher Rohstoffe ergeben,

⁴⁴ Vgl. SCHEFKSI, KLEINHANSS (1995) und ZIMMERMANN (1993).

sowie ergänzende energiepolitische Rahmenbedingungen nicht in die Analysen einbezogen.

Tabelle 2.8: Beispiele für Agrarsektormodelle

Modell	Gegenstand	Ebene	Methodik und Datengrundlage	Output
RAUMIS WEINGARTEN (1995)	Agrarsektor Deutschland	Region Sektor	NLP, Angebotsmodell, prozeßanalytische Datengrundlagen: - landwirtschaftliche Fachstatistik - KTBL-Daten und andere Normdaten - Daten der landwirtschaftlichen Gesamtrechnung - Expertenwissen	Folgenabschätzungen für alter- native agrar- und umweltpoli- tische Rahmenbedingungen. Abschätzung zukünftiger Ent- wicklungen von Produktion, Faktoreinsatz und Wertschöp- fung sowie Umweltwirkungen.
POLYSYS WALSH et al. (2000)	Agrarsektor der USA Focus auf Switchgras, Weiden und Pappeln	Region	LP, gekoppeltes Angebots- und Marktmodell; USDA-Datengrundlage für Baseline (10 Jahre); 305 statistische Regionen der USA; 4 Land- nutzungsklassen, technische Koeffizienten für die pflanzliche und tierische Produktion in- klusive Futterproduktion, industrieller Export und Nachfragefunktionen; Identifizierung von Regionen, in denen Bioenergieträger angebaut werden können; Ausschluss aller anderen aus der Optimierung.	Analyse des Biomasseange- botes, Wirkungen auf Preise für konventionelle Produkte
ASMGHG Agricultural sector model for green- house gases Mc CARL et al. (2000)	Agrarsektor der USA, Focus auf Flüssigenergieträger	Region Sektor	63 Regionen der USA; "Rest der Welt" über Produktion und Handel abgebildet	Projektion der Landnutzung; Projektion von Emissions- änderungen durch projizierte Anpassung an geänderte Rah- menbedingungen; Effekte auf das landwirtschaftliche Ein- kommen; Wohlfahrtseffekte
Agrarsektormodell: gehört zur MAORIE- Familie ROZAKIS et al. (2000)	Agrarsektor Frank- reichs, Focus auf Flüssigenergieträger	Region Sektor	NLP mit PMP-Ansatz; gekoppeltes Angebots- und Marktmodell; "bi-level" programming; Kombination von Modellen für die Industrie und den Agrarsektor; regionale Abbildung des Agrarsektors, Maximierung des Einkommens.	Berechnung der Effizienz von Staatsausgaben

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von IERLAND et al. (2000) und angegebener Literatur.

3 Entwicklung der Analysemethode und der Datengrundlage

Um mit dem Agrarsektormodell RAUMIS die Entwicklung der Biomasseproduktion in Deutschland auf regionaler und sektoraler Ebene prognostizieren zu können, ist eine Weiterentwicklung der bestehenden Modellgrundlage notwendig.

Ausgehend von der Darstellung des grundsätzlichen Aufbaus von RAUMIS werden in diesem Kapitel zunächst die Erfordernisse an die Anpassung und Erweiterung dieses Modells im Hinblick auf die Zielsetzung sowie das methodische Konzept dargestellt. Anschließend wird die Datengrundlage für die regionale Abbildung der Biomasseproduktionsverfahren geschaffen. Als Vorbereitung für die Modellanwendungen wird die sogenannte „Äquivalenzkostenmethode“ entwickelt. Diese dient der theoretischen Erzeugerpreisberechnung für Biomasse. Das Kapitel schließt mit der Vorstellung der Methodik zur Szenarioauswertung.

3.1 RAUMIS als Methodik für die Angebotsanalyse

3.1.1 Genereller Ansatz und Anwendungsmöglichkeiten⁴⁵

Das Kernstück von RAUMIS ist ein regionalisiertes, nichtlineares Programmierungsmodell. Das deutsche Wirtschaftsgebiet wird in ca. 350 Modellkreise unterteilt. Jeder dieser Modellkreise wird durch einen **Regionshof** repräsentiert, der wiederum durch eine bestimmte Ausstattung an Primärfaktoren, spezifischen Produktionsfunktionen sowie durch bestimmte wirtschaftliche Verhaltensweisen gekennzeichnet ist.

Formal kann das Modell als Gleichungssystem mit drei Funktionstypen betrachtet werden:⁴⁶

- (1) Zielfunktion, in der die Nettowertschöpfung zu Faktorkosten für jeden einzelnen Regionshof maximiert wird,

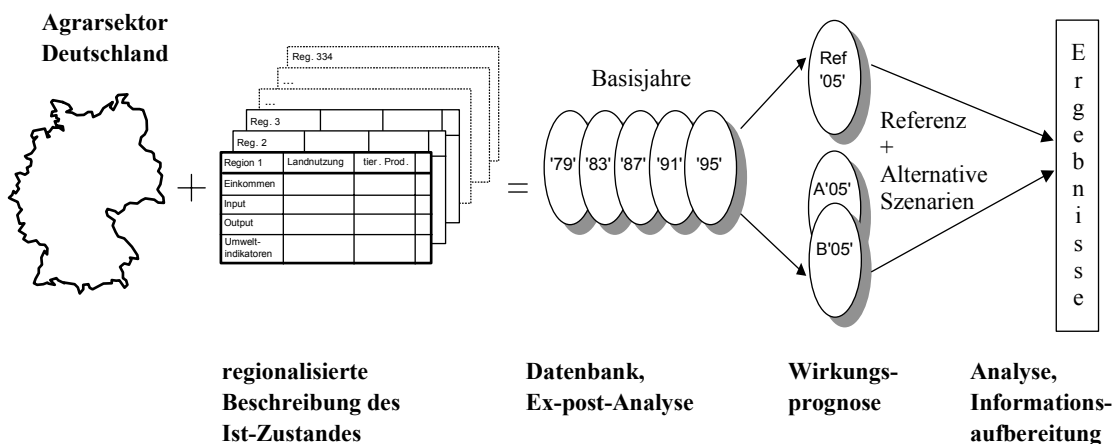
⁴⁵ Das Modellsystem RAUMIS wurde im Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie der Universität Bonn entwickelt. Ausführliche Beschreibungen des Modellsystems sind u. a. zu finden in WEINGARTEN (1995); HENRICHSMEYER et al. (1996); LÖHE (1998); MEUDT (1999) und CYPRIS (2000).

⁴⁶ CYPRIS (2000, S. 19).

- (2) Nebenbedingungen, in der Randgrößen wie die zur Verfügung stehende Fläche und Beziehungen zwischen einzelnen Verfahrensalternativen vorgegeben werden, und
- (3) Nichtnegativitätsbedingungen, die eine negative Realisierung von Verfahren nicht erlauben.

In RAUMIS werden verfügbare Datengrundlagen in einer strukturierten Form zusammengesetzt, womit Ex-post-Analysen sowie vorausschauende Berechnungen ermöglicht werden. Als Konsistenzrahmen für die Flächennutzung, die Gesamtproduktion und wichtige Inputs gilt die Landwirtschaftliche Gesamtrechnung (LGR). Die landwirtschaftliche Produktion wird prozessanalytisch nach einzelnen Verfahren differenziert und angebotsorientiert abgebildet. Dafür werden unterschiedliche Verfahren der Tier- und Pflanzenproduktion anhand von Koeffizienten definiert, die den Ertrag, die sonstigen Leistungen, den Vorleistungseinsatz sowie den Arbeitseinsatz betreffen. Wechselbeziehungen zwischen diesen Verfahren werden berücksichtigt.

Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Modellsystems RAUMIS



Quelle: Eigene Darstellung.

Anpassungsreaktionen auf veränderte Rahmenbedingungen werden für pflanzliche und tierische Hauptproduktionsverfahren in einem nichtlinearen Programmierungsansatz abgebildet. Als Zielgröße wird die Nettowertschöpfung unter Berücksichtigung der Kosten für Arbeit maximiert. Das Ergebnis kann zum Agrarsektor aggregiert und nach Modellkreisen differenziert dargestellt werden. Abbildung 3.1 zeigt den schematischen Aufbau von RAUMIS.

Der Aufbau dieses Sektormodells erfordert eine kontinuierliche und in gleichbleibender Qualität erhobene Datengrundlage. Für RAUMIS werden im Wesentlichen staatlich angeordnete Statistiken genutzt, da diese die höchste Kontinuität aufweisen.⁴⁷ Als Datengrundlage werden landwirtschaftliche Fachstatistiken KTBL-⁴⁸ und andere Normdaten, Daten der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung sowie Expertenwissen verwendet. Außerlandwirtschaftliche Inputs sowie Vorleistungen und Preise für landwirtschaftliche Produkte werden exogen vorgegeben. RAUMIS verfügt über Bilanzierungsansätze für die drei Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphat und Kalium. Diesen Ansätzen liegt das Flächenbilanzkonzept zugrunde.

Zur **Ex-post-Abbildung** waren zum Zeitpunkt der Modellanwendung die Jahre 1979, 1983, 1987, 1991 und 1995 erfasst. Diese bilden die „Basisjahre“ des Modells. Für diese Basisjahre werden dreijährige Durchschnitte zugrunde gelegt. Damit lassen sich kurzfristige modellrelevante Schwankungen in der Produktionsstruktur abschwächen. Diese zeitliche Differenzierung richtet sich nach den Jahren der Totalerhebung der Agrarberichterstattung. Durch Vorausschätzung wird unter Annahme einer unveränderten Politikausrichtung (Status quo) die mögliche Entwicklung agrarökonomischer Größen ermittelt. Das Ergebnis kann als Referenzsystem für die Analyse alternativer Politikvarianten und alternativer Produktionsstrukturen dienen.

Mit dem Modellsystem lassen sich somit zum einen zurückliegende Entwicklungen im Agrarsektor in regionaler Auflösung analysieren, zum anderen können **Prognosen** in ein Zieljahr erfolgen. Für solche Wirkungsprognosen fließen trend- und expertenbasierte Projektionen von Faktorkapazitäten, Erträgen und Inputkoeffizienten sowie Preisen in das Modell ein. Des Weiteren finden Anpassungen der optimalen speziellen Intensität an geänderte Produkt-Faktorpreisrelationen Berücksichtigung. Durch eine vergleichende Gegenüberstellung von Politikscenarien werden Rückschlüsse auf die Wirkung agrar- und umweltpolitischer Instrumente gezogen. Die Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf das Agrareinkommen, die landwirtschaftliche Produktion, den Faktoreinsatz im Agrarsektor sowie Agrar-Umweltbeziehungen.

Modellsteuerung. In einem linearen Optimierungsmodell ergeben sich aus verschiedenen Gründen Fehler in der Optimallösung, die in der Weise zum Ausdruck kommen, dass die Produktionsstruktur, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Realität beobachtet wurde, in der Modelllösung (Basisjahr) nicht reproduziert wird.

⁴⁷ JACOBS (1998; S. 8).

⁴⁸ KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft).

Durch das Regionshofkonzept, in dem jede Modellregion als eigenständige Produktions- und Entscheidungseinheit fungiert, kommt es zu einem Aggregationsproblem: Die Faktormobilität innerhalb des Regionshofs wird überschätzt. Weiterhin besteht das Problem der unzureichenden Berücksichtigung tatsächlicher Verhaltensweisen wie Zeitfaktor, Unsicherheit und Risiko, andere Ziele außerhalb der Gewinnmaximierung (z. B. Freizeit) und begrenzte Rationalität. Zusätzlich problematisch wirken Informationslücken und Messschwierigkeiten, die zu Fehlspezifikationen der Produktionsverfahren führen können. In der langfristigen Betrachtung wirkt allein die zur Verfügung stehende Fläche restriktiv. Es kommt dazu, dass die Aktivität mit dem höchsten Gewinnbeitrag bis an die Grenze der zur Verfügung stehenden Faktoren ausgedehnt wird, falls keine Nebenrestriktionen berücksichtigt werden.⁴⁹ Bei Modellen ohne endogene Abbildung der Nachfrage verstärkt sich das Problem der Überspezialisierung, da hier der regulierende Preismechanismus nicht wirkt.

Als Ansätze zur Reduzierung von Überspezialisierung werden genannt:⁵⁰

- der Einsatz von Nebenbedingungen, wie Anbaurestriktionen, technische Kapazitätsbeschränkungen, technische Substitutionsbeschränkungen zwischen den Aktivitäten (Fruchtfolgebedingungen), ökonomische Nebenbedingungen, politische Beschränkungen (obligatorische Stilllegung von Flächen, Quotierung) und Verhaltensbeschränkungen. Mit zunehmender Anzahl von Nebenbedingungen reduziert sich die Überspezialisierung;
- die Formulierung nichtlinearer Zielbeiträge, wodurch sich die Wettbewerbsstruktur der Verfahren in Abhängigkeit von deren Umfang ändert.

Mit dem Verfahren der „Positiven Mathematischen Programmierung“ (PMP)⁵¹ liegt im Modell RAUMIS eine Methode zur Reduzierung von Überspezialisierung vor. In diesem Verfahren werden durch die Kalibrierung des Basisjahrs Dualwerte (Schattenpreise) erzeugt. Diese enthalten Informationen über die tatsächliche Kosten- und Leistungsstruktur der Produktionsverfahren. Werden diese Informationen in die Zielgleichungen der Verfahren aufgenommen, so kann die Produktionsstruktur, die zu einem bestimmten Zeitpunkt beobachtet wurde, ohne Kalibrierungsbeschränkung reproduziert werden.

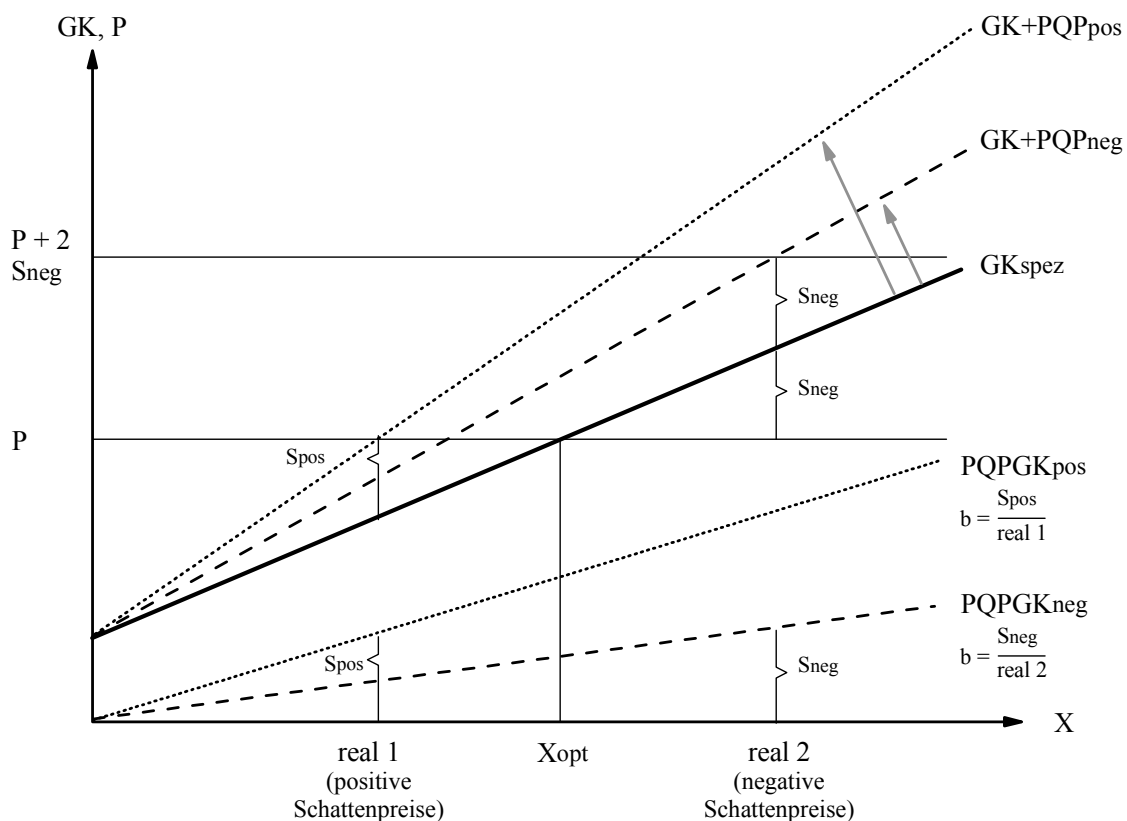
⁴⁹ CYPRIS (2000; S. 22 f. und S. 30 f.).

⁵⁰ CYPRIS (2000; S. 25 ff.).

⁵¹ Vgl. z. B. HOWITT (1995); PARIS (1993); SCHMITZ (1994); JACOBS (1998); UMSTÄTTER (1999); und die umfassende Darstellung in CYPRIS (2000).

In der Generierung der Basissituation (Basisjahr) kann es zu positiven oder negativen Schattenpreisen kommen (vgl. Abbildung 3.2). Diese Schattenpreise (S_{pos} oder S_{neg}) werden für die Bildung von PQP-Termen genutzt. Der optimale Umfang des Produktionsverfahrens ergibt sich laut mikroökonomischer Theorie im Schnittpunkt der Grenzkosten- und Grenzerlösfunktion ($GK = p$).⁵²

Abbildung 3.2: Grafische Herleitung von PQP-Termen



Quelle: Verändert nach SCHMITZ (1994).

Positiver Schattenpreis. Die „optimale Lösung“ (Umfang des Produktionsverfahrens) liegt bei X_{opt} . Wenn in der Realität jedoch „real 1“ beobachtet wurde, so ergibt sich der positive Schattenpreis S_{pos} . Grafisch abgeleitet ergibt sich die Steigung der PQP-Grenzkostenfunktion aus $[S_{pos}/real\ 1]$. Dies ist als die Ableitung der

⁵² Die Grenzerlösfunktion ist aufgrund der exogenen Preisvorgabe vollkommen elastisch zum Preis. Siehe dazu auch JACOBS (1998).

quadratischen Kostenfunktion zu verstehen.⁵³ Sie entspringt im Ursprung und wird vertikal mit der ursprünglichen Grenzkostenfunktion zur neuen Grenzkostenfunktion „GK+PQPpos“ addiert. Diese Funktion schneidet nun die Grenzumsatzfunktion in Höhe des beobachteten Umfangs.

Negativer Schattenpreis. Wenn in der Realität „real 2“ beobachtet wurde, so ergibt sich der negative Schattenpreis „Sneg“. Grafisch abgeleitet ergibt sich die Steigung der PQP-Grenzkostenfunktion analog zur Situation bei positiven Schattenpreisen aus [Sneg/real 2]. Sie entspringt im Ursprung. Da nun aber eine vertikale Addition mit der ursprünglichen Grenzkostenfunktion nicht zu einer Ausdehnung des Produktionsumfangs, sondern zu einer Einschränkung führen würde, wird zusätzlich die Grenzumsatzfunktion um den Betrag $[2 \cdot \text{Sneg}]$ nach oben verschoben, so dass sich der beobachtete Umfang einstellt.

Für die Prognose werden Informationen der sich ergebenden Abweichung von tatsächlicher und errechneter „optimalen“ Produktionsstruktur in Form von PQP-Termen in das Modell einbezogen. Die so entstehenden „Kosten“ bzw. „Leistungen“ der Produktion tauchen jedoch nicht in der Einkommensrechnung auf. Sie werden nur modellintern berücksichtigt. Sie haben also nur entscheidungs- und keinen einkommensrelevanten Charakter.

Es wird deutlich, dass bei dieser Methode Informationen über die Verfahrensumfänge in mindestens einem zurückliegenden Jahr notwendig sind, um die Basisjahrkalibrierung durchführen zu können.

Da das Modell RAUMIS aufgrund des Regionalisierungsgrads (Kreisebene) nur mit regionalen Durchschnittserträgen arbeitet, können steigende Grenzkosten innerhalb der Regionen nicht abgebildet werden.

Die Weiterentwicklung und Anwendung des Modells lässt sich in die folgenden Schritte einteilen:

- Implementierung von Biomasseproduktionsverfahren in das bestehende Modell: Zunächst erfolgt hierfür eine Darstellung der grundsätzlichen Vorgehensweise für den Aufbau von Produktionsverfahren in RAUMIS, wobei der Datenbedarf für die Modellerweiterung aufgezeigt wird (Kapitel 3.1.2). Daraufhin wird die

⁵³ Eine ausführliche Beschreibung der quadratischen Kostenfunktion sowie deren Ableitung ist zu finden in SCHMITZ (1994).

Modellgrundlage konzipiert (Kapitel 3.1.3) und die Datenbasis aufgebaut (Kapitel 3.1.4).

- Nach abgeschlossener Modellerweiterung wird das Basisjahr gebildet; es wird das Referenzszenario für ein zukünftiges Jahr (als Grundlage für die Auswertung der Modellanwendung) sowie die Modellanwendungen zur Biomasseproduktion definiert und berechnet. Die für die Szenariendefinition zusätzlich benötigten Methoden und Daten (hierzu zählt die Kalkulation maximaler Erzeugerpreise mittels der Äquivalenzkostenmethode und die Berücksichtigung der monetarisierten externen Effekte) werden in Kapitel 3.2 dargelegt.

3.1.2 Aufbau von Produktionsverfahren in RAUMIS

Die zu untersuchenden Verfahren zur Bereitstellung biogener Energieträger sollen für die Regionen Deutschlands in Kontext zueinander gestellt werden. Dabei müssen die unterschiedlichen Standortbedingungen Berücksichtigung finden. Somit wird ein Schritt von der Punkt Betrachtung der Biomasseproduktion, wie sie in vielen Analysen angewandt wird (vgl. Kapitel 2.4), hin zur räumlich differenzierten Abbildung getan. Dieser Schritt bringt zusätzlichen Datenbedarf mit sich. In der räumlich differenzierten Analyse müssen u. a. Ertragsvariationen, Betriebsgrößen- und Produktionskostenstrukturen, unterschiedliche Mechanisierungsgrade und Arbeitsbedarfe Berücksichtigung finden. Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Implementierung von Produktionsverfahren erläutert und der zugehörige Datenbedarf beschrieben.

Die Abbildung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren in RAUMIS wird im von LÖHE (1998) entwickelten Technologiemodul differenziert nach technologischen Ansatzstellen (Bodenbearbeitung, Saat, Düngung, Ertragssicherung und Ernte) vorgenommen.⁵⁴ Jedem Produktionsverfahren werden hierbei Ansprüche an notwendige Arbeitsgänge zugeschrieben.

Zur regionalen Abbildung von Produktionsverfahren wird auf die Statistik der Betriebsgrößenstruktur zurückgegriffen. Für jeden Kreis liegen Informationen über die Anteile der vier Betriebsgrößenklassen vor (1 bis 5, 5 bis 20, 20 bis 50 und über 50 ha landwirtschaftliche Nutzfläche). Die kalkulatorischen Schlaggrößen nach KTBL (1, 2, 5 und 20 ha) werden diesen Betriebsgrößen zugeteilt. Es gilt also die Annahme, dass ein „kleiner“ Betrieb (mit 1 bis 5 ha landwirtschaftliche Nutzfläche)

⁵⁴ LÖHE (1998, S. 70 ff.).

auf „kleinen“ Schlägen (1 ha Größe) arbeitet. In den einzelnen Betriebsgrößenklassen finden zum einen unterschiedliche Technologiepakete Berücksichtigung, zum anderen unterscheiden sich bei gleicher Mechanisierung die Arbeitsbedarfe und damit auch die Maschinenkosten. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine Abschätzung von kalkulatorischen Produktionskosten auf regionaler Ebene, wobei diese ihrerseits Resultate eines – je nach Anteil der einzelnen Größenklassen in der jeweiligen Region ermittelten – Mischverfahrens darstellen.

Um RAUMIS für die Zwecke dieser Arbeit einsetzen zu können, werden für die betrachteten Biomasseproduktionsverfahren folgende Daten in regional differenzierter Aufbereitung benötigt:

- historische Daten zum Umfang der Produktion,
- erzielbare Erträge in den Regionen Deutschlands,
- technische Koeffizienten, Kosten für Aufwandsparameter,
- maximal mögliches Produktionsaufkommen (für Waldrest- und Schwachholz).⁵⁵

Diese Daten stehen für die Verfahren zur Nahrungsmittelproduktion im Modell RAUMIS zur Verfügung und brauchen nicht gesondert erhoben und aufbereitet zu werden. Bisher nicht in RAUMIS erfasst sind:

- Energiepflanzen wie Pappeln und Miscanthus
- Triticale für die Verwendung als Ganzpflanze
- Reststoffe zur energetischen Nutzung wie Waldrest-, Schwachholz und Stroh

Einen Überblick über den sich ergebenden Datenbedarf und die Datenverfügbarkeit vermittelt Tabelle 3.1.

Informationen zur verwendeten Technik und zum Arbeitsbedarf für Anbau, Pflege und Ernte lassen sich für alle betrachteten Produktionsverfahren aus der vorhandenen Literatur ableiten. Für die Produktionsverfahren Winterweizen, Zuckerrüben und Raps liegen diese Daten im Modell RAUMIS schon vor. Lediglich bei den Produktionsverfahren Miscanthus und Pappeln bestehen Unsicherheiten bezüglich der Vorleistungskosten. Hierfür werden geeignete Annahmen getroffen.

⁵⁵ Grundsätzlich wird das maximal mögliche Produktionsaufkommen aller einbezogener Biomasseproduktionsverfahren u. a. durch die verfügbare Fläche bestimmt. Es werden darüber hinaus jedoch Nutzungsbeschränkungen angenommen. Diese werden in Kapitel 4 erläutert.

Tabelle 3.1: Datenbedarf für die regionale Abbildung der Biomasseproduktion sowie deren Verfügbarkeit

	Verfügbarkeit der Daten			
	Miscanthus	Pappeln	Triticale-Ganzpflanze	Raps
Regionale Daten				
Historische Daten zum Umfang der Produktion	+b	+b	+b	+b
Erzielbare Erträge in den Regionen Deutschlands	-	-	+/-	+
Verwendete Technik (Anbau, Pflege und Ernte)	+	+	+	+
Vorleistungskosten für Produktionsverfahren	+/-	+/-	+	+
	Winterweizen	Zuckerrüben	Stroh	Waldrest- und Schwachholz
Regionale Daten				
Historische Daten zum Umfang der Produktion	+b	+b	-	-
Erzielbare Erträge in den Regionen Deutschlands	+	+	+/-	*
Verwendete Technik (Anbau, Pflege und Ernte)	+	+	+	+
Vorleistungskosten für Produktionsverfahren	+	+	+	+
Maximal mögliches Produktionsaufkommen	*	*	*	+

+ verfügbar

- nicht verfügbar

* nicht notwendig

+/- begrenzt verfügbar

+b auf Bundeslandebene verfügbar

Quelle: Eigene Darstellung.

Nicht zu vernachlässigen sind Informationen über die erzielbaren Erträge der Produktionsverfahren in den Regionen Deutschlands. Für solche Verfahren, die in der Nahrungsmittelproduktion eine lange Tradition aufweisen (Raps, Winterweizen, Zuckerrüben) oder als Futterpflanze genutzt werden (Triticale) liegt statistisches Datenmaterial vor. Für die Energiepflanzen Miscanthus und Pappeln allerdings müssen Ansätze zur Berechnung von kalkulatorischen Erträgen entwickelt werden. Dies erfolgt in den Kapiteln 3.1.4.1 und 3.1.4.2.

Die Datenverfügbarkeit zu den in der Vergangenheit beobachteten Umfängen der Biomasseproduktion ist nur unvollständig: Es liegen historische Daten zum Rapsanbau sowie zu Energiepflanzen wie Miscanthus und Energiegetreide vor. Die beobachteten Umfänge (mit Ausnahme von Raps) waren in der Vergangenheit jedoch nur sehr gering. Daten über Umfänge der Stroh- und Holzproduktion für die energetische Nutzung sind jedoch auf regionaler Ebene nicht verfügbar. Welche Probleme hieraus für die Formulierung und Abbildung dieser Produktionsverfahren im Modell entstehen und wie diese Probleme gelöst werden, wird im folgenden Kapitel 3.1.3 dargestellt.

3.1.3 Konzeption der Modellgrundlage

Für die Implementierung der Biomasseproduktionsverfahren in das Modell RAUMIS wäre die Verwendung der Positiven Mathematischen Programmierung (Kapitel 3.1.1) wünschenswert. Für die hierzu notwendige Ermittlung der Dualwerte sind allerdings Informationen über historische Verfahrensumfänge notwendig. Da diese nur eingeschränkt und oft nicht auf regionaler Ebene verfügbar sind, ist der Einsatz der PMP für die Spezifizierung und die Modellsteuerung für Biomasseproduktionsverfahren nicht in vollem Umfang einsetzbar.

3.1.3.1 Modellaufbau

Wie die Biomasseproduktion im Modell RAUMIS trotz erheblicher Datenrestriktionen abgebildet wird, ist Inhalt der folgenden Ausführungen. Diese gliedern sich thematisch nach (1) den Verfahren der Biomasseproduktion auf stillgelegten Flächen, (2) den Verfahren, die auf nicht stillgelegten Flächen und (3) solchen Verfahren, die flächenunabhängig realisiert werden.

3.1.3.1.1 Verfahren der Biomasseproduktion auf stillgelegten Flächen

Zu diesen Verfahren gehören der Non-Food-Raps, Miscanthus, Pappeln, Winterweizen und Triticale-Ganzpflanze. Es wird ein sogenanntes „Hauptverfahren der Flächenstilllegung“ eingeführt. Dieses gilt als Konsistenzrahmen für den – bei unterschiedlichen Flächenstilllegungsraten – zur Verfügung stehenden nutzbaren Umfang der Flächenstilllegung. Es umfasst zum einen die tatsächliche Nichtnutzung stillgelegter Flächen und zum anderen alle anderen auf Flächenstilllegung untersuchten Arten der Biomasseproduktionsverfahren.

Es wird also unterschieden zwischen (1) dem „Flächenstilllegungshauptverfahren“, das keine monetären Leistungen erbringt und keine Kosten verursacht und (2) den „Verfahren der Flächenstilllegung“, die die ungenutzte Flächenstilllegung sowie alle zur Verfügung gestellten Nutzungsarten dieser Flächen umfassen.

Der Umfang des Flächenstilllegungshauptverfahrens als Konsistenzrahmen wird über exogen vorgegebene Prozentsätze gesteuert. Es handelt sich hierbei um den Prozentsatz der obligatorischen Stilllegung der für die der Basisfläche zugehörigen Feldfrüchte gilt und die darüber hinausgehende Möglichkeit zur freiwilligen Stillle-

gung, für die eine Maximalbeschränkung gilt. Der PMP-Term für die über die obligatorische Stilllegung hinausgehende freiwillige Stilllegung bleibt bestehen. Die Biomasseproduktionsverfahren innerhalb des Flächenstilllegungshauptverfahren werden linear gesteuert. Den schematischen Aufbau dieses Teils der LP-Matrix zeigt Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von Biomasseproduktionsverfahren auf stillgelegten Flächen

			Landwirt- schaftliches Haupt- verfahren ¹ z.B. WWEI	Flächenstill- legung "Roh- verfahren" FLGE	Ungenutzte Flächen- stilllegung FLST	Biomasse- verfahren auf Flächen- stilllegung SOBF bis PABF	Be- dingung GENF
Restriktionen Min./Max. Stilllegung	FLMI	G	-	+			
	FLMX	L	-	+			
Nutzungskonsistenz Flächenstilllegung	BBFL	E		+	-	-	
	GENF	E			+	+	-
Nutzungsrestriktion für Biomasse	GEFN	G				-	+ ²
Flächenanspruch	LFLA, AFLA	L	+	+			

- = Negativer Koeffizient = Anspruch

+ = Positiver Koeffizient = Erfüllung

¹ Mit Mindeststilllegungsbedingung (Grandes-Cultures).

² Maximalbedingung für die Nutzung der Flächenstilllegung.

Quelle: Eigene Darstellung.

Das Flächenstilllegungshauptverfahren („FLGE“) nutzt die verfügbare Fläche der Stilllegung, die über die Restriktionen zur minimalen Stilllegungsverpflichtung und maximal möglichen Stilllegung (Zeilen „FLMI“ und „FLMX“) aus der Grandes-Cultures-Fläche, um diese Flächenumfänge den „Anbauverfahren auf Flächenstilllegung“ zur Verfügung zu stellen. Die Nutzungskonsistenz zur insgesamt verfügbaren Flächenstilllegung wird über die Anbindung an die Flächenstilllegungsbedingungen (Zeile „BBFL“) erreicht.

Die Restriktion „equal“ (E) gibt vor, dass alle Verfahren der Stilllegung (also die „Nichtnutzung“ und die Nutzung durch den Anbau von Biomasse) sich auf 1 summieren müssen, also dem Umfang der gesamt verfügbaren Stilllegungsfläche entsprechen. Über die Nutzungsrestriktion für den Biomasseanbau (Schnittpunkt von GENF und GEFN) ist die Möglichkeit eingeräumt, den durch Biomasse nutzbaren Umfang der Stilllegung nach oben hin zu beschränken.

3.1.3.1.2 Verfahren auf nicht stillgelegten Flächen

Als Beispiel dient hier das Zuckerrübenverfahren zur Ethanolproduktion. Es ist derzeit rechtlich nicht vorgesehen, dass Zuckerrüben auf stillgelegten Flächen angebaut werden.

Der Anbau von Zuckerrüben zur Ethanolproduktion kann nicht als „Nebenverfahren“ der Food-Zuckerrübenproduktion angesehen werden, da für Zuckerrüben für die Ethanolproduktion keine Zuckerrübenquote besteht. Würden diese beiden Verfahren in der LP-Matrix miteinander verbunden, so ergäbe sich automatisch auch eine Quotenbeschränkung für Zuckerrüben zur Ethanolproduktion. Somit können für dieses Verfahren die Vorteile der Steuerung über die in Kapitel 3.1.1 beschriebene PMP-Terme nicht genutzt werden. Deshalb wird dieses Verfahren als eigenständiges Hauptverfahren aufgebaut und ist über den Anspruch an Fläche und Arbeit sowie über konkurrierende Gewinnbeiträge in die Verfahrensstruktur eingebunden (vgl. Tabelle 3.3). Das Verfahren wird linear gesteuert. Des Weiteren wird ein eigenes Verkaufsverfahren für Zuckerrüben zur Ethanolherstellung eingeführt.

Tabelle 3.3: Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von Biomasseproduktionsverfahren auf Ackerflächen am Beispiel Zuckerrüben

	Zuckerrüben	Anbau-varianten	Biomasse-Zuckerrüben	Verkauf Zuckerrüben	Verkauf Biomasse-Zuckerrüben
Anbaubedingungen	+1	-1	-1		
Verwendungsbilanz					
Food-Zuckerrüben		+x		-1	
Biomasse-Zuckerrüben			+x		-1
Ziel		-	-	+	+

- = Negativer Koeffizient = Kosten/Anspruch

+ = Positiver Koeffizient = Leistung/Erfüllung

Quelle: Eigene Darstellung.

Triticale-Ganzpflanze. Eine Besonderheit bietet das Verfahren zur Produktion von Triticale-Ganzpflanzen. Analog zu den Hauptverfahren der landwirtschaftlichen Produktion mit den im Modell berücksichtigten Bodenbearbeitungsvarianten „Pflügen, Grubbern und Direktsaat“ wird hier die Konsistenzbedingung zum Gesamtum-

fang des sonstigen Getreides eingeführt (dies jedoch nicht bei Triticaleproduktion auf Flächenstilllegung).

Die sonstigen Verfahren zur Herstellung von Triticale liefern einen regional unterschiedlichen Ertrag und einen Strohertrag. Die betrachtete Biomassetriticale wird annahmegemäß vollständig verwendet, insofern ergeben sich hier keine Lieferungen in die Strohverwendungsbilanz. Ebenso wird Triticale zur Energieerzeugung nicht in die Futterverfahren einbezogen, sondern in einem gesonderten Verkaufsverfahren aus dem Sektor abgeführt (vgl. Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von Biomasseproduktionsverfahren auf Ackerflächen und stillgelegten Flächen am Beispiel Triticale

	Triticale	Boden- bearbeitungs- varianten Triticale- anbau	Biomasse-Triticale		Verfüttern von	Verfüttern an	Verkauf Biomasse	RHS
			auf Ackerfläche	auf Flächen- stilllegung				
Anbaubedingungen	+1	-1	-1	über FLST-Bed.				E
Kornertrag		+x			-1			
Strohbilanz		+	0	0				
Korn- und Strohertrag			+	+			-	
Futterbilanz					+1	-1		G
Ziel		-	-	-	-		+	

- = Negativer Koeffizient = Kosten/Anspruch
 + = Positiver Koeffizient = Leistung/Erfüllung
 Quelle: Eigene Darstellung.

3.1.3.1.3 Flächenunabhängige Verfahren

Zu den flächenunabhängigen Biomasseverfahren gehören Energiestrohbereitstellung und das Waldrest- und Schwachholz.

Stroh. Die Grundlage der Strohbereitstellung sind die Getreideanbauverfahren. Diese liefern Strohmasse als ein Nebenprodukt in die Verwendungsbilanz für Stroh. Es ergeben sich verschiedene Ansprüche an dieses vorhandene Stroh: Zum einen ist die Möglichkeit gegeben, dass Stroh verfüttert bzw. eingestreut wird. Zum anderen kann Stroh im definierten Pressvorgang als Biomasse bereitgestellt werden. Tabelle 3.5 stellt die Beziehungen schematisch dar.

Eine Besonderheit ergibt sich in der Düngung: Die Formulierung der Düngelieferung des Stroh im Sinne der enthaltenen Nährstoffe wurde in der bisherigen Modellstruktur nicht getätigt, da davon ausgegangen wurde, dass solches Stroh, das vom Feld entfernt wird, um eingestreut zu werden, mit dem Mist wieder auf die Flächen zurückgelangt. Dagegen vollzieht sich bei der Biomassebereitstellung inklusive Verkauf ein Nährstoffentzug aus dem Sektor. Dieser macht eine Ersatzdüngung notwendig und erhöht somit die Kosten für die Strohbereitung um die entzogenen Nährstoffe.

Tabelle 3.5: Schematische Darstellung der Verflechtungsbeziehungen zur Abbildung von flächenunabhängigen Biomasseproduktionsverfahren am Beispiel Strohbereitung

	Getreideanbau	Tierhaltung	Biomasse-Stroh	Verkauf Biomasse-Stroh
Ertrag	+			
Verwendungsbilanz Stroh	+	-	-	
Ziel			-	+
Verwendungsbilanz Biomasse-Stroh			+	-
Düngung	-		-	
Energie			+	

- = Negativer Koeffizient = Kosten/Anspruch
 + = Positiver Koeffizient = Leistung/Erfüllung

Quelle: Eigene Darstellung.

Waldrest- und Schwachholz. Es werden drei Verfahren zur Holzbereitung unterschieden: Dies sind die voll- und teilmechanisierte sowie die motormanuelle Bereitung.

Bei der modelltechnischen Berücksichtigung der Aufbereitungskosten und des Arbeitsbedarfs von Holz wird davon ausgegangen, dass die motormanuelle Aufbereitung innerhalb der Landwirtschaft, die teil- und vollmechanisierte Aufbereitungsarten dagegen durch Arbeitskräfte außerhalb der Landwirtschaft durchgeführt werden. Daraus ergibt sich bei dem motormanuellen Verfahren eine Aufteilung der Produktionskosten in Arbeitskosten und sonstigen Produktionskosten, wobei bei voll- und teilmechanisierter Aufbereitung die DIETER et al. (2000) entnommenen, regional differenzierten Produktionskosten ohne Aufteilung angesetzt werden.⁵⁶ Die nach

⁵⁶ DIETER et al. (2000, S. 23).

DIETER et al. (2000) berechnete Holzmenge gilt annahmegemäß als vollständig für die Biomasseproduktion verfügbar und steht nicht in Konkurrenz zur stofflichen Verwertung.

Darüber hinaus ergibt sich folgende Besonderheit in der Abbildung der Holzernte: Auf einem Teil der Fläche kann die vollmechanisierte Aufarbeitung durchgeführt werden (in den meisten Regionen über 90 %). Hier ist das nutzbare jährliche Biomassepotenzial höher als bei teilmechanisierter oder motormanueller Aufarbeitung, da im Erntegut z. B. auch Nadeln enthalten sind. Somit ist die maximale Erntemenge bei vollmechanisierter Aufarbeitung höher, als würde teilmechanisiert oder motormanuell geerntet. Die maximal mögliche Erntemenge wird modellhaft als Restriktion in Höhe der maximal vollmechanisiert zu erntenden Menge abgebildet. Bei vollmechanisierter Ernte ergibt sich daraus ein Anspruch an diese Restriktion von 1. Bei teilmechanisierter bzw. motormanueller Ernte ergibt sich ein (höherer) Anspruch an die Restriktion in Höhe des Faktors

$$\begin{aligned} & \text{max. } T / \text{max. } V \\ & \text{oder} \\ & \text{max. } M / \text{max. } V, \end{aligned}$$

um die maximal mögliche Erntemenge einzuhalten (vgl. Tabelle 3.6).

Tabelle 3.6: Modellhafte Abbildung des maximalen Anteils am vollmechanisierten Verfahren im Brusthöhendurchmesser 1 und Brusthöhendurchmesser 2

	Vollmechanisiertes Verfahren im Brusthöhendurchmesser 1	Vollmechanisiertes Verfahren im Brusthöhendurchmesser 2	Bedingung	Restriktion
L		+1		max. Tonnen
E	+1	+1	-1	
G	-1		+ ¹	
G		-1	+ ²	

¹ Anteil der Waldfläche in Brusthöhendurchmesser 1, die vollmechanisiert geerntet werden kann.

² Anteil der Waldfläche im Brusthöhendurchmesser 2, die vollmechanisiert geerntet werden kann.

- = Negativer Koeffizient = Kosten/Anspruch

+ = Positiver Koeffizient = Leistung/Erfüllung

Quelle: Eigene Darstellung.

3.1.4 Datengrundlage zur regionalen Abbildung

In den folgenden Kapiteln wird der Darstellungsschwerpunkt auf die Bereiche gelegt, für die in der vorliegenden Arbeit Lösungsansätze gefunden werden mussten. Eine Darlegung der im Modell berücksichtigten Verfahrensschritte und eingesetzten Maschinen zur Produktion ist in den Tabellen A.1 bis A.4 im Anhang dokumentiert.

3.1.4.1 Produktionsverfahren Miscanthus

Miscanthus, auch Chinaschilf genannt, ist als C₄-Pflanze im Vergleich zu heimischen C₃-Pflanzen bei guter Wasserversorgung durch ein hohes Massenwachstum gekennzeichnet.

Regionalisierung der Erträge. In europäischen Studien über die Biomassebildung von Miscanthus wird, je nach Standort, über eine Spannbreite der Erträge von 8 bis 40 t TM/ha berichtet SCHWARZ (1995).⁵⁷ Für Deutschland wird diese Spannbreite auf 10 bis 25 t TM/ha und Jahr eingegrenzt.⁵⁸ KALTSCHMITT und REINHARDT (1997) setzen für die ökologische Bilanzierung Erträge von knapp 9, 15 und 22 t TM/ha und Jahr für Niedrig-, Mittel- und Hohertragsstandorte ein.⁵⁹

Die Ansprüche von Miscanthus an Standort, Boden und Klima lassen sich wie folgt zusammenfassen:⁶⁰

- Der Boden muss eine ausreichende Wasserversorgung gewährleisten.
- Staunässe verträgt die Pflanze nicht.
- Weiterhin ist eine gute Stickstoffversorgung wichtig.
- Miscanthus hat einen hohen Anspruch an Wärme (Wärmesumme 2.300 bis 2.500 °C).
- Die maximale Höhenlage liegt bei 700 m.

⁵⁷ SCHWARZ (1995, S. 35 ff.).

⁵⁸ LEWANDOWSKI und KALTSCHMITT (1998, S. 23).

⁵⁹ KALTSCHMITT und REINHARDT (1997, S. 174). Die Autoren unterscheiden zwischen der Ernte im Herbst und im Frühjahr. Eine Ernte im Frühjahr zieht jedoch Verluste in Höhe von 25 % nach sich und wird hier nicht berücksichtigt.

⁶⁰ Siehe z. B. ZIMMERMANN (1993, S. 113) und GERSTENKORN (1995, S. 36).

Wie in vorangegangenen Arbeiten bereits beschrieben wurde, liegt keine statistisch abgesicherte Datengrundlage zu regionalen Durchschnittserträgen vor. Für die Lösung dieses Problems bieten sich zwei Ansätze an:

- Abbildung regionaler Standortbedingungen anhand einer Frucht, die ähnliche Anforderungen an Boden und Klima stellt und für die regionale Ertragsdaten vorliegen
- Ableitung maximal möglicher Erträge von Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode unter Bezugnahme auf den Transpirationskoeffizienten

In den nächsten Abschnitten wird die Ertragsabschätzung auf Grundlage der Überlegungen von ZIMMERMANN (1993) laut Ansatz 1 vorgenommen.⁶¹ Für Miscanthus wurden die regionalisiert vorliegenden Erträge von Silomais zugrunde gelegt. Für die Berechnung der regionalen Erträge wird folgende Vorgehensweise gewählt:

- a) Bildung des Regionalisierungsfaktors: $R_n = E_n/ED$
- b) Errechnung der regionalen Miscanthuserträge: $M_n = R_n * MD$

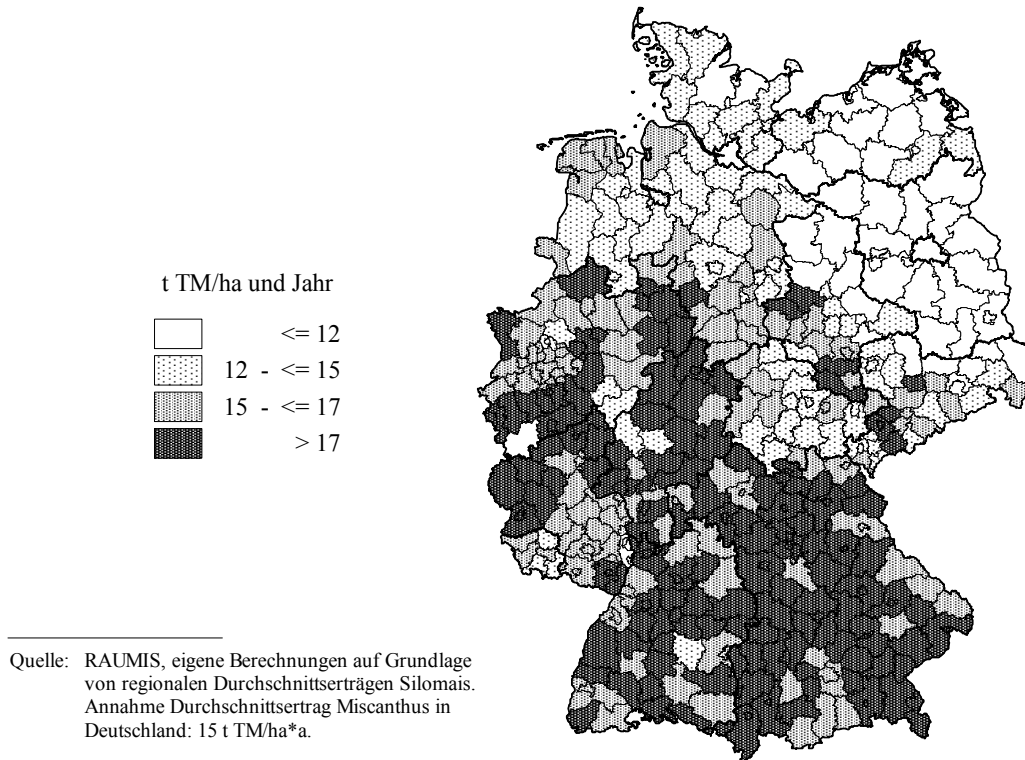
mit

- R_n = Regionalisierungsfaktor in der Region n
- E_n = Ertrag der Anlehnungsfrucht in Region n
- ED = Ertrag der Anlehnungsfrucht im Bundesdurchschnitt
- M_n = Ertrag der ergänzten Frucht in Region n
- MD = Ertrag der ergänzten Frucht im Bundesdurchschnitt

Mit diesem Ansatz werden die regionalen Standortbedingungen für die Anlehnungsfrucht für die Kalkulation von Miscanthus einbezogen. Es wird deutlich, dass für die Durchführung von Ansatz 1 der Annahme des Durchschnittsertrags eine wesentliche Bedeutung zukommt. Es wurde aufgrund oben genannter Spannbreiten ein Durchschnittsertrag von 15 t TM/ha und Jahr als Grundlage für die Berechnungen angesetzt.

Karte 3.1 zeigt das Ergebnis dieser Ertragsberechnung. In der Betrachtung der regionalen Ertragslage für Miscanthus ist auf Grundlage der Kalkulationen eine überdurchschnittliche Leistung in Regionen Bayerns, Baden-Württembergs, Hessens sowie Nordrhein-Westfalens zu erkennen.

⁶¹ ZIMMERMANN (1993, S. 113).

Karte 3.1: Regionale Ertragsabschätzung für Miscanthus

3.1.4.2 Produktionsverfahren Pappeln

Der Pappelanbau zur energetischen Nutzung (Pappel im Kurzumtrieb) befindet sich derzeit noch im Versuchsstadium. Derzeit werden zahlreiche Versuchsprojekte bearbeitet, die eine Ertragsabschätzung sowie die Auswahl geeigneter Standorte zum Ziel haben.⁶² Weiterhin wird in Sortenversuchen dasjenige Hybridmaterial herausgefiltert, das sich für den betrachteten Standort als das jeweils günstigste erweist.

Da es sich im Bereich der mehrjährigen Kulturen um eine lange Beobachtungszeit handelt und auf der anderen Seite nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich Ergebnisse eines Standorts auf einen anderen Standort übertragen lassen, wird es mittelfristig nicht zu flächendeckenden Aussagen hinsichtlich abgesicherter Ertragspotenziale kommen.

⁶² Siehe dazu HOFMANN (1997, S. 10 ff.); FRIEDRICH (1997, S. 3 ff.).

Regionalisierung der Erträge. In neueren Studien zum Anbau von Pappeln werden erzielbare Trockenmasseerträge von bis zu 15 t TM/ha und Jahr genannt, wobei allgemeingültige Schlussfolgerungen im Bereich der Ertragspotenziale vermieden werden, da es sich bei genannten Studien um Sortenversuche handelt.⁶³ In Kostenberechnungen wird von einem mittleren jährlichen Ertrag von 12 t TM ausgegangen.⁶⁴ KALTSCHMITT und REINHARDT (1997) nutzen die Forschungsergebnisse des Instituts für schnellwachsende Baumarten in Hannoversch Münden für die ökologische Bilanzierung und bilden drei Ertragsklassen von 5, 10 und 15 t TM/ha und Jahr.⁶⁵

Regionale Ertragsdaten für Pappeln sind nicht verfügbar. Die Möglichkeit, regionale Ertragsunterschiede über die Anbindung an eine landwirtschaftliche Frucht mit ähnlichen Anforderungen an Boden und Klima zu identifizieren, besteht auf Basis der abgeschlossenen Forschungsarbeiten nicht.⁶⁶ In den verfügbaren Studien lassen sich starke Unterschiede zwischen den gewählten Hybridsorten erkennen, zum anderen ist eine starke regionale Sortenabhängigkeit gegeben.⁶⁷ Da sich aus Ergebnissen von Anbaustudien keine überregionalen Aussagen ableiten lassen, muss für die Ertragsregionalisierung ein Ansatz für die Abschätzung erarbeitet werden. Hierfür erfolgt nun zunächst eine Darstellung der Anforderungen an Boden und Klima. Aus den Forschungsberichten können folgende Aussagen abgeleitet werden:⁶⁸

- Die Nährstoffverfügbarkeit im Boden ist kein ertragsbestimmender Faktor.
- Hohe Erträge sind zu erwarten auf Standorten mit mindestens 300 mm Niederschlag in der Vegetationsperiode⁶⁹ (400 mm sind als günstiger einzustufen).
- Der Boden darf nicht zu schwer, jedoch aufgrund mangelnden Wasserbindungsvermögens auch nicht zu sandig sein.

⁶³ FRIEDRICH (1997 S. 3 ff.).

⁶⁴ HARTMANN und STREHLER (1995, S 15 ff.).

⁶⁵ KALTSCHMITT und REINHARDT (1997, S. 174 ff.).

⁶⁶ Mündliche Auskunft v. DERENTHALL (1999) und HOFMANN (1999).

⁶⁷ Mündliche Auskunft HOFMANN (1999).

⁶⁸ HOFMANN (1997, S. 84 ff.), FRIEDRICH (1997, S. 104 ff.).

⁶⁹ Die Vegetationsperiode ist die Bezeichnung für den Zeitabschnitt, in dem Pflanzen wachsen, blühen, fruchten und aktiv sind. Schematisch wird sie festgelegt vom Blattaustrieb im Frühjahr bis zum Blattfall im Herbst (April bis September). Biologisch ist es die Zeit des Jahres, in der die Temperatur über 5° C als Tagesmittelwert liegt. Für Pappeln wird die Zeit von Mai bis September als Vegetationsperiode bezeichnet.

- Der Boden muss ausreichend durchwurzelbar sein. Er darf weder anmoorig noch staunass sein.
- Die maximale Höhenlage beträgt 600 m.

Da die Ertrags-erwartung von Pappeln stark von den klimatischen Gegebenheiten sowie von der Bodenart abhängt⁷⁰, wird im Folgenden der Ansatz einer Regionalisierung aufgrund folgender Informationen verwendet:

- Bodenarten in Deutschland, unterteilt in 71 Arten, detaillierte Beschreibung der Bodenhorizonte sowie regional differenzierte Informationen über den jeweiligen Umfang⁷¹
- Ertragsabschätzung für einzelne Bodenarten⁷²

Im ersten Schritt des verwendeten Ansatzes wird das Bodenartendreieck (siehe Abbildung 3.3) in Ertragsbereiche unterteilt. Dies erfolgt nach Maßgabe der Zusammensetzung von Sand, Ton und Schluff. Die resultierenden Informationen werden auf die in Deutschland vorkommenden Bodenarten übertragen. Den jeweiligen Bodenarten wurden nach Experteneinschätzung potenzielle Pappelerträge zugeordnet.⁷³ Mit Hilfe der Bodenübersichtskarte wurden solche Böden ausgewählt, die nach Experteneinschätzungen für den Pappelanbau prinzipiell geeignet sind. Aus den Umfängen der in den jeweiligen Kreisen vorkommenden, als geeignet erachteten Bodenarten sowie den zugeordneten potenziellen Erträgen auf diesen Bodenarten werden regionale Durchschnittserträge für Pappeln gebildet (Abbildung 3.3).

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Karte 3.2 dargestellt.

⁷⁰ Funktionale Beziehungen lassen sich zum derzeitigen Stand des Wissens jedoch noch nicht ableiten.

⁷¹ BGR (1995).

⁷² V. DERENTHALL (1999), mündliche Auskunft.

⁷³ V. DERENTHALL (1999), mündliche Auskunft.

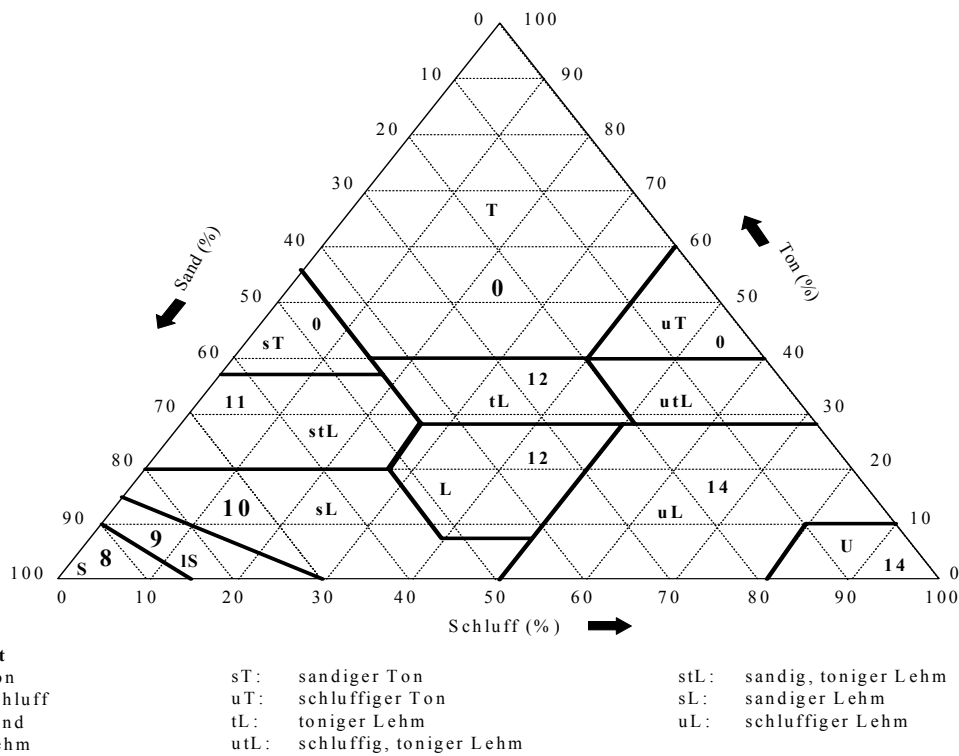
In der Berechnung der regionalen Durchschnittserträge wurde für jeden Kreis nachstehendem Rechenweg gefolgt:⁷⁴

$$\frac{(B_1 * E_1 + B_2 * E_2 + \dots + B_n * E_n)}{\text{Summe } B_{1-n}}$$

mit

- B_{1-n} = geeignete Bodenart 1 bis n in ha
- E_{1-n} = der Bodenart 1 bis n zugeordneter Ertrag

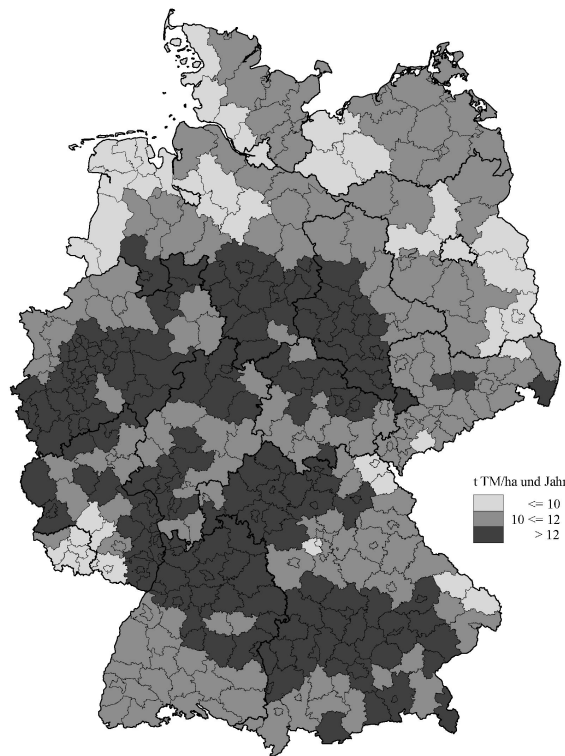
Abbildung 3.3: Erträge von Pappeln im Kurzumtrieb in Abhängigkeit von der Bodenzusammensetzung in Tonnen Trockenmasse (atro)⁷⁵ pro Jahr



Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von v. Derenthall (1999).

⁷⁴ Diesem Rechenweg liegt die Annahme zugrunde, dass ausschließlich solche Flächen für den Anbau von Pappeln im Kurzumtrieb genutzt werden, die vor Ort als dafür geeignet identifiziert werden. Der Einbezug aller sonstigen, in einem Kreis vorkommenden Flächen würde das Ergebnis verfälschen.

⁷⁵ atro = absolut trocken.

Karte 3.2: Regionale Ertragsabschätzung für Pappeln im Kurzumtrieb

Quelle: Eigene Berechnungen.

3.1.4.3 Produktionsverfahren Waldrest- und Schwachholz

Die gesamte Waldfläche in Deutschland beträgt ca. 10,4 Mio. ha, dies bedeutet ca. 30 % der Gesamtfläche. 46 % der Waldfläche ist Privatwald.⁷⁶ Holz wird in Deutschland vor allem stofflich genutzt. Waldrest- und Schwachholz stehen jedoch als Reststoffe für die energetische Nutzung zur Verfügung.

Als Waldrestholz wird grundsätzlich das gesamte als Schlagabraum im Wald verbleibende Holz wie Kronenmaterial, kurze Stammabschnitte, Reisholz, Sägespäne und Rinde bezeichnet. Schwachholz umfasst die bei der Erst- und Zweidurchforstung der Bestände anfallenden Stämme.

Maximales Produktionsaufkommen: Für die regionale Untersuchung der Potenziale der Waldrest- und Schwachholzbereitstellung ist vor allem die Information über

⁷⁶ BML (1998): Agrarbericht.

die regionale Baumartenzusammensetzung sowie die Alters- und Vorratsstruktur der Waldflächen von Interesse.

Die verwendete Datengrundlage zur regional maximal nutzbaren Holzmenge basiert auf einer Studie von DIETER (2000), in der auf Landkreisebene die Menge an Schwach- und Waldrestholz identifiziert wurde, die für die Energiegewinnung genutzt werden kann.⁷⁷ Ebenfalls liegen Informationen über die Kosten zur Bereitstellung von Waldrest- und Schwachholz sowie die Arbeitsleistung bei motormanueller Ernte vor. Diese Daten stammen aus der Bundeswaldinventur (für die Alten Länder) aus dem Jahr 1987 und aus dem Datenspeicher Waldfonds im Jahr 1993. Bei den Berechnungen wurden nicht nutzbare Waldflächen ausgeklammert, dies sind zum Beispiel Nationalparke und Steillagen.

Es werden die drei nach dem Mechanisierungsgrad differenzierten Verfahren (vollmechanisiert, teilmechanisiert und motormanuell) zur Holzaufbereitung unterschieden. Die Definition dieser Verfahren erfolgt in DIETER (2000).⁷⁸ Diese Verfahren werden in Kombination mit drei Stärken des zu erntenden Holzes betrachtet: (A) Brusthöhendurchmesser (BHD) 1 von der Untergrenze 12 (bzw. 8) cm bis 15 cm (Schwachholz); (B) BHD 2 von 15 bis unter 35 cm (Waldrestholz) und (C) BHD 3 über 35 cm (Waldrestholz), wobei das vollmechanisierte Verfahren im Brusthöhendurchmesserbereich über 35 cm nicht angewendet werden kann.

Tabelle 3.7: Im Modell abgebildete Holzbereitstellungsverfahren

	Brusthöhendurchmesser		
	1	2	3
Verfahren			
vollmechanisiert	x	x	
teilmechanisiert	x	x	x
motormanuell	x	x	x

Quelle: Eigene Darstellung.

Aus der Kombination der betrachteten Brusthöhendurchmesser mit den verschiedenen Ernteverfahren ergeben sich acht Verfahren zur Holzaufbereitung (Tabelle 3.7)

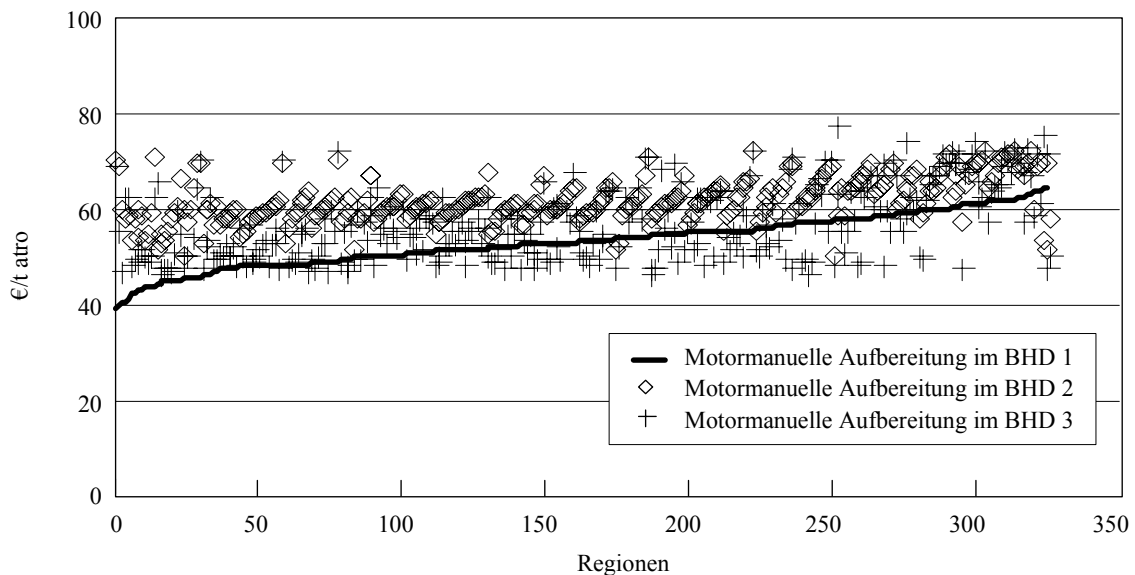
⁷⁷ DIETER (2000).

⁷⁸ DIETER (2000, S. 11 ff.).

mit regional unterschiedlichen Produktionskosten, Arbeitsleistungen sowie Maximalmengen. Die Aufbereitungskosten, die nach der Berechnung von DIETER (2000) in das Modell einfließen, werden in den folgenden Abbildungen 3.4 bis 3.6 ausschnittsweise dargelegt.⁷⁹ Bei dieser Darstellungsart werden die Regionen nach der Höhe der Aufbereitungskosten sortiert und nicht einzeln benannt.

Abbildung 3.4 zeigt die Kosten der Holzaufbereitung im motormanuellen Verfahren ohne Berücksichtigung der Kosten für Arbeit. Die Gesamtarbeitszeit liegt in der motormanuellen Holzaufbereitung bei drei bis vier Stunden pro Tonne atro. In den Abbildungen 3.5 und 3.6 werden die Aufarbeitungskosten im voll- und teilmechanisierten Verfahren verglichen. Es zeigt sich, dass das vollmechanisierte Verfahren in beiden Brusthöhendurchmessern kostengünstiger ist. Im Brusthöhendurchmesser 1 liegen die Kostenvorteile des vollmechanisierten Verfahrens bei ca. 15 €/t atro. Im Brusthöhendurchmesser 2 sind die Kostenvorteile des vollmechanisierten Verfahrens noch deutlicher. Der Unterschied liegt bei bis zu 70 €/t atro (siehe Abbildung 3.6).

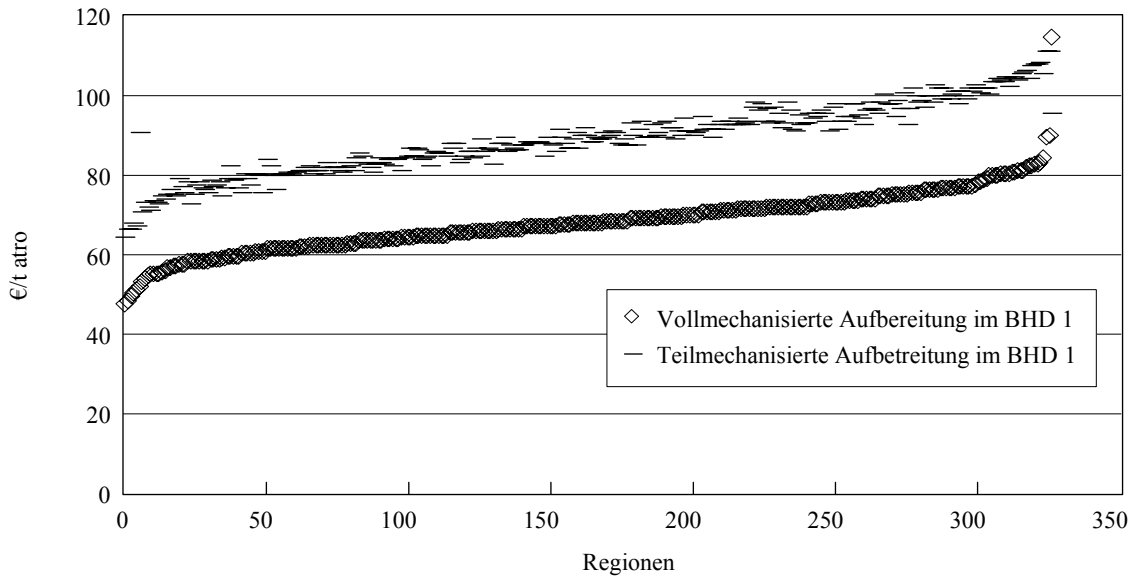
Abbildung 3.4: Aufbereitungskosten für Schwach- und Waldrestholz im motormanuellen Verfahren ohne Einbezug der Kosten für Arbeit nach DIETER (2000) und eigene Berechnungen



Quelle: DIETER (2000), eigene Berechnungen.

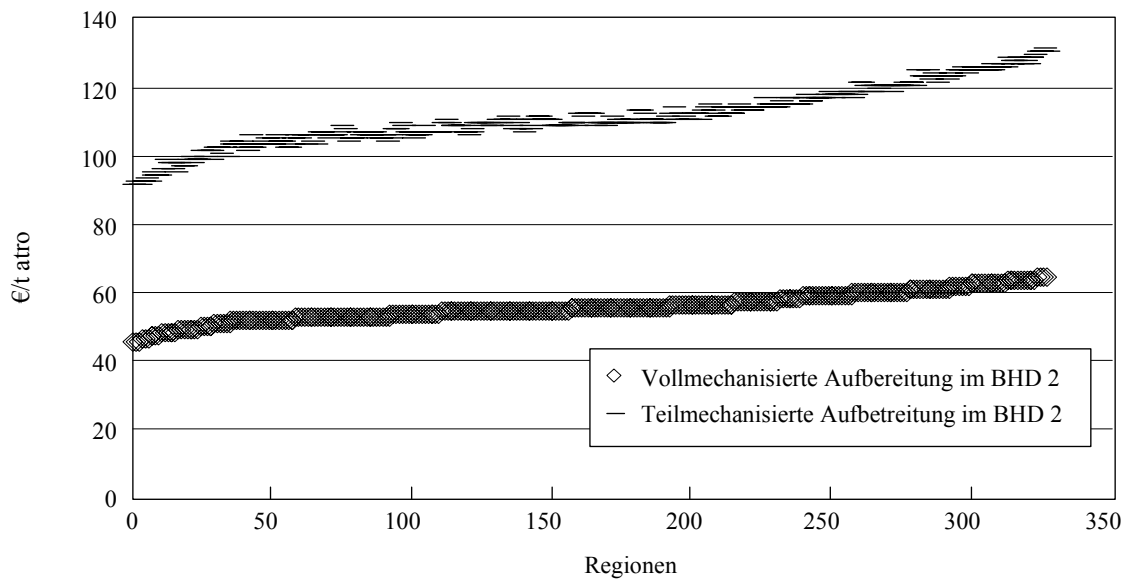
⁷⁹ DIETER (2000, S. 23).

Abbildung 3.5: Vergleich der Aufbereitungskosten für Schwachholz (BHD 1) im vollmechanisierten und teilmechanisierten Verfahren unter Einbezug der Kosten für Arbeit nach DIETER (2000)



Quelle: Nach DIETER (2000), eigene Berechnungen.

Abbildung 3.6: Vergleich der Aufbereitungskosten für Waldrestholz (BHD 2) im vollmechanisierten und teilmechanisierten Verfahren unter Einbezug der Kosten für Arbeit nach DIETER (2000)

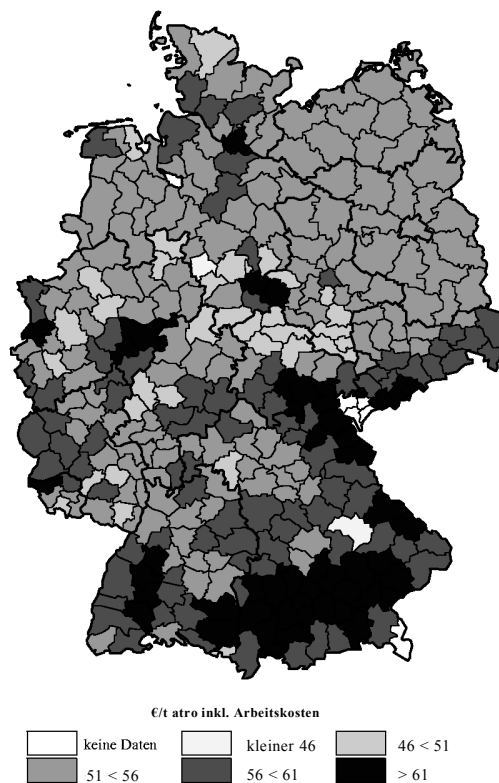


Quelle: Nach DIETER (2000), eigene Berechnungen.

Karte 3.3 zeigt, dass die höchsten Aufbereitungskosten im vollmechanisierten Verfahren bei einem BHD 2 strukturell bedingt in Bayern und im Süden der Neuen Länder anfallen. In den übrigen Teilen der Neuen Länder dagegen sowie in Niedersachsen können niedrige Kosten von bis zu 55 €/t netto realisiert werden. Die Karten A.1 bis A.4 im Anhang geben Auskunft über die Kosten der darüber hinaus berücksichtigten Aufbereitungsarten.

Die Gründe für die Kostenunterschiede in der Holzaufbereitung liegen also zum einen in der Aufbereitungsart (motormanuell, teil- und vollmechanisiert) und zum anderen in der Flächengröße, der Zugänglichkeit und der Bestandsart. Näheres hierzu ist in DIETER (2000) erläutert.

Karte 3.3: Regionale Kosten für die vollmechanisierte Holzernte im BHD 2



3.1.4.4 Produktionsverfahren Stroh

Das Strohaufkommen wird vom Umfang der Getreideproduktion bestimmt. Seine Verwendung findet Stroh in der Tierhaltung als Einstreu und Futter. Im Ackerbau

dient Stroh als Humusreproduzent und Dünger. Der tatsächlich verwendbare Teil des Strohaufkommens aus der Getreideproduktion wird u. a. durch den Bedarf von Einstreustroh eingeschränkt, der seinerseits von Art und Umfang der Tierhaltung bestimmt wird. Dieser Bedarf wurde im Gegensatz zum Bedarf an Futterstroh im Modell RAUMIS bis jetzt nicht abgebildet.

Ziel ist es, diesen Grundbedarf auf Kreisebene abzuschätzen. Für die Berechnung sind Informationen über den Anteil der Tierhaltungsverfahren auf Stroh innerhalb eines jeden Kreises erforderlich. Weiterhin werden Informationen über die Anzahl der regionalen Weidetage benötigt. Kreisweise Informationen über den Anteil der Tierhaltungsverfahren auf Stroh lagen bis zum Abschluss der Datenaufnahme nicht vor.

Für die Abschätzung werden die Strohhaltungsverfahren deshalb annahmegemäß an die Größe des Tierbestands „gebunden“. Dazu werden Daten aus der Tierbestandsstatistik von 1994 verwendet, wobei die Klasseneinteilung der Tierbestände auf KTBL-Daten für die Verfahrenskosten abgestimmt sind. Die Definition der Größenklassen ist Tabelle A.5 im Anhang zu entnehmen, die Annahmen über den Einstreustrohbedarf bei ganzjähriger Stallhaltung werden in Tabelle A.6 im Anhang dargelegt.

Die Anzahl der Weidetage wurden aus Klimadaten abgeleitet. In den Kreisen werden unterschiedliche Anteile der zuvor beschriebenen Größenklassen identifiziert und mittels Gewichtung in die Berechnung einbezogen. Ergebnis ist ein durchschnittlicher Einstreustrohbedarf pro Tier, der sich je nach Anteil der Größenklassen im Kreis sowie der Tierart unterscheidet.

Für das Basisjahr wird, wie Tabelle 3.8 zeigt, ein Gesamtbedarf an Einstreustroh von ca. 8,8 Mio. t/Jahr quantifiziert. Falls ein mittlerer Strohertrag von 6,5 t zugrunde gelegt wird, entspricht dies ca. 1,3 Mio. ha und somit im Basisjahr durchschnittlich ca. 20 % der Getreidefläche.

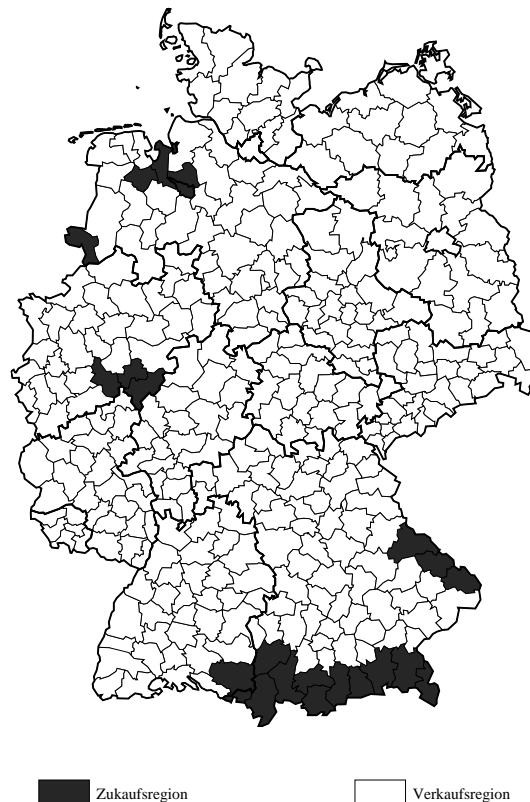
Tabelle 3.8: Tierartspezifischer Strohbedarf in Deutschland (Basisjahr) unter Berücksichtigung der Weidetage

	Umfang	Durchschnittlicher Strohbedarf	Einstreustrohbedarf
	Stück	t/Tier und Jahr ¹	t/Jahr
Milchkühe	5.270.001	0,10	548.175
Altkühe	118.305	0,10	11.264
Ammenkühe	514.867	0,99	510.633
Kälberaufzucht	2.219.789	1,04	2.312.388
Kälbermast	246.643	1,04	256.932
Färsen	4.663.013	0,15	681.290
Bullen	2.907.527	0,33	966.637
Sauenhaltung	2.606.637	0,17	435.758
Schweinemast	15.849.000	0,11	1.814.629
Junghennenhaltung	12.628.900	0,00	19.175
Legehennenhaltung	39.434.900	0,00	97.452
Masthähnchen	42.254.800	0,01	314.378
Sonstiges Geflügel	9.720.272	0,03	255.642
Schafe	1.698.079	0,25	424.441
Sonstige Tiere	595.766	0,24	145.874
Summe	-	-	8.794.669

¹ Gerundete Werte, in Abhängigkeit von der Bedeutung der Einstreuverfahren.
Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

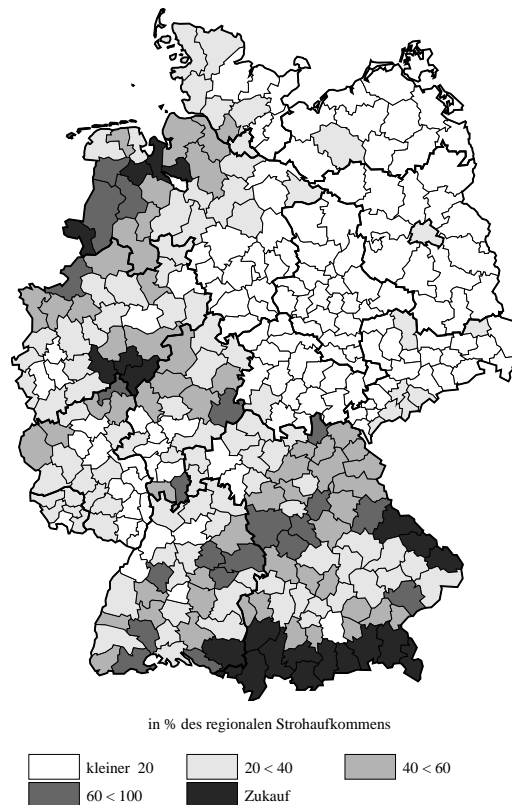
So wurden für das Basisjahr „Zukaufsregionen“ (Mangelregionen) und „Verkaufsregionen“ (Überschussregionen) berechnet (Karte 3.4). Durch entsprechende Möglichkeiten des Strohzukaufs wird im Modell die Deckung des Bedarfs in jeder Region sichergestellt.

Karte 3.4: Zu- und Verkaufsregionen für Stroh unter Berücksichtigung des regionalen Einstreustrohbedarfs und des Getreideumfangs im Basisjahr 1995



Die Karten 3.5 und 3.6 zeigen den regionalen Bedarf an Einstreustroh prozentual vom Gesamtstrohaufkommen im Basisjahr 1995 sowie in der Referenz 2005. Deutlich wird der im Vergleich zum Gesamtaufkommen geringe Anteil an Einstreustroh vor allem in den Neuen Ländern. Dies ist u. a. in unterschiedlichen Strukturen der Tierbestandsgrößen und der im Vergleich zum früheren Bundesgebiet geringeren Tierbestandsdichte begründet. Durch die in der Referenz gegenüber dem Basisjahr ansteigende Getreidefläche sinkt der prozentuale, regionale Einstreustrohbedarf.

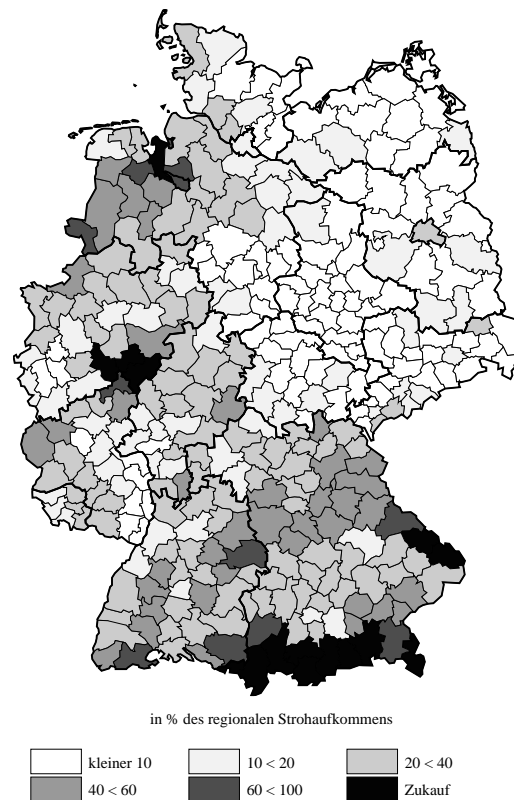
Karte 3.5: Kalkulierter Bedarf an Einstreustroh in Prozent des Strohaufkommens im Basisjahr 1995



Ergebnis dieser Berechnungen ist eine auf Kreisebene abgebildete Bedarfsstruktur für Einstreustroh. Diese hat gegenüber der Annahme eines sektoral fixen Grundbedarfs als prozentualer Anteil der Getreidefläche den Vorteil, dass die Verfahrensumfänge der Tierhaltung, die regional stark variieren, sowie sinkende bzw. steigende Getreideflächen differenzierte Berücksichtigung finden. Für die Szenarien werden die so berechneten kreis- und tierartspezifischen Bedarfe in die Verwendungsbilanz für Stroh einbezogen, so dass die sich ergebende Menge nicht für die energetische Verwendung zur Verfügung steht. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass sich die Struktur der Tierbestandsgrößenklassen bis zum Prognosejahr 2005 nicht verändert. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die Anteile der Tierproduktionsverfahren auf Stroh in Zukunft eher verringern werden. Insofern

handelt es sich ohne Berücksichtigung des Strukturwandels um eine pessimistische Einschätzung des für die Biomasseproduktion zur Verfügung stehenden Strohs.⁸⁰

Karte 3.6: Kalkulierter Bedarf an Einstreustroh in Prozent des Strohaufkommens in der Referenz 2005



Da die Strohproduktion an den Getreideanbau gekoppelt ist, werden die Arbeitsgänge der Bodenbearbeitung, Saat, Düngung sowie Ertragssicherung dem jeweiligen Verfahren des Getreideanbaus zugerechnet und tauchen im Biomasseproduktionsverfahren „Stroh“ nicht auf. Angerechnet werden nur die Kosten für die Strohproduktion.

⁸⁰ Im Modell RAUMIS wird davon ausgegangen, dass das Stroh, welches als Einstreu benutzt wird, wieder auf das Feld zurücktransportiert wird und dort als Humusprodukt fungiert. Der Humuswert des Strohs, das zur Biomasseproduktion aus dem Kreislauf abgeführt wird, wird aus Komplexitätsgründen nicht regional quantifiziert. Die mit dem Stroh entzogenen Nährstoffe allerdings werden monetär berücksichtigt.

Regionalisierung der Erträge. Die regionalen Stroherträge werden in Abhängigkeit vom regionalen Getreideertrag ermittelt. Die verwendeten Korn-/Strohverhältnisse sind in Tabelle A.7 im Anhang dargelegt.

3.1.4.5 Sonstige Produktionsverfahren

Für die Produktionsverfahren Raps, Triticale, Zuckerrüben und Winterweizen liegen in RAUMIS schon regionalisierte Datengrundlagen vor. Die Einzelheiten hierzu sind LÖHE (1998) zu entnehmen. Diese vorhandenen Datengrundlagen wurden für die vorliegende Arbeit übernommen, die Produktionskosten und Verfahrensansprüche werden also unabhängig von der Verwendungsart als identisch angenommen.

3.2 Methodik zur Preisermittlung für Biomasse: Die Äquivalenzkostenmethode

Um eine durch RAUMIS gestützte Analyse des zukünftigen Biomasseangebots durchführen zu können, ist, wie in Kapitel 3.1.1 erläutert wurde, die exogene Vorgabe von Erzeugerpreisen notwendig. Aufgrund nur beschränkt vorhandener Märkte für Biomasserohstoffe, eine Ausnahme bildet hier der Non-Food-Raps, sind diese Preise nicht bekannt. Für landwirtschaftliche Produkte – außer für die hier betrachtete Biomasse – werden als Vorbereitung für Modellanwendungen durch die Kopplung an das Marktmodell GAPsi⁸¹ iterativ Gleichgewichtspreise ermittelt.⁸²

Für die Ermittlung von Erzeugerpreisen für Biomasse kann dieses Verfahren jedoch nicht angewendet werden, da das Modell GAPsi den Energiemarkt nicht abbildet und die Datengrundlage hierfür nicht ausreicht. Da darüber hinaus die externen Kosten der Energiebereitstellung aus fossilen und biogenen Rohstoffen in den Preisen für Biomasse Berücksichtigung finden sollen, wurde in dieser Arbeit eine einheitliche Vorgehensweise zur Ermittlung von kalkulatorischen Erzeugerpreisen entwickelt, die im Folgenden vorgestellt wird.

⁸¹ GAPsi = partielles Gleichgewichtsmodell für die EU-Agrarmärkte. Dieses Modell wurde am Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik der FAL entwickelt (siehe z. B. KLEINHANSS et al. (1999)).

⁸² Dies wird ausführlich erläutert in KLEINHANSS et al. (1999).

Äquivalenzkosten für Biomasse geben aus Sicht des Biomasseanlagenbetreibers den monetären Wert an, mit dem Energie aus Biomasse zu denselben Kosten produziert werden kann wie Energie aus dem jeweiligen fossilen Vergleichssystem.⁸³

Die Berechnung von Äquivalenzkosten dient also der Ermittlung von maximal möglichen Rohstoffpreisen für Biomasse aus Sicht des Anlagenbetreibers. Sie stellen für die Modellanwendungen damit die Erzeugerpreise für Landwirte dar. Für die vorliegende Arbeit werden, der Zielsetzung folgend, zwei Arten von Äquivalenzkosten unterschieden:

- **Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten.** Aus Sicht eines Betreibers und Investors einer Bioenergieanlage ist die Wirtschaftlichkeit von Biomasseanlagen im Vergleich zu konventionellen, mit fossilen Energieträgern befeuerten Energieanlagen von primärem Interesse. Im Falle des Einsatzes von Biomasse in einem Heizkraftwerk ist dagegen entscheidend, ob der im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (siehe Kapitel 2.3.1) gewährte Garantiepreis einen kostendeckenden Anlagenbetrieb zulässt. Es stellt sich die Frage, wie hoch die Bereitstellungskosten bzw. Preise der in den Energieanlagen verfeuerten Bioenergieträger maximal sein dürfen, um die betriebswirtschaftlichen Vollkosten der Energiegestehung unterhalb oder gleich derer von fossil befeuerten Anlagen bzw. (im Falle des Einsatzes im Heizkraftwerk) unterhalb oder gleich der Einspeisevergütung zu halten.
- **Soziale Äquivalenzkosten.** Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist der Vergleich der sozialen Kosten einer Energiegestehung aus Biomasse und fossilen Energieträgern bedeutsam. Es stellt sich hierbei die Frage, wie viel die Produktion und Bereitstellung eines biogenen Flüssig- und Festbrennstoffs maximal kosten darf, um auch unter Berücksichtigung der (quantifizierbaren) externen Kosten zu den gleichen Energiegestehungskosten zu führen wie bei Verwendung konventioneller fossiler Kraft- und Brennstoffe. Für die Berechnung der sozialen Äquivalenzkosten werden also die betriebswirtschaftlichen Energiegestehungskosten fossiler Energien – diese werden auch als interne Kosten bezeichnet – und die monetarisierten externen Effekte (externe Kosten) fossiler und biogener Energien benötigt.⁸⁴

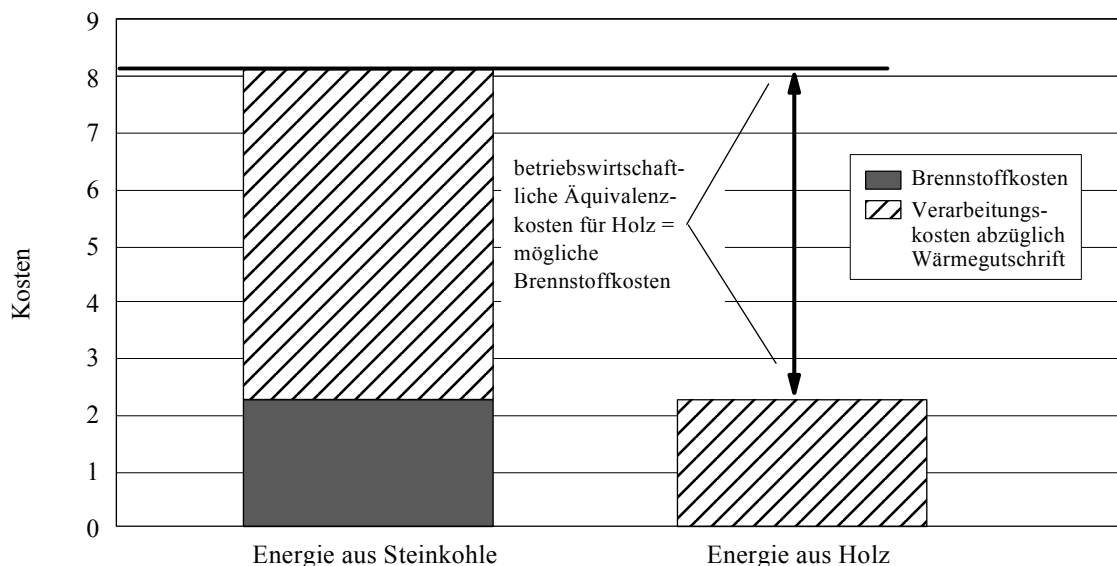
⁸³ Zur Bildung der Vergleichssysteme siehe KALTSCHMITT et al. (2000, S. 26 ff.).

⁸⁴ Diese notwendigen Eingangsdaten wurden in KALTSCHMITT et al. (2000) berechnet und von dort übernommen (KALTSCHMITT et al. (2000, S. 214 ff.)).

Als Vorbereitung für die Preisermittlung werden alle in der Energiebereitstellung anfallenden Kosten aufsummiert. Diese umfassen die kapitalgebundenen Kosten der Energieanlagen (Abschreibung, Zinsdienst, Planungskosten, etc.), die Betriebskosten der Energieanlagen (Personalkosten, Wartung, Betriebsmittel, etc.) und die Brennstoffkosten für fossile Energieträger. Die Äquivalenzkosten für Biomasse werden darauffolgend als Differenz zwischen den Gesamtkosten des fossilen Vergleichssystems und den erfassten Kosten der Energiebereitstellung aus Biomasse ermittelt. Die Mineralöl- und Ökosteuer sind Bestandteil der Berechnung, ebenso aktuelle Förderbedingungen. Beim Einsatz der Biomasse im Heizkraftwerk (gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung) wird ergänzend eine Wärmegutschrift für Biomasse berücksichtigt, die die Erlöse aus der Wärmeproduktion darstellt.⁸⁵ ⁸⁶

Abbildung 3.7 zeigt in schematischer Weise die Berechnung der Äquivalenzkosten am Beispiel der betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten für Holz beim Einsatz im Heizkraftwerk auf.

Abbildung 3.7: Berechnungsschema für die Äquivalenzkosten am Beispiel der betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten für Holz beim Einsatz im Heizkraftwerk



Quelle: Eigene Darstellung.

⁸⁵ KALTSCHMITT et al. (2000, S. 107).

⁸⁶ Die Preisgrundlage für die folgenden Berechnungen bezieht sich auf das Jahr 2000.

Unter Verwendung der Äquivalenzkosten in Form maximaler Erzeugerpreise für Biomasse wird in den Szenarien sichergestellt, dass die resultierende Biomasseproduktionsstruktur die jeweils aus betriebswirtschaftlicher oder volkswirtschaftlicher Sicht kostengünstigste Alternative darstellt und die Verwendung von Biomasse bei gegebenen Einkaufspreisen für substituiertes Rohöl bzw. Steinkohle aus Sicht des Anlagenbetreibers wettbewerbsfähig ist. Bei sich einstellender Preissteigerung für fossile Rohstoffe sind also auch höhere Erzeugerpreise für Biomasse möglich.⁸⁷

3.2.1 Annahmen und Datengrundlage für die Berechnung von Äquivalenzkosten

Definition von Vergleichssystemen. Zunächst werden für die betrachteten Biomasserohstoffe fossile Vergleichssysteme definiert. Die substituierten fossilen Energieträger sind in Tabelle 3.9 aufgeführt.⁸⁸

Biomassefestbrennstoffe können zum einen Heizöl im Heizwerk substituieren, zum anderen Steinkohle im Heizkraftwerk oder im Kraftwerk.⁸⁹ Das aus Non-Food-Raps hergestellte RME ersetzt Dieseltreibstoff, Ethanol ersetzt Benzin mittels einem Gemisch „E5“, welches 5 Vol.-% Ethanol und 95 Vol.-% Benzin enthält.

Tabelle 3.9: Durch Biomasse substituierte fossile Energieträger

Bioenergieträger	Verwendung in	Substituierter fossiler Energieträger
RME aus Raps	PKW	Dieseltreibstoff
Ethanol aus Winterweizen oder Zuckerrüben	PKW	Benzin
Miscanthus, Pappeln, Triticale, Waldrest- und Schwachholz, Stroh	Heizwerk	Heizöl
Miscanthus, Pappeln, Triticale, Waldrest- und Schwachholz, Stroh	Heizkraftwerk und Kraftwerk	Steinkohle

Quelle: Eigene Darstellung.

⁸⁷ Es wird von einem Rohölpreis in Höhe von 148,27 €/t ausgegangen. Das entspricht bei einem Dollarkurs von 1,12 €/€ einem Rohölpreis von 18 \$/Barrel. Bezogen auf den Energiegehalt von einer Tonne Rohöl berechnet sich daraus ein Preis von etwa 3,73 €/GJ. Für Importkohle wird ein Preis von 1,27 €/GJ unterstellt.

⁸⁸ Eine ausführliche Darstellung der fossilen Vergleichssysteme ist in KALTSCHMITT et al. (2000, S. 29 ff.) zu finden.

⁸⁹ Die Definitionen für Heizkraftwerk, Heizwerk, Kraftwerk und PKW, die für die vorliegende Arbeit unterstellt wurden, sind in den Tabellen A.8, A.9, A.10 und A.11 im Anhang aufgeführt.

Interne Energiegestehungskosten fossiler Vergleichssysteme. Es wird zwischen den internen und externen Kosten der Energieerzeugung unterschieden.⁹⁰ Die internen Energiegestehungskosten der substituierten fossilen Energieträger werden, wie in den vorangegangenen Abschnitten erläutert wurde, auf Grundlage der festen und variablen Kosten (inklusive der Kosten für den eingesetzten Brennstoff) berechnet. In Tabelle 3.10 sind die Ergebnisse der Berechnungen aufgeführt.⁹¹

Tabelle 3.10: Zusammensetzung der internen Energiegestehungskosten fossiler Vergleichssysteme mit Berücksichtigung der Brennstoffkosten

Energie-träger	Verwendungsort	Einheit	Feste Kosten	Variable Kosten ¹	Brennstoffkosten	Summe
<i>ohne Berücksichtigung der Mineralöl- und Ökosteuer</i>						
Diesel	PKW	Cent/km	22,5	3,1	1,9	27,5
Benzin	PKW	Cent/km	21,0	3,1	2,8	26,8
Heizöl EL	Heizwerk	Cent/kWh	1,7	0,4	3,1	5,2
Steinkohle	Heizkraftwerk u. Kraftwerk	Cent/kWh	2,2	0,8	1,2	4,2
<i>mit Berücksichtigung der Mineralöl- und Ökosteuer</i>						
Diesel	PKW	Cent/km	22,5	3,1	4,4	30,0
Benzin	PKW	Cent/km	21,0	3,1	7,5	31,5
Heizöl EL	Heizwerk	Cent/kWh	1,7	0,4	3,6	5,7
Steinkohle	Heizkraftwerk u. Kraftwerk	Cent/kWh	2,2	0,8	1,2	4,2

¹ Ohne Brennstoffkosten.

Quelle: Eigene Darstellung nach KALTSCHMITT et al. (2000, S. 218 ff.).

Tabelle 3.10 zufolge ist die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom aus importierter Steinkohle zu 4,2 Cent möglich⁹², wohingegen eine Kilowattstunde Strom aus Heizöl unter Berücksichtigung der Mineralöl- und Ökosteuer 5,7 Cent kostet. Pro gefahrenem Kilometer im PKW werden aus Diesel 30,0 Cent und aus Benzin 31,5 Cent veranschlagt, wobei der Effekt der Mineralöl- und Ökosteuer auf die maximal möglichen

⁹⁰ Eine Definition dieser Begriffe ist in Kapitel 2.1. zu finden.

⁹¹ Die Methodik der Berechnung ist in KALTSCHMITT et al. (2000, S. 29 ff.) ausführlich dokumentiert.

⁹² Die Einspeisevergütung von 8,7 Cent/kWh (17 Pf/kWh) steht diesen Wert entgegen, so dass die energetische Nutzung von Biomasse aus Sicht des Anlagenbetreibers um 4,5 Cent teurer wäre.

chen Brennstoffkosten bei RME ca. 2, 5 Cent/km und bei Ethanol 4,7 Cent/km beträgt.⁹³

Interne Energiegestehungskosten von Biomasseenergieträgern. Tabelle 3.11 zeigt die Zusammensetzung der internen Energiegestehungskosten von Biomasseenergieträgern auf. Hierbei wird unterschieden in Halmgüter und Holzhackschnitzel. Halmgüter umfassen Triticale, Miscanthus und Stroh, Holzhackschnitzel werden aus Pappel-, Waldrest- und Schwachholz hergestellt.

Tabelle 3.11: Zusammensetzung der internen Energiegestehungskosten von Biomasseenergieträgern ohne Berücksichtigung der Brennstoffkosten für Biomasse

Verwendungsort	Energieträger	Feste Kosten	Variable Kosten ¹	Fossile Brennstoffkosten	Wärme-gutschrift	Summe ⁴
in Cent/kWh						
<i>ohne Berücksichtigung der Mineralöl- und Ökosteuer</i>						
Heizwerk	Halmgüter	2,9	1,0	0,7		4,7
	Holzhackschnitzel	2,5	1,1	0,7		4,3
Kraftwerk	Halmgüter	2,9	0,9			3,8
	Holzhackschnitzel	2,8	0,9			3,7
Heizkraftwerk	Halmgüter	4,7	1,4		-4,1	2,0
	Holzhackschnitzel	4,4	1,3		-4,0	1,6
<i>mit Berücksichtigung der Mineralöl- und Ökosteuer</i>						
Heizwerk ²	Halmgüter	2,9	1,0	0,8		4,8
	Holzhackschnitzel	2,5	1,1	0,8		4,4
Heizwerk ³	Halmgüter	2,6	1,0	0,8		4,4
	Holzhackschnitzel	1,8	1,1	0,8		3,7
Kraftwerk	Halmgüter	2,9	0,9			3,8
	Holzhackschnitzel	2,8	0,9			3,7
Heizkraftwerk	Halmgüter	4,7	1,4		-4,6	1,6
	Holzhackschnitzel	4,4	1,3		-4,5	1,2

¹ Ohne Brennstoffkosten ² Ohne Investitionskostenförderung ³ Mit Investitionskostenförderung ⁴ Gerundete Werte.B10
Quelle: Eigene Darstellung nach KALTSCHMITT et al. (2000, S. 218 ff.).

⁹³ Der Effekt der Mineralölsteuer tritt nur bei RME auf, da das Ethanol im E5-Gemisch mit versteuert wird.

Es ergeben sich folgende Besonderheiten: Im Heizwerk werden für den Einsatz von Biomasse auch fossile Brennstoffkosten berücksichtigt, die daraus resultieren, dass Biomasse annahmegemäß die Grundlast übernimmt, die Spitzenlast jedoch von Heizöl abgedeckt wird.⁹⁴ Für den Einsatz der Biomasse im Heizkraftwerk wird eine Wärmegutschrift berücksichtigt, da es sich um eine gekoppelte Strom- und Wärmebereitstellung handelt. Diese Wärmegutschrift ist mit 4 bis 4,5 Cent/kWh der vorrangige Bestimmungsgrund dafür, dass die Biomasse im Heizkraftwerk am günstigsten eingesetzt werden kann.

Externe Kosten der Energiegewinnung. Die monetarisierbaren externen Effekte umfassen im Einzelnen luftschadstoffbedingte Wirkungen wie Gesundheitsschäden, Materialschäden, Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion, Auswirkungen auf naturnahe Ökosysteme und den anthropogenen Treibhauseffekt. Der Begriff externe Effekte und daraus berechenbare externe Kosten wurde in Kapitel 2.1. definiert und findet nun Anwendung bei der Berechnung der sozialen Äquivalenzkosten. Die hier dargestellten externen Kosten sind KALTSCHMITT et al. (2000) entnommen und stellen nur die zu erwartenden Größenordnungen dar. Sie spiegeln als solche die Unterschiede zwischen fossilen und biogenen Energiestoffen wider, es kann jedoch kein umfassender Anspruch an die Analyse gestellt werden, da bei derzeitigem Stand des Wissens nur ein Teil der auftretenden Effekte monetarisiert werden kann.⁹⁵

Tabelle 3.12 stellt die unter den Annahmen von KALTSCHMITT et al. (2000) berechneten externen Kosten dar. Biomasse hat beim Einsatz im Heizkraftwerk und im Kraftwerk Kostenvorteile gegenüber Steinkohle, die ihrerseits durch vergleichsweise hohe externe Kosten ausgezeichnet ist und gegenüber Heizöl im Nachteil ist. Der Einsatz von Biomasse weist als Substitut von Steinkohle im Heizkraftwerk die niedrigsten externen Kosten auf, was für einen Einsatz der Biomasse im Heizkraftwerk spricht. Hier sind die externen Kosten von Holz am geringsten, gefolgt von Pappelholz und Miscanthus.

Der Einsatz von Triticale weist in allen Verwendungsmöglichkeiten die höchsten externen Kosten auf. Für deren Höhe haben klimawirksame Gase, Stickstoffoxide und Schwefeldioxid eine hohe Bedeutung. Aufgrund des auf die Brennstoffenergie bezogenen hohen Düngemittelaufwands bei Triticale sind hier die höchsten Freiset-

⁹⁴ Diese und weitergehende Annahmen sind in KALTSCHMITT et al. (2000, S. 27 ff.) dokumentiert.

⁹⁵ KALTSCHMITT et al. (2000, S. 125 ff.).

zungen von klimawirksamen Gasen festzustellen.⁹⁶ Auch im Bereich der Stickstoffoxide weist Triticale die höchsten Emissionen auf, was durch die emissionsrelevanten Inhaltsstoffe (z. B. Stickstoff, Chlor und Schwefel) begründet ist.

Holzartige Biomassen sind dagegen relativ stickstoffarm. Für weitergehende Ursachen der Kostenunterschiede wird auf KALTSCHMIDT et al. (2000, S. 112 ff.) verwiesen.

Tabelle 3.12: Quantifizierbare externe Kosten der untersuchten Energieträger in verschiedenen Verwendungsalternativen

	Heizkraftwerk		Kraftwerk		Heizwerk		PKW	
	Cent je kWh _{el}	Differenz zu fossilem Brennstoff	Cent je kWh _{el}	Differenz zu fossilem Brennstoff	Cent je kWh _{th}	Differenz zu fossilem Brennstoff	Cent je km	Differenz zu fossilem Brennstoff
Steinkohle	3,9		3,9					
Heizöl					1,6			
Miscanthus	1,2	(-2,8)	1,8	(-2,1)	2,0	(0,4)		
Triticale	3,3	(-0,7)	2,4	(-1,6)	2,8	(1,2)		
Stroh	1,4	(-2,6)	1,9	(-2,0)	2,0	(0,5)		
Pappel	1,0	(-2,9)	1,9	(-2,0)	1,9	(0,3)		
Waldhölzer	0,4	(-3,5)	1,5	(-2,5)	1,7	(0,1)		
Diesel							3,07	
Benzin							2,66	
RME							3,02	(-0,05)
Ethanol (Zuckerrübe)							3,07	(0,41)
Ethanol (Winterweizen)							3,07	(0,41)

Quelle: Eigene Darstellung nach KALTSCHMITT et al. (2000, S. 128).

Beim Einsatz der Biomasse im Heizwerk als Substitut für Heizöl sind höhere externe Kosten zu erwarten, die Differenz zwischen biogenen und fossilen Brennstoffen ist hier positiv, Biomasse ist hier gegenüber Heizöl im Nachteil.

Unter den Flüssigenergieträgern hat Benzin die geringsten externen Kosten zu verzeichnen. RME weist aus Sicht der externen Kosten keine große Differenz zum Dieseltreibstoff auf. Da im Treibstoffbereich die festen und variablen Kosten fossiler und biogener Energieträger gleich hoch sind, werden maximale betriebswirtschaftliche Brennstoffkosten in Höhe der fossilen Brennstoffkosten möglich. Die maximalen Brennstoffkosten auf „sozialer“ Basis beziehen die externen Kosten ein, so dass hier ein Auf- bzw. Abschlag in Höhe der Differenz der externen Kosten zu tätigen

⁹⁶ KALTSCHMITT et al. (2000, S. 114).

ist. Bei RME beträgt der externe Nutzen gegenüber Diesel 0,05 Cent/km, bei Ethanol aus Zuckerrüben und Winterweizen sind aufgrund höherer Schwefeldioxidemissionen externe Mehrkosten gegenüber Benzin zu verzeichnen, die 0,4 Cent/km betragen.

Im Folgenden werden, nach dieser Einführung und Dokumentation der Eingangsdaten, die betriebswirtschaftlichen und sozialen Äquivalenzkosten berechnet.

3.2.2 Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten

Die betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten werden auf Grundlage der internen Energiegestehungskosten fossiler Vergleichssysteme sowie der um die biogenen Rohstoffkosten bereinigten internen Kosten für Biomasse kalkuliert und zwar unter Berücksichtigung derzeit geltender Steuerpolitik. Externe Kosten der Energiegewinnung finden in dieser Berechnung keine Berücksichtigung.

Bei Ermittlung der maximal möglichen Erzeugerpreise für Biomasse beim Einsatz im Heizkraftwerk wird der Garantiepreis, im Folgenden als „Einspeisevergütung“ bezeichnet, ergänzend als Berechnungsgrundlage genommen. Dies bedeutet, dass der Einkaufspreis für Biomasse maximal bei 8,7 Cent/kWh abzüglich der festen und variablen Kosten (diese berechnet ohne Brennstoffkosten) liegen dürften.

Tabelle 3.13: Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten fester Bioenergieträger in verschiedenen Energieerzeugungssystemen frei Energieanlage in Deutschland insgesamt

Einsatz im	Heizwerk ¹	Kraftwerk ²	Heizkraftwerk ²	Heizkraftwerk ³
Bioenergieträger	Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten in €/GJ			
ohne Investitionsförderung				
Halmgut	2,12	0,48	1,99	5,42
Holzhackschnitzel	2,98	0,61	2,73	6,84
mit Investitionsförderung				
Halmgut	3,14			
Holzhackschnitzel	5,10			

¹ Abgeleitet aus Wärmebereitstellung aus heizölbefeuerten Heizwerken und Zentralheizungen.

² Abgeleitet aus Stromgestehungskosten aus Importsteinkohle.

³ Abgeleitet aus aktueller Einspeisevergütung in Höhe von 8,7 Cent/kWh.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 142).

Tabelle 3.13 zeigt die ermittelten betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten in € pro Gigajoule Energie auf. Leitet man die betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten aus der Einspeisevergütung von 8,7 Cent/kWh ab, so sind die höchsten Erzeugerpreise von 5,42 €/GJ bei Halmgut und 6,8 €/GJ bei Holzhackschnitzeln möglich.

Leitet man diese Werte aus der Substitution von Steinkohle ohne Einspeisevergütung ab, so sind um 3,44 €/GJ verminderte Werte bei Halmgütern und um 4,11 €/GJ verminderte Werte bei Holzhackschnitzeln zu erkennen. Die Investitionsförderung beim Einsatz im Heizwerk hat einen Einfluss auf die maximal möglichen Kosten von +1,03 €/GJ bei Halmgütern und +2,2 €/GJ bei Holzhackschnitzeln (Tabelle 3.13).

Wird Biomasse im Kraftwerk eingesetzt, so sind hier nur vergleichsweise geringe maximale Kosten der Biomasse möglich um die Wettbewerbsfähigkeit zur Steinkohle zu gewährleisten: Es können maximal 0,48 €/GJ für Halmgüter und 0,61 €/GJ für Holzhackschnitzeln gezahlt werden.

Die für Non-Food-Raps, Zuckerrüben und Winterweizen ermittelten betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten sind in Tabelle 3.14 zusammengefasst. Für RME kann aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein Preis von 0,62 €/l Kraftstoff gezahlt werden. Auf den Rohstoff umgerechnet bedeutet dies ein Preis für Non-Food-Raps von 17,2 €/GJ.

Tabelle 3.14: Betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten für die Ausgangsprodukte von Biokraftstoffen frei Produktionsanlage⁹⁷

Kraftstoff	Ausgangsprodukt	Äquivalenzkosten ³	
		€/l ¹	€/GJ ²
RME	Rapssaat frei Ölmühle	0,62	17,23
Ethanol aus Zuckerrüben	Zuckerrüben frei Zuckerfabrik	0,07	-11,96
Ethanol aus Winterweizen	Weizen frei Zuckerfabrik	0,07	-9,77

¹ Kosten des Endproduktes (Kraftstoff) bezogen auf 1 Liter Kraftstoff.

² Kosten des Ausgangsproduktes bezogen auf 1 GJ Kraftstoff.

³ Gerundete Werte.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 143).

⁹⁷ Die betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten werden für die Szenarioberechnungen in € pro Tonne Frischmasse bzw. Trockenmasse umgerechnet (vgl. Tabelle 4.2 in Kapitel 4).

Für Ethanol aus Zuckerrüben und Winterweizen dürfen maximale Kosten in Höhe von 0,07 €/l Kraftstoff entstehen, um die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Benzin zu erhalten. Bezogen auf das unbearbeitete Ausgangsprodukt sind jedoch nur negative Preise möglich. Die in der Konversion der Ausgangsprodukte entstehenden Kosten sind also höher als der zur Verfügung stehende Preisspielraum. Es kann gesagt werden, dass negative Erzeugerpreise für Zuckerrüben und Winterweizen für die Ethanolproduktion zu einem Anbauumfang von null führen.

3.2.3 Soziale Äquivalenzkosten

Die sozialen Äquivalenzkosten werden auf Grundlage der externen Kosten von Bioenergieträgern sowie der internen Energiegestehungskosten und externen Kosten des fossilen Vergleichssystems berechnet (d. h. unter Verwendung der Eingangsdaten aus den Tabelle 3.10 bis 3.12). Politische Rahmenbedingungen, wie die Investitionsförderung und die Mineralöl- und Ökosteuer, werden nicht in die Berechnung einbezogen, da der Einfluss von staatlichen Regelungen in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt wird.

Tabelle 3.15: Soziale Äquivalenzkosten fester Bioenergieträger in verschiedenen Energieerzeugungssystemen⁹⁸

Energieträger	Einsatz im	Soziale Äquivalenzkosten in €/GJ		
		Heizwerk	Kraftwerk	Heizkraftwerk
Miscanthus		0,13	2,90	3,72
Triticale		-1,75	2,35	2,15
Stroh		0,01	2,81	3,58
Pappelholz		1,23	3,01	5,00
Waldrest- und Schwachholz		1,68	3,00	5,55

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 146).

Da die zu berücksichtigenden externen Kosten aus der Biomasseverbrennung für jeden Bioenergieträger unterschiedlich ausfallen, ergeben sich, im Gegensatz zu den betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten, für jeden Bioenergieträger individuelle Werte.

⁹⁸ Die sozialen Äquivalenzkosten werden für die Szenarioberechnungen in € pro Tonne Frischmasse bzw. Trockenmasse umrechnet (vgl. Tabelle 4.3 in Kapitel 4).

Die höchsten sozialen Äquivalenzkosten (d. h. die maximal erzielbaren Erzeugerpreise) werden beim Einsatz von Biomasse im Heizkraftwerk erzielt. Sie bewegen sich zwischen 2,15 €/GJ bei Triticale und 5,55 €/GJ bei Waldrest- und Schwachholz. Beim Einsatz im Heizwerk kann die Biomasse nur sehr gering entlohnt werden, bei Triticale tritt hier sogar ein negativer Wert auf. Diese niedrigen Werte sind durch die geringen externen Kosten der Heizölverwendung bei gleichzeitig vergleichsweise hohen externen Kosten der Biomasse im Heizwerk zu erklären.

Tabelle 3.16: Soziale Äquivalenzkosten für die Ausgangsprodukte von Biokraftstoffen und für die jeweiligen Kraftstoffe beim fossilen Referenzkraftstoff

Kraftstoff	Ausgangsprodukt	Äquivalenzkosten ³	
		€/l ¹	€/GJ ²
RME	Rapssaat frei Ölmühle	0,29	6,95
Ethanol aus Zuckerrüben	Zuckerrüben frei Zuckerfabrik	0,19	-6,14
Ethanol aus Winterweizen	Weizen frei Zuckerfabrik	0,20	-3,73

¹ Kosten des Endproduktes (Kraftstoff) bezogen auf 1 Liter Kraftstoff.

² Kosten des Ausgangsproduktes bezogen auf 1 GJ Kraftstoff.

³ Gerundete Werte.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 151).

Wie Tabelle 3.16 zeigt, ist ein maximaler Literpreis von 28,6 Cent möglich, um den PKW-Betrieb durch RME zu den gleichen sozialen Kosten zu ermöglichen wie auf Basis von fossilem Dieseltreibstoff. Bezogen auf das Ausgangsprodukt Non-Food-Raps sind hier positive Werte möglich, um die Wettbewerbsfähigkeit zu Dieseltreibstoff zu gewährleisten. Für die Ausgangsprodukte Zuckerrüben und Winterweizen sind negative Werte zu verzeichnen, was auch hier zu einem Angebotsumfang von null führen wird.

3.3 Methodik zur Quantifizierung makroökonomischer Effekte

Strukturänderungen in der Energiegewinnung können mit strukturellen, monetären und beschäftigungswirksamen Auswirkungen sowohl auf die deutsche Land- und Forstwirtschaft als auch auf alle anderen Sektoren der Volkswirtschaft einhergehen. Diese makroökonomischen Effekte sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit auszugswise quantifiziert und diskutiert werden. Dazu zählen neben Beschäftigungseff-

fekten in der Land- und Forstwirtschaft u. a. auch Auswirkungen auf das landwirtschaftliche Einkommen sowie Steuereinnahmen des Staats.

Im Folgenden wird erläutert mit welchen Methoden diese quantifiziert und bewertet werden. Dabei wird zunächst die Vorgehensweise zur Berechnung möglicher Einflüsse auf die Beschäftigung innerhalb der Land- und Forstwirtschaft sowie denkbarer Veränderungen der Einkommenssituation dargestellt. Anschließend wird beschrieben, wie die Auswirkungen einer vermehrten Energiegewinnung aus Biomasse auf die Steuereinnahmen des Staats abgeschätzt werden.

3.3.1 Beschäftigungswirkungen

Eine Veränderung der land- und forstwirtschaftlichen Produktionsstruktur infolge einer vermehrten Produktion und Bereitstellung von Bioenergieträgern kann zu Veränderungen des Arbeitsbedarfs innerhalb der Land- und Forstwirtschaft führen.⁹⁹ Die nachfolgend erläuterte Ermittlung der Beschäftigungseffekte konzentriert sich auf den land- und forstwirtschaftlichen Bereich.

Da das Modell RAUMIS die deutsche Landwirtschaft vollständig, die Forstwirtschaft aber nur hinsichtlich einer zusätzlichen Bereitstellung von Waldrest- und Schwachholz abbildet, erfolgt die Erfassung der direkten Beschäftigungseffekte zunächst getrennt für die Produktion und Bereitstellung landwirtschaftlicher Biomassen auf der einen Seite und forstwirtschaftlicher Biomassen auf der anderen Seite. Die motormanuelle Aufbereitung von Waldrest- und Schwachholz wird annahm gemäß ausschließlich von Landwirten durchgeführt; die teil- und vollmechanisierte Aufbereitung erfolgt ausschließlich durch Forstunternehmer.

Zur Bestimmung der aus einer vermehrten Nutzung landwirtschaftlicher Bioenergieträger resultierenden Beschäftigungseffekte wird jedem in RAUMIS abgebildeten landwirtschaftlichen Produktionsverfahren der notwendige Arbeitszeitbedarf für Bodenbearbeitung, Saat, Düngung, Ertragssicherung und Ernte zugeschrieben. Die Arbeitsbedarfe für die Bereitstellung von Waldholz werden von DIETER (2000a) übernommen.¹⁰⁰

⁹⁹ Umstrukturierungen in anderen Bereichen der Volkswirtschaft (z. B. infolge der Substitution von konventionellen Energiesystemen) ziehen ebenfalls Änderungen im Gesamtarbeitsbedarf nach sich. Diese werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht berechnet.

¹⁰⁰ DIETER (2000a), mündliche Auskunft.

Diese Arbeitszeitbedarfe der Einzelprozesse werden zu einem Gesamtarbeitszeitbedarf der deutschen Landwirtschaft aufaddiert. In diesem Wert sind der Arbeitszeitbedarf zur Bereitstellung der Bioenergieträger und auch der Arbeitszeitbedarf zur Bereitstellung aller sonstigen landwirtschaftlichen Produkte enthalten.

Der aus der Bioenergiegewinnung resultierende Nettoarbeitszeitbedarf in der deutschen Landwirtschaft ergibt sich als Differenz aus dem Gesamtarbeitszeitbedarf in der Landwirtschaft unter Annahme einer vermehrten Bioenergiegewinnung und dem Gesamtarbeitszeitbedarf in der Landwirtschaft in einem Referenzszenario ohne Bioenergiegewinnung.¹⁰¹ Hierbei handelt es sich jedoch ausschließlich um den kalkulatorischen Mehrbedarf an Arbeit (d. h., es wird unterstellt, dass jede erfasste Mehrarbeit durch neu eingestellte Arbeitskräfte erledigt wird). Dies entspricht gerade im Bereich der Holzaufarbeitung oder der Strohbereitstellung durch Landwirte in vielen Fällen nicht der Realität, da die durchzuführenden Arbeiten in nur geringer zeitlicher Konkurrenz mit der landwirtschaftlichen Flächennutzung stehen. Dieser Ansatz ist also nur eine Näherung. Grundsätzlich wäre nämlich denkbar, dass ein sich ggf. ergebender Arbeitszeitmehrbedarf z. B. durch nicht vollständig ausgelastete Arbeitskräfte in der Land- oder Forstwirtschaft geleistet wird und damit keine direkten Beschäftigungseffekte ausübt. Eine derartige versteckte Arbeitslosigkeit kann hier mangels verfügbarer Daten aber nicht quantifiziert werden. Das Ergebnis der Berechnung der direkten Beschäftigungseffekte in der Land- und Forstwirtschaft muss daher als oberer zu erwartender Grenzwert angesehen werden. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Analog wird zur Berechnung der direkten Beschäftigungswirkungen in der Forstwirtschaft infolge einer energetischen Nutzung forstwirtschaftlicher Bioenergieträger vorgegangen. Die in RAUMIS zur Bestimmung des Waldholzangebots berücksichtigten Verfahren einer Bereitstellung von Waldrest- oder Schwachholz werden ebenfalls hinsichtlich des Arbeitsbedarfs zusammen mit dem ermittelten Waldholzangebot direkt zu einem Nettoarbeitszeitbedarf in der Forstwirtschaft verrechnet. In Abstimmung mit DIETER (2000a) wird für den Bereich der Forstwirtschaft vereinfachend ein sektoraler Wert von einer Stunde pro Tonne Holz (atro = absolut trocken) zur Berechnung der zusätzlichen kalkulatorischen Arbeitskräfte verwendet.¹⁰²

¹⁰¹ Eine als positiv bezeichnete Auswirkung bedeutet hier eine Steigerung der Beschäftigung, eine als negativ bezeichnete Auswirkung beschreibt eine Minderung.

¹⁰² DIETER (2000a), mündliche Auskunft.

Um schließlich die Beschäftigungswirkung infolge einer vermehrten Energiegewinnung aus Biomasse auf die deutsche Land- und Forstwirtschaft zu ermitteln, wird der für die Land- und Forstwirtschaft berechnete Nettoarbeitszeitbedarf durch die mittlere Jahresarbeitszeit einer Arbeitskraft dividiert. Eine in der Land- oder Forstwirtschaft beschäftigte Familienarbeitskraft wird basierend auf einer erhöhten Jahresarbeitszeit von 2.200 Stunden berechnet, eine Fremdarbeitskraft arbeitet den Modellannahmen zufolge nur 1.700 Stunden im Jahr. Für die Modellierung des Gesamtarbeitszeitbedarfs in der Landwirtschaft im Jahr 2005 ohne eine Nutzung der betrachteten Bioenergieträger wird von einer jährlichen Abnahmerate der in der Landwirtschaft Beschäftigten um 3 % ausgegangen.¹⁰³

3.3.2 Land- und forstwirtschaftliches Einkommen

Als Folge einer vermehrten Energiegewinnung aus Biomasse in Deutschland sind auch Einflüsse auf das Einkommen der in der Land- und Forstwirtschaft Beschäftigten zu erwarten. Darunter sind nicht nur zusätzliche (beschäftigungswirksame) Arbeitslöhne, sondern auch darüber hinausgehende Gewinne zu verstehen.

Grundsätzlich ist in den Szenarien davon auszugehen, dass sich das land- und forstwirtschaftliche Einkommen erhöht, da die Freiwilligkeit der Biomasseproduktion besteht und somit nur dort Biomasse bereitgestellt wird, wo diese zur Einkommenssteigerung beiträgt. Wenn sich gleichzeitig die Preise und Prämienzahlungen für sonstige Agrarprodukte im Vergleich zur Referenz nicht verringern, ist also keine negative Einkommensveränderung zu erwarten.

Die Bilanzierung der Einkommenseffekte erfolgt zunächst getrennt für die Produktion und Bereitstellung land- und forstwirtschaftlicher Biomasse. Sie werden anschließend zur Ermittlung des Gesamteffekts aufsummiert.

Das landwirtschaftliche Einkommen wird als die Nettowertschöpfung zu Faktorkosten (NwSf) berechnet. Dabei wird – unter Berücksichtigung der regional unterschiedlichen Produktionsbedingungen – zunächst für jedes einzelne in RAUMIS abgebildete landwirtschaftliche Produkt die Summe aus seinem Produktionswert und den erhaltenen Subventionen abzüglich der getätigten Vorleistungen, der Abschrei-

¹⁰³ KLEINHANSS et al. (1998, S. 36).

bungen sowie der indirekten Steuern¹⁰⁴ berechnet. Die auf diese Weise ermittelten Einkommen aus den landwirtschaftlichen Einzelprodukten werden dann auf Basis der mit RAUMIS modellierten landwirtschaftlichen Gesamtproduktion im Jahre 2005 zu einem Gesamteinkommen der deutschen Landwirtschaft aufsummiert.

Zur Berechnung der Einkommenseffekte infolge einer energetischen Nutzung forstwirtschaftlicher Bioenergieträger werden die Verfahren zur Bereitstellung von Waldrest- oder Schwachholz in analoger Weise hinsichtlich ihrer spezifischen Einkommenseffekte bewertet und zusammen mit dem im jeweiligen Szenario ermittelten Waldholzangebot zu einem resultierenden Einkommenseffekt in der Land- und Forstwirtschaft verrechnet.

Die dem Verkauf der Bioenergieträger zugrundeliegenden Preise werden im Rahmen der Szenarienanalyse als theoretische Äquivalenzkosten (siehe hierzu die Ausführungen in Kapitel 3.2) für eine (unter betriebs- oder volkswirtschaftlichen Aspekten) wettbewerbsfähige Energiegestehung angenommen.

3.3.3 Steuereinnahmen

Durch Änderung der Energieerzeugungsstruktur sind auch Auswirkungen auf die Steuereinnahmen des Staats zu erwarten. Im Wesentlichen sind dabei – infolge der Substitution fossiler Energieträger – Veränderungen im Ausmaß der Strom-, Mineralöl- und Ökosteuer und – bedingt durch die Beschäftigungseffekte – Veränderungen der Ertragssteuern (Lohn- und Gewinnsteuer) zu erwarten.

Im Gegensatz hierzu erscheinen Einflüsse auf das Gesamtvolumen der im Agrarbereich relevanten Substanzsteuern (Grund-, Vermögens- und Erbschaftssteuer) oder der Grunderwerbssteuer eher unabhängig von Art und Umfang der Biomassenutzung und werden daher nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für das Gesamtmehrwertsteueraufkommen, das trotz ggf. stattfindender Umstrukturierungen im Konsumverhalten (z. B. Mehrausgaben für land- und forstwirtschaftliche Produkte, weniger Ausgaben

¹⁰⁴ Indirekte Steuern sind Verkehrs- und Verbrauchssteuern. Dazu zählen u. a. Umsatzsteuern, Mineralölsteuern und Grunderwerbssteuern.

im Konsumsektor) infolge eines als unverändert unterstellten Gesamtkonsums konstant angenommen wird.¹⁰⁵

Die Änderung der Steuereinnahmen in den Modellanwendungen A und B resultiert aus den Mengen der produzierten Biomasse, aus den Beschäftigungseffekten und den Einkommenswirkungen.

An dieser Stelle soll angemerkt werden, dass die Quantifizierung der Änderung von Steuereinnahmen nur in einer sehr grob angelegten Analyse erfolgen kann, da eine Vielzahl der für eine genaue Untersuchung notwendigen Daten nicht vorhanden sind und auch nicht vorhanden sein können. Der für die Berechnungen angesetzte Gewinnsteuersatz unterliegt einer groben Annahme.

Unsicherheit besteht darüber hinaus im Bereich des Verhältnisses vom „kalkulatorischen Mehrbedarf an Arbeitsstunden“ bzw. den daraus berechneten zusätzlichen Arbeitskräften, die für die Produktion der Bioenergieträger notwendig wären und der tatsächlichen Neueinstellung von Arbeitnehmern. Dieses Verhältnis kann zwischen 0 und 100 % liegen. Größere Sicherheit dagegen liegt im Bereich der Energiesteuern, da hier die Substitutionsraten von Heizöl und Diesel bzw. Ottokraftstoff ebenso bekannt sind wie die zugrundeliegenden Steuersätze.

Es werden die folgenden Komponenten untersucht:

- **Energiesteuerveränderungen** durch die Substitution des fossilen Energieträgers. Durch die Substitution von fossilen Brennstoffen durch Bioenergieträger werden geringere Energiesteuereinnahmen realisiert, da diese von der Mineralölsteuer (nicht aber von der Stromsteuer) ausgenommen sind.
- **Ertragssteuerveränderungen.** Diese setzen sich zusammen aus der Veränderung des Lohnsteueraufkommens durch die erhöhte Beschäftigung und den Gewinnveränderungen.

Energiesteuern. Die Nutzung von Bioenergieträgern zielt auf die Substitution von fossilen Bren- und Kraftstoffen ab. Während die Energiegewinnung aus Biomasse

¹⁰⁵ Es können auch weitergehende Steuerwirkungen auftreten, die z. B. dadurch entstehen, dass Konsumenten und Staat aufgrund veränderter Steuerlasten bzw. -einnahmen ihre Konsum- und Investitionsverhalten ändern. Solche Steuerwirkungen werden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

derzeit im Wesentlichen nicht mit Energiesteuern belastet ist¹⁰⁶, ist der Verbrauch von fossilen Energieträgern z. T. mit speziellen Energiesteuern belegt (Mineralölsteuer, Ökosteuern). Infolge einer Substitution von fossilen Energieträgern durch biogene ist daher mit einer Veränderung der staatlichen Einnahmen aus derartigen Energiesteuern zu rechnen.

Ausgangspunkt für die Berechnung der Auswirkungen auf die Energiesteuern stellen die Ergebnisse der Modellierungen des Bioenergieangebots zur Verwertung in stationären und mobilen Energieanlagen in Deutschland dar: In den Modellanwendungen wird ermittelt, welche fossilen Brenn- und Kraftstoffe in welchem Umfang durch Biomasse substituiert werden.

In diesen Berechnungen wird nicht berücksichtigt, dass zur Produktion und Bereitstellung der biogenen und fossilen Kraft- und Brennstoffe fossile Energieträger eingesetzt werden, für die ggf. ebenfalls Energiesteuern zu zahlen sind. Diese Vereinfachung erscheint jedoch zur näherungsweisen Abschätzung der Steuerwirkungen zulässig, weil der Verbrauch fossiler Energieressourcen in den Vorketten der biogenen und fossilen Energieträger geringer ist als die Menge der direkt am Ort der Energieanlage substituierten fossilen Energieträger.

Darüber hinaus treten nicht alle den Vorketten der untersuchten Energieträger zuzuschreibenden Energieverbräuche innerhalb Deutschlands auf (z. B. der Energieverbrauch zur Düngemittelherstellung, der Energieverbrauch infolge des Rohöl- oder Steinkohletransports mit dem Seeschiff). Die zum Teil unterschiedlichen Nutzungsgrade der biogenen und fossilen Energieträger in den einzelnen Verwendungsalternativen fließen dagegen in die Bilanz mit ein (siehe hierzu Tabelle A.10 im Anhang).

Da die Höhe der Energiesteuern (Strom-, Mineralöl- und Ökosteuern einschließlich der damit verbundenen Mehrwertsteuer) für alle betrachteten Energieträger bekannt sind, wird die gesuchte Auswirkung der Energiegewinnung aus Biomasse auf das Energiesteueraufkommen aus der Differenz des Steueraufkommens bei Einsatz von biogenen und fossilen Energieträgern berechnet.

Für jeden im PKW eingesetzten Kraftstoff bzw. zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung verfeuerten Brennstoff wird der dem Einsatzzweck entsprechende Regelsteuer-

¹⁰⁶ Eine Ausnahme bildet die Stromsteuer: Der Verbraucher zahlt für den aus Biomasse erzeugten Strom Stromsteuer in gleicher Höhe wie für Strom aus fossilen Energieträgern.

satz angenommen. Steuerermäßigungen, wie sie ausschließlich für den Brennstoffeinsatz in der Land- und Forstwirtschaft sowie im produzierenden Gewerbe gelten, werden hierbei nicht berücksichtigt.

Die derzeit und in absehbarer Zukunft geltenden Sätze der Mineralöl- und Ökosteuer sind in Tabelle 2.6 für elektrischen Strom (aus Biomasse und fossilen Energieträgern gleichermaßen geltend) und fossile Treibstoffe zusammenfassend aufgeführt. Entsprechend dem Gesetzentwurf zum Einstieg in die ökologische Steuerreform werden für die kommenden Jahre die folgenden Veränderungen angenommen: Die Mineralölsteuer wird um 0,03 €/l auf Kraftstoffe und um 0,02 €/l auf Heizöl erhöht. Bis zum Jahr 2003 wird die Steuer auf Kraftstoffe um jährlich weitere 0,03 €/l erhöht. Heizöl wird im Gegensatz zur ersten Stufe nicht weiter belastet. Die zur Stromerzeugung eingesetzte Steinkohle wird weder mit der Mineralölsteuer noch mit der Ökosteuer belastet.

Ertragssteuern. Die Quantifizierung von möglichen Effekten auf das Einkommenssteueraufkommen erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Bestimmung der Beschäftigungseffekte und der Berechnung von Einkommenseffekten innerhalb der Land- und der Forstwirtschaft.

Im Modell RAUMIS wird das Einkommen der Landwirtschaft, wie oben beschrieben, laut der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung (LGR) als Nettowertschöpfung zur Faktorkosten (NwSf) abgebildet. Wird dieses Faktoreinkommen um Löhne, Zinsen und Pachten vermindert, so gelangt man auf sektoraler Ebene zum Nettoeinkommen aus landwirtschaftlicher Tätigkeit. Auf betrieblicher Ebene gelangt man so vom Betriebseinkommen zum Gewinn.¹⁰⁷

Die zu berechnende Veränderung des Ertragssteueraufkommens wird in zwei Bestandteile eingeteilt: die Lohnsteuer aus abhängiger Beschäftigung und die Einkommenssteuer aus zusätzlich erzielten Gewinnen.

Die Veränderung des Lohnsteueraufkommens eines Szenarios berechnet sich aus der Veränderung der Beschäftigtenzahl, dem von diesen Personen zu versteuernden Einkommen und dem entsprechenden Lohnsteuersatz. In der Forstwirtschaft wird – in Anlehnung an KALTSCHMITT et al. (2000a) mit einem Stundensatz von 20,45 € und in Verbindung mit einer Jahresarbeitszeit von 1.700 Stunden – ein Jahresbruttolohn von 34.767,85 € (68.000 DM) angenommen. Der Lohnsteuersatz wird auf 20 % des

¹⁰⁷ HENRICHSMEYER und WITZKE, 1991, S. 146.

Bruttolohns angesetzt. Für die Landwirtschaft wird ein Steuersatz von 15 % angenommen.¹⁰⁸ Es wird zwischen Lohnarbeitskräften und Familienarbeitskräften unterschieden.

Auf diese Weise kann eine grobe Abschätzung der Ertragssteuerwirkungen einer vermehrten Energiegewinnung aus Biomasse erfolgen.

¹⁰⁸ Vgl. FORSTNER (2000), mündliche Auskunft.

4 Spezifizierung der Modellanwendungen

Im vorangegangenen Kapitel wurde die Methode und die Datengrundlage für die Angebotsanalyse, die Quantifizierung von Ergebnisvariablen und die Preisbildung für Biomasse entwickelt und dargelegt. Im Rahmen der Modellanwendungen sollen nun der Umfang, die Zusammensetzung und die regionale Verteilung einer zukünftigen Biomasseproduktion ermittelt werden. Für die Analyse wird zunächst das Referenzszenario definiert. Darauf folgend werden die Modellanwendungen spezifiziert.

4.1 Basisjahr und Referenz

Grundlage für die Bildung der Referenzsituation für das Modelljahr 2005 ist die Abbildung der Situation im „Startjahr“ der Analyse (Basisjahr 1995). Die Konsistenzrechnung zu sektoralen Randwerten erlaubt die Abbildung der tatsächlichen Umfänge von pflanzlichen und tierischen Produktionsverfahren im „Startjahr“ (Basisjahr).

Vom Basisjahr ausgehend werden u. a. Produktivitätskennziffern und Wachstumsraten für Erträge in das Zieljahr fortgeschrieben (Tabellen A.12 und A.13 im Anhang). Mit dieser Referenz werden die Szenarien zur Biomasseproduktion analysierend verglichen. Das für die vorliegende Arbeit zu berechnende Referenzszenario ist Resultat einer Status-quo-Politik unter Berücksichtigung derzeitiger Rahmenbedingungen. Dies ist die vollständig umgesetzte Agenda 2000-Reform.¹⁰⁹ Die Eckpunkte der Reform zur Agenda 2000 wurden in Kapitel 2 erläutert. Für die Berechnung der Referenz wird der Flächenstilllegungssatz auf 5 % der Basisfläche festgesetzt. Für Getreide, Ölsaaten und Flächenstilllegung wird, abweichend vom Basisjahr die vorgesehene Einheitsprämie angesetzt. Hülsenfrüchte werden mit einer gesonderten Prämie belegt. Die Anbaubeschränkung für Ölsaaten (Blair-House-Abkommen) wird aufgehoben. Die Preisannahmen für pflanzliche Hauptprodukte sind in Tabelle 4.1 dokumentiert.

In diesem Referenzszenario wird die Biomasseproduktion nicht berücksichtigt, obwohl sie u. a. in Form der Rapsproduktion in der Realität stattfindet. Diese Vorgehensweise wurde als notwendig erachtet, um die Nettoeffekte der Biomasseproduktion abschätzen zu können.

¹⁰⁹ KLEINHANSS et al. (1999).

Tabelle 4.1: Preisannahmen für konventionelle pflanzliche Produkte im Basisjahr und in der Referenz (Auszug)

Agrarprodukte	Basisjahr '95		Referenz '05
	DM/t	€/t	€/t
Winterweizen	238	122	112
Sommerweizen	238	122	113
Roggen	234	120	102
Wintergerste	234	120	104
Sommergerste	260	133	131
Hafer	218	111	95
Körnermais	232	119	117
Sonstiges Getreide	218	111	98
Hülsenfrüchte	300	153	154
Raps	300	153	205
Sonstige Ölfrüchte	400	205	200
Zuckerrüben	100	51	51

Quelle: RAUMIS.

4.2 Modellanwendungen

Wie einleitend dargelegt werden zwei Szenarienblöcke zur Biomasseproduktion berechnet (Anwendung A und Anwendung B). Sie unterscheiden sich in der Art der Sichtweise („betriebswirtschaftlich“ und „volkswirtschaftlich“), in der Art der Erzeugerpreisvorgabe für Biomasse für die Modellrechnungen („betriebswirtschaftliche“ und „soziale“ Äquivalenzkosten) und in der grundsätzlichen Herangehensweise (positiv, normativ).

4.2.1 Anwendung A: „Biomasseproduktion unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten (Szenario 1)“

Es soll die Energiemenge aus Biomasse errechnet werden, der sich unter aktuellen politischen Rahmenbedingungen bis zum Jahr 2005 einstellen könnte. Hierfür werden die „betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten“ als Erzeugerpreise für Biomasse vorgegeben. Bei diesen handelt es sich genau um die Preise, die der potenzielle Anlagenbetreiber den Land- oder Forstwirten maximal zahlen könnte, um seine Endenergie zu den gleichen betriebswirtschaftlichen Kosten produzieren zu können wie mit einem konventionellen Energiesystem auf Basis fossiler Energieträger.

Preisannahmen. In Kapitel 3.3 wurde die Ermittlung der Äquivalenzkosten dargestellt. Für Festbrennstoffe ergeben sich aufgrund der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten (im Heizwerk, Heizkraftwerk und Kraftwerk) und die damit verbundenen Substitutionsmöglichkeiten von Steinkohle oder Heizöl sowie die Berücksichtigung politischer Rahmenbedingungen (Steuerpolitik, Investitionsförderung und Einspeisevergütung) verschiedene Preisszenarien.

Für die Modellanwendungen werden jeweils die Preisoptionen herausgegriffen, die die höchst möglichen Preise für Biomasse aufweisen. Dies ist für die Szenarien 1 bis 3 das Preisszenario beim Einsatz von Festbrennstoffen im Heizkraftwerk. Negative Preise bedeuten hier, dass der Landwirt dem Anlagenbetreiber Geld bezahlen müsste, damit dieser den Rohstoff abnimmt um eine wettbewerbsfähige Energieproduktion aus Biomasse durchführen zu können (vgl. auch Kapitel 3.3). Bei Flüssigenergieträgern ist dies in hohen Verarbeitungskosten und einem niedrigen Energieoutput zu begründen.

Für das Szenario 1 werden die in Tabelle 3.13 aufgeführten betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten für den Einsatz von Festbrennstoffen im Heizkraftwerk im Vergleich zur geltenden Einspeisevergütung ohne Änderung übernommen. Bei Flüssigbrennstoffen ergibt sich eine Besonderheit. Im Modell würde bei Zugrundelegung eines Preises von 250 €/t Non-Food-Raps (siehe Tabelle 4.2 und 3.14) ein überhöhtes Potenzial für RME ergeben, da – in Anbetracht eines gegenwärtigen Marktpreises von ca. 204 €/t – zu einem geringeren Preis auch (beliebige Mengen) Food-Raps eingekauft werden könnten. Dieser Fall erscheint allerdings wenig realistisch, da für Non-Food-Produkte ohne besondere Anbauförderungen nur maximal der Preis erwartet werden kann wie für Food-Produkte, deren Angebot auf dem Weltmarkt sehr groß ist. Aus diesen Überlegungen heraus wird die Herstellung von RME im Modell ausschließlich auf Non-Food-Raps beschränkt, der auf Stilllegungsflächen angebaut wird.

Variationsrechnungen. Für das Szenario 1 wurden Variationsrechnungen als notwendig erachtet und zwar aus folgendem Zusammenhang: Die angesetzten betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten geben die maximalen Preise wieder, die bei Gewährung der Einspeisevergütung vom Betreiber des Heizkraftwerkes gezahlt werden können. Falls nun produzierender Land-/Forstwirt und Betreiber nicht in einer Person vereint sind, würde der Gewinn, der aus der Einspeisevergütung resultiert vermutlich zwischen Produzent und Betreiber aufgeteilt. Es würden demnach geringere Erzeugerpreise resultieren, da der Betreiber den maximal möglichen Preis nicht an den produzierenden Landwirten durchreicht und den Gewinn abschöpft. In zwei ergänzenden Szenarien wurden „Durchreichungsraten“ 50 und 70 % des Äquivalenz-

preises von Szenario 1 berechnet, um die Gewinnverteilung zwischen Betreiber einer Energieanlage und dem produzierenden Landwirten zu simulieren.

Tabelle 4.2: Anwendung A: Unterstellte Preise für biogene Festbrennstoffe sowie landwirtschaftliche Ausgangsstoffe für die Herstellung biogener Kraftstoffe frei Energieanlage bzw. Konversionsanlage

	Referenz ³ (Foodprodukte)	Szenario 1	Variation 1a (Biomasseprodukte)	Variation 1b
	Preise in €/t FM	Preise in €/t FM		
Miscanthus ¹		80	56	40
Pappelholz ²		43	30	21
Triticale ¹	98	77	54	38
Stroh		79	55	39
Waldrest- und Schwachholz ²		79	55	40
<i>€/t atro</i>		127	88	64
Zuckerrüben	51	-30		
Winterweizen	112	-83		
Raps	205	250	175	125

¹ Bereitstellung als Ballen.

² Bereitstellung als Hackschnitzel; biogene Festbrennstoffe werden ausschließlich im Heizkraftwerk eingesetzt.

³ In der Referenz werden die Preise bei Triticale und Winterweizen nur für das Korn berechnet.

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von RAUMIS und KALTSCHMITT et al. (2000, S. 155).

4.2.2 Anwendung B: „Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht (Szenarien 2 bis 4)“

Diesem Szenarienblock liegt die Frage zugrunde, welcher Produktionsmix aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten der optimale wäre, wenn ein bestimmter Prozentsatz an Energie aus Biomasse am Primärenergiebedarf in Deutschland politisch gewünscht wird.

Für die Analysen werden die in Kapitel 3.2 ermittelten „sozialen Äquivalenzkosten“ im Modell als erzielbare Preise für Bioenergieträger eingesetzt (vgl. Tabelle 3.15 und 3.16). Würden Biomasselieferanten daraufhin biogene Festbrennstoffe bzw. Ausgangsprodukte zur Herstellung von biogenen Kraftstoffen zu diesen Preisen exakt kostendeckend anbieten, würde daraus eine Energieversorgung resultieren, deren quantifizierbare soziale Kosten identisch wären mit denen einer konventionellen Energieversorgung auf Basis fossiler Energieträger.

Es handelt sich bei diesem Szenarienblock also um eine normative Vorgehensweise. Deshalb werden hier, abweichend von der Vorgehensweise beim betriebswirtschaftlichen Szenario zu erreichende Primärenergieanteile der Biomasse vorgegeben und für diese der aus land- und forstwirtschaftlicher Sicht jeweils optimale (gewinnmaximale) Mix der Biomassebereitstellung berechnet.

In Expertenrunden mit politischen Entscheidungsträgern wurden folgende exemplarische Szenarien festgelegt:

- Szenario 2: Biomasseproduktion in Höhe von ca. 0,5 % der Primärenergie
- Szenario 3: Biomasseproduktion in Höhe von ca. 1 % der Primärenergie
- Szenario 4: Biomasseproduktion in Höhe von ca. 4 % der Primärenergie¹¹⁰

Die vorgegebenen sozialen Äquivalenzkosten in Form von Erzeugerpreisen werden iterativ schrittweise um einen konstanten Betrag in € pro Gigajoule angepasst, bis der festgelegte Mehrbeitrag der Biomasse zur Primärenergieversorgung Deutschlands im Jahre 2005 modellhaft realisiert wird.

Preisannahmen. Auch in diesem Szenarioblock ergeben sich für Festbrennstoffe aufgrund der Einsatzmöglichkeiten verschiedene Preisszenarien.

Für die Szenarioanalysen werden auch hier jeweils die Preisoptionen gewählt, die die höchstmöglichen Preise für Biomasse aufweisen. Dies ist für Szenario 4 der Vergleich mit der Einspeisevergütung beim Biomasseeinsatz im Heizkraftwerk. Der negative Wert des Preises für Triticale in Szenario 2 resultiert allerdings aus den hohen Differenzen der sozialen Äquivalenzkosten zu denen von z. B. Holz und Stroh. Für diese können vergleichsweise hohe Preise bezahlt werden. Hier wurde durch Absenkung der Äquivalenzpreise für eine Modellierung von 0,5 % Primärenergieanteil aus Biomasse für Triticale ein negativer Wert ermittelt.

Auf Grundlage der Preisoption für den Einsatz der Biomasse im Heizkraftwerk (siehe Tabelle 3.16) wurden folgende Verschiebungen des Erzeugerpreisniveaus vorgenommen:

- Szenario 2 - 2,56 €/GJ aus Biomasse
- Szenario 3 - 2,04 €/GJ aus Biomasse
- Szenario 4 + 0,51 €/GJ aus Biomasse

¹¹⁰ Der Primärenergieverbrauch in Deutschland ist in Tabelle 2.1 aufgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass sich dieser bis zum Zieljahr 2005 nicht verändert.

Das bedeutet, dass die zugrundeliegenden, unkorrigierten sozialen Äquivalenzkosten eine wettbewerbsfähige Biomasseproduktion in Höhe von über 1 %, aber unter 4 % des Primärenergieverbrauches zulässt. Aus diesen Korrekturen resultieren die in Tabelle 4.3 aufgezeigten Erzeugerpreise für Biomasse.

Tabelle 4.3: Anwendung B: Unterstellte Preise für biogene Festbrennstoffe sowie landwirtschaftliche Ausgangsstoffe für die Herstellung biogener Kraftstoffe frei Energieanlage bzw. Konversionsanlage

	Referenz ³ (Foodprodukte)	Szenario 2	Szenario 3 (Biomasseprodukte)	Szenario 4
	Preise in €/t FM	Preise in €/t FM		
Miscanthus ¹		17	25	62
Pappelholz ²		15	18	35
Triticale ¹	98	-6	2	37
Stroh		15	22	59
Waldrest- und Schwachholz ²		35	40	70
€/t atro		56	64	112
Zuckerrüben	51	-18	-17	-12
Winterweizen	112	-53	-49	-27
Raps	205	63	71	108

¹ Bereitstellung als Ballen.

² Bereitstellung als Hackschnitzel; biogene Festbrennstoffe werden ausschließlich im Heizkraftwerk eingesetzt.

³ In der Referenz werden die Preise bei Triticale und Winterweizen nur für das Korn berechnet.

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von RAUMIS und KALTSCHMITT et al. (2000, S. 155).

Einen Überblick über die berechneten Szenarien liefert Tabelle 4.4.

Tabelle 4.4: Szenarienüberblick

Berücksichtigung der Biomasse Sichtweise	ohne Biomasseanbau betriebswirtschaftlich	mit Biomasseanbau betriebswirtschaftlich	mit Biomasseanbau volkswirtschaftlich
Szenario			
Referenz			
Szenario 1		1,0 ¹	
Variationsszenario 1a		0,7 ¹	
Variationsszenario 1b		0,5 ¹	
Szenario 2			0,5 % ²
Szenario 3			1,0 % ²
Szenario 4			4,0 % ²

¹ Faktor für die Vorgabe von Erzeugerpreisen auf Basis der betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten.

² Vorgegebener Primärenergieanteil der Biomasse.

Quelle: Eigene Darstellung.

4.2.3 Ergänzende Annahmen

Es wird eine modellhafte Nutzungsbeschränkung von stillgelegten Flächen vorgenommen: 90 % des regionalen Stilllegungsumfangs kann für die Biomasseproduktion genutzt werden. Daneben wird die Nutzung stillgelegter Flächen für mehrjährige Kulturen (Pappeln und Miscanthus) auf 30 % beschränkt. Die Mengenbeschränkung für die Strohbereitstellung erfolgt unter Berücksichtigung eines Grundbedarfs für die tierische Produktion (Einstreustroh). Die Vorgehensweise zur Berechnung wurde in Kapitel 3.1.5.5 erläutert.

Es wird angenommen, dass die im Modell vorgegebenen Erzeugerpreise für die produzierte Biomasse den Erwartungswerten der Landwirte entsprechen und dass vollkommene Information darüber besteht, der Markt also transparent ist. Weiterhin wird angenommen, dass die jeweiligen Äquivalenzpreise für Biomasse vollständig an die Landwirte weitergegeben werden. Die Abnahme der produzierten Biomasse gilt zu 100 % gesichert. Die kalkulierten Erträge für Miscanthus und Pappeln entsprechen genau den Erwartungen der Landwirte. Der Markt für Pflanzgut (bei Pappeln und Miscanthus) ist vorhanden und funktioniert. Somit wird von optimistischen Annahmen ausgegangen.

5 Ergebnisse der Modellanwendungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden sowohl die Methodik als auch die Grundlagen und Annahmen für die exemplarischen Szenarioanalysen (Anwendung A und B) erläutert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellanwendungen dargestellt und diskutiert. Nachdem das Basisjahr '95 sowie die Referenzsituation '05 der Untersuchungen charakterisiert worden sind, werden die Ergebnisse der Szenarioblöcke zur Biomasseproduktion aufgezeigt. Ausgehend von grundlegenden Informationen zum Umfang und Zusammensetzung der zu erwartenden Biomasseproduktion werden die Wirkungen auf

- die Flächennutzung,
- das Einkommen innerhalb der Land- und Forstwirtschaft,
- die Beschäftigung innerhalb der Land- und Forstwirtschaft,
- die Steuereinnahmen des Staates

anhand von Ergebnistabellen dargestellt und interpretiert. In Form von Übersichtskarten werden regionale Effekte dargestellt. Das Kapitel schließt mit einer vergleichenden Darstellung der Anwendungen sowie inhaltlichen und methodischen Schlussfolgerungen.

5.1 Basisjahr '95 und Referenz '05

Da in der Referenz, die die Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion bei Umsetzung der Agenda 2000-Reform widerspiegelt, die Biomasseproduktion annahmegemäß ausgeblendet wird, soll die Ergebnisdarstellung auf die wesentlichen Entwicklungspunkte beschränkt werden. Für die Forstwirtschaft wird keine Referenzsituation aufgebaut, da die erforderlichen Daten nicht in gleichem Maße vorliegen wie die Daten für den landwirtschaftlichen Bereich. Es wird davon ausgegangen, dass die Holzaufbereitung für die energetische Nutzung mit der sonstigen Holzproduktion nicht in Konkurrenz steht.

Tabelle 5.1 zeigt die Entwicklung vom Basisjahr zur Referenz auf sektoraler Ebene in zusammengefasster Form auf.

Aufgrund der in der Agenda 2000 geänderten Subventionszahlungen steigt das Subventionsvolumen um 22 % auf ca. 5,93 Mrd. € an. Trotz einer um 21 % gesenkten sektoralen Nettowertschöpfung steigt die Nettowertschöpfung pro Arbeitskraft je-

doch um 14 %, da die Anzahl der kalkulatorischen Arbeitskräfte annahmegemäß um 30 % zurückgeht (vgl. Kapitel 3.3.1).

Der Umfang der Getreidefläche wächst in dieser Prognose um 4 % bei gleichzeitig starker Einschränkung der Ölsaatenfläche. Dies ist auf die veränderte Wettbewerbsrelation zwischen Getreide und Ölsaaten durch Einführung der Einheitsprämie zurückzuführen. Durch den verminderten Stilllegungssatz sinkt der Umfang der Flächenstilllegung sektoral um 34 % auf ca. 827.000 ha.

Die angenommenen Preise und Prämien für landwirtschaftliche Hauptprodukte der beschriebenen Referenz werden in den Biomass Szenarien nicht verändert, ebenso nicht der in der Referenz gesetzte Flächenstilllegungssatz von 5 %.

Tabelle 5.1: Charakterisierung des Basisjahres 1995 und des Referenzszenarios 2005 für die Landwirtschaft auf sektoraler Ebene

	Einheit	Basisjahr 95 ¹	Referenzszenario 2005	Änderung gegenüber Basisjahr in %
Beschäftigung				
Kalkulatorische Arbeitskräfte	Stück	599.655	418.070	-30
Einkommen				
Produktionswert	Mio. €	30.942	28.699	-7
NWSf	Mio. €	12.241	9.701	-21
NWSf/AK	1.000 €	20.414	23.204	14
Subventionen	Mio. €	4.861	5.921	22
Flächennutzung				
Getreide	1.000 ha	6.431	6.692	4
Ölsaaten	1.000 ha	818	352	-57
Flächenstilllegung	1.000 ha	1.222	827	-32

¹ Aufgrund einer besseren Übersichtlichkeit wurden auch die Werte des Basisjahrs '95 in Euro umgerechnet.

Der zugrundeliegende Faktor ist: 1 € = 1,95583 DM.

Quelle: RAUMIS.

5.2 Anwendung A: Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht (Szenario 1)

Im Szenario 1 wird das Bioenergieangebot prognostiziert, das sich bei Fortschreibung der aktuellen Politik (Agenda 2000, ökologische Steuerreform, Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)) im Modelljahr 2005 unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ergeben könnte. Als Erzeugerpreise für Biomasse werden die „betriebswirtschaftlichen Äquivalenzkosten“ vorgegeben (vgl. Tabelle 4.2), die den ma-

ximalen Preis darstellen, den ein Anlagenbetreiber zahlen könnte, um Biomasseenergie zu denselben Kosten produzieren zu können wie Energie aus konventionellen Energieträgern.

Bei der für dieses Szenario unterstellten Preisstruktur für Bioenergieträger resultiert eine Energiegewinnung aus Biomasse in der Größenordnung von 740 PJ/Jahr, dies entspricht einem Anteil der Biomasse an der Primärenergieversorgung von ca. 5,4 %.

5.2.1 Art und Umfang der erzeugten Bioenergieträger

Zunächst wird ein Überblick über die prognostizierten Umfänge der Bioenergieträger auf sektoraler Ebene sowie auf Ebene der Bundesländer gegeben (Tabelle 5.2).

Den Hauptanteil der erzeugten Biomasse liefert mit 31 Mio. t FM (bzw. 450 PJ) Getreidestroh von ca. 4,5 Mio. ha bzw. 62 % der Getreidefläche in diesem Szenario. Der über Deutschland gemittelte Durchschnittsertrag dieses Getreidestrohs beläuft sich somit auf 6,9 t/ha.

Tabelle 5.2: Szenario 1: Auf sektoraler Ebene bereitgestellte Biomassemengen

Energieträger	Menge 1.000 t FM	Energieoutput PJ	% von Energie- output ²
Miscanthus	0	0	0
Triticale	576	8	1
Stroh	31.255	453	61
Pappelholz	584	4	0,5
Waldhölzer	13.983 ¹	260	35
Winterweizen zur Ethanolproduktion	0	0	0
Zuckerrüben zur Ethanolproduktion	0	0	0
Raps zur RME-Produktion	1.054	15	2

¹ 1.000 t atro.

² Gerundete Werte.

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Der Anbau von Triticale und Pappeln tritt in geringem Maße an Grenzstandorten der Flächenstilllegung bei gleichzeitig hohen Erträgen dieser Produkte, wie z. B. in Bayern und Niedersachsen auf. Auf Grund hoher Erzeugerpreise (250 €/t FM) wird ein nennenswerter Anbauumfang von Non-Food-Raps erwartet (ca. 295.000 ha). Der rechnerische Energieoutput beläuft sich allerdings nur auf ca. 15 PJ aus RME und ist gegenüber dem Energieoutput der festen Brennstoffe (ca. 725 PJ/Jahr) als ver-

gleichsweise gering, aber sehr flächenintensiv einzustufen. Weder Winterweizen noch Zuckerrüben sind hier auf Grund „negativer Erzeugerpreise“ wettbewerbsfähig.

In der nach Bundesländern differenzierten Betrachtung ist zu erkennen, dass das höchste absolute Angebot an Festbrennstoffen mit 133 Petajoule sowie an Kraftstoffen aus Raps mit 2,7 PJ in Bayern lokalisiert ist (Tabelle 5.3). Die höchste Angebotsdichte, ausgedrückt in GJ pro Quadratkilometer Landesfläche, haben jedoch Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern aufzuweisen.

Tabelle 5.3: Szenario 1: Nach Bundesländern differenzierter Energieoutput

Energieträger	Festbrennstoffe		Kraftstoffe	
	Angebot in PJ	Angebotsdichte in GJ/km ²	Angebot in PJ	Angebotsdichte in GJ/km ²
Baden-Württemberg	66	1.849	1,08	30
Bayern	133	1.879	2,69	38
Brandenburg inkl. Berlin	50	1.706	1,31	45
Hessen	44	2.098	0,62	39
Mecklenburg-Vorpommern	58	2.482	1,65	71
Niedersachsen inkl. Bremen	95	2.017	1,21	26
Nordrhein-Westfalen	74	2.166	1,03	30
Rheinland-Pfalz	35	1.769	0,44	22
Saarland	4	1.459	0,05	20
Sachsen	39	2.137	1,23	67
Sachsen-Anhalt	47	2.305	1,59	78
Schleswig-Holstein inkl. Hamburg	37	2.370	1,00	64
Thüringen	42	2.582	1,25	78
Deutschland	724		15,15	

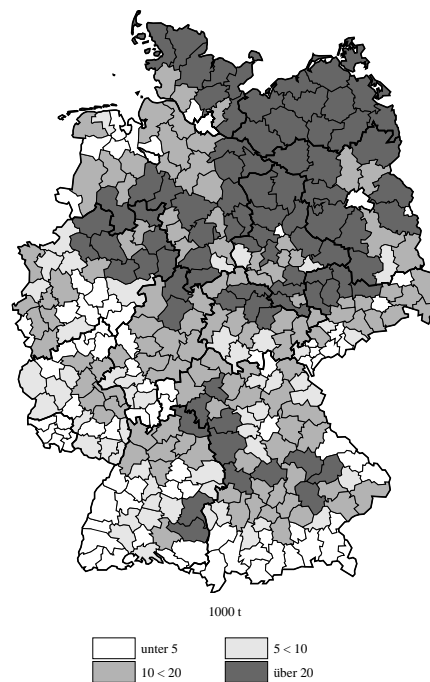
Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Die regionalisierte Darstellung der Strohproduktion in Karte 5.1 spiegelt diese Schwerpunkte in den nördlichen und östlichen Bundesländern wider.¹¹¹

¹¹¹ Diese Darstellung ist allerdings vor dem Hintergrund zu betrachten, dass die Färbung der Felder in der Regionalkarte durch die Einheit „1.000 t pro Modellkreis“ bestimmt wird und die Höhe dieser Zahl stark von der Größe und dem Umfang der landwirtschaftlichen Fläche der einzelnen Regionen abhängt. Weiterhin ist zu beachten, dass in vielen Regionen wesentliche höhere Mengen Stroh bereitgestellt wird, als durch die Skalierung „über 20.000 t“ ausgedrückt wird.

Dies ist dadurch zu begründen, dass in diesen Regionen vergleichsweise geringe Tierbestandsdichten sowie geringe Anteile von Tierproduktionsverfahren auf Stroh vorliegen (vgl. hierzu auch Karte 3.6 in Kapitel 3.1.4.4).

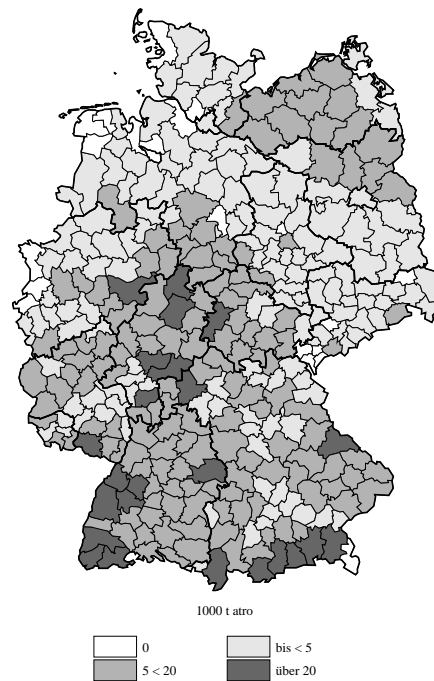
Karte 5.1: Szenario 1: Schwerpunkte von energetisch genutztem Stroh in 1.000 t/Modellkreis



Quelle: RAUMIS.

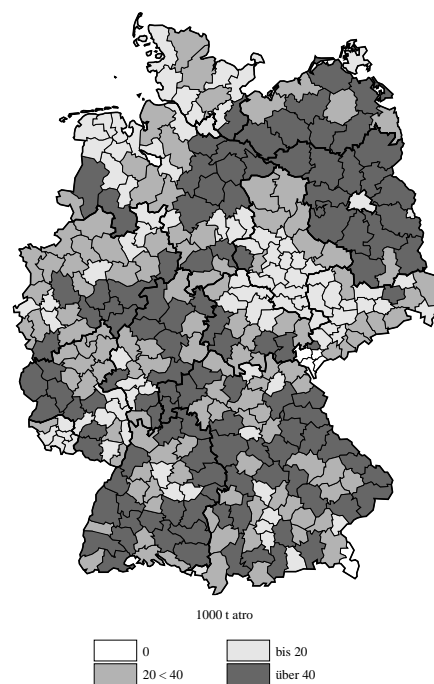
Karte 5.2 zeigt die Schwerpunkte der motormanuellen Holzaufbereitung. Es ist zu sehen, dass diese Aufbereitungsart in Teilen Bayerns, Baden-Württembergs und Hessens sowie in Mecklenburg-Vorpommern realisiert wird. Die regionalen Schwerpunkte der vollmechanisierten Holzaufbereitung sind in Karte 5.3 zu ersehen.

Karte 5.2: Szenario 1: Schwerpunkte der motormanuellen Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis



Quelle: RAUMIS.

Karte 5.3: Szenario 1: Schwerpunkte der vollautomatisierten Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis



Quelle: RAUMIS.

5.2.2 Auswirkungen auf die Flächennutzung

Durch den Preis für Stroh von 79 €/t (vgl. Tabelle 4.2), bei einem angenommenen Ertrag von 6,5 t/ha, erhöht sich der Umsatz pro Hektar Getreide um ca. 500 €. Hierdurch verschiebt sich die Wettbewerbsrelation zwischen Getreide und Ölsaaten stark in Richtung Getreide.

Es resultiert eine Ausdehnung der Getreidefläche von sektoral ca. 500.000 ha, bzw. 7,6 % gegenüber der Referenz (Tabelle 5.4). Diese werden zu rund 40 % aus der zurückgehenden Food-Ölsaatenfläche gedeckt, welche sich prognosegemäß um 48 % auf 180.000 ha reduziert. Der Umfang der stillgelegten Flächen geht in diesem Szenario erwartungsgemäß zurück, da hier nun vermehrt Raps zur RME-Produktion angebaut wird.

Tabelle 5.4: Szenario 1: Wirkungen auf die Flächennutzung gegenüber der Referenz

	Referenz '05	Szenario 1
	1.000 ha	% Änderung gegenüber der Referenz
Getreide	6.692	7,6
Ölsaaten (Food)	352	-48,2
Flächenstilllegung	827	-69,3

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

5.2.3 Auswirkungen auf das Einkommen

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich das land- und forstwirtschaftliche Einkommen in allen Szenarien erhöht, da die Freiwilligkeit der Biomasseproduktion besteht und somit nur dort Biomasse bereitgestellt wird, wo diese zur Einkommenssteigerung beiträgt. Die Erzeugung von Biomasse wird also über den Preis gesteuert und nicht über eine Form des Zwanges zur Energieproduktion. Wenn sich gleichzeitig die Preise und Prämienzahlungen für sonstige Agrarprodukte im Vergleich zur Referenz nicht verringern ist also keine negative Einkommensveränderung zu erwarten.

Im Folgenden werden die Veränderungen des land- und forstwirtschaftlichen Einkommens getrennt ausgewiesen. Dabei wird die Einkommensänderung aus der vollmechanisierten Holzaufbereitung der Forstwirtschaft und die aus allen anderen Bereitstellungsarten von Biomasse der Landwirtschaft zugeordnet.

Tabelle 5.5: Szenario 1: Einkommens- und Gewinnwirkungen innerhalb der Landwirtschaft gegenüber der Referenz

	Referenz '05	Szenario 1
	Mio. €	absolute Änderung gegenüber der Referenz in Mio. €
NWSF	9.701	1.114
abzüglich Fremdlöhne	-1.083	111
Einkommen	8.618	1.002
abzüglich Eigenlöhne	-5.893	117
Gewinn	2.725	886

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Aufgrund des in Szenario 1 hohen Preisniveaus für Biomasse ist ein starker Anstieg der Nettowertschöpfung zu erwarten. Diese steigt um durchschnittlich 11,5 %, dies entspricht einem Anstieg um 1.113 Mio. €/Jahr gegenüber der Referenz (vgl. Tabelle 5.5).

Die Einkommensveränderungen innerhalb der Landwirtschaft werden hervorgerufen durch

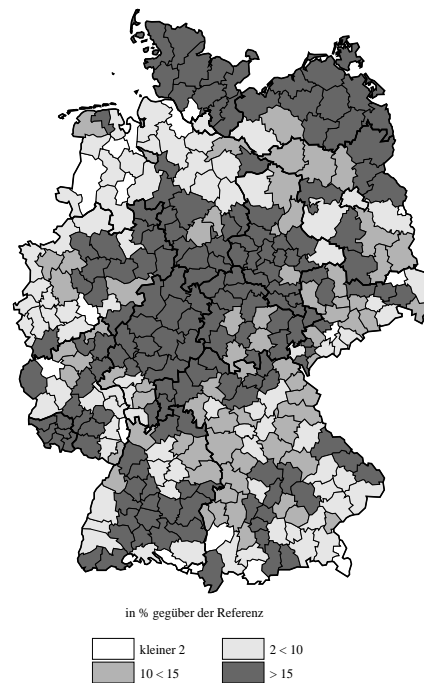
- Änderung der Flächennutzung,
- zusätzliche Erlöse durch den Verkauf von Stroh und Holz (aus der motormanuellen Ernte) sowie Non-Food-Raps von vormals stillgelegten Flächen.

Über 80 % dieser Steigerung ist aus der Produktion von Festbrennstoffen (Stroh und Holz) zu erklären.

In der regionalen Betrachtung fällt auf, dass starke Steigerungen der Nettowertschöpfung im Norden Deutschlands (Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern) zu erwarten ist. Ebenso in Hessen, Teilen Baden-Württembergs werden für dieses Szenario starke Zunahmen prognostiziert (Karte 5.4).¹¹²

¹¹² Die Einkommensänderungen im Vergleich zur Referenz können nur für die Landwirtschaft dargestellt werden, da für den forstwirtschaftlichen Bereich aufgrund mangelnder Datenbasis keine Referenzsituation aufgebaut wurde.

Karte 5.4: Szenario 1: Änderung der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft in Prozent gegenüber der Referenz



Quelle: RAUMIS.

Starke Einkommenssteigerungen sind dort zu erwarten, wo zu geringen Kosten große Mengen an Stroh und Holz bereitgestellt werden können.

In Gebieten mit hohen Kosten für die motormanuelle Holzernte oder in Gebieten mit geringen Stroherträgen beispielsweise sind nur geringe Einkommenssteigerungen zu erwarten (z. B. in Teilen Bayerns).

Der Gewinn in der Forstwirtschaft, der in diesem Szenario durch die vollmechanisierte Holzbereitstellung hervorgerufen wird, wird mit 748 Mio. € prognostiziert, die Aufwendungen für Löhne sind mit 230 Mio. € zu beziffern (Tabelle 5.6).

Tabelle 5.6: Szenario 1: Einkommenswirkungen innerhalb der Forstwirtschaft

	Szenario 1
	absolute Änderung in Mio. €
Aufwendungen	691
davon Löhne	231
Ertrag	1.439
Gewinn	748

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

5.2.4 Auswirkungen auf die Beschäftigung

Die Beschäftigungswirkungen der vermehrten Energiegewinnung aus Biomasse in Deutschland werden ebenfalls differenziert für die Land- und Forstwirtschaft dargestellt. Die Wirkungen innerhalb der Landwirtschaft resultieren aus der vermehrten landwirtschaftlichen Produktion sowie der motormanuellen Holzaufarbeitung, die annahmegemäß innerhalb der Landwirtschaft durchgeführt wird. Durch die vollmechanisierte Holzaufbereitung fällt ein zusätzlicher Arbeitsbedarf an, der der Forstwirtschaft zugerechnet wird.

Es ergeben sich die in Tabelle 5.7 dargestellten prognostizierten Beschäftigungseffekte innerhalb der Land- und der Forstwirtschaft.¹¹³

Tabelle 5.7: Szenario 1: Beschäftigungswirkungen innerhalb der Land- und Forstwirtschaft

	Szenario 1
	jährliche Beschäftigungswirkungen in AK
Landwirtschaft	14.157
Forstwirtschaft	6.636
Summe	20.793

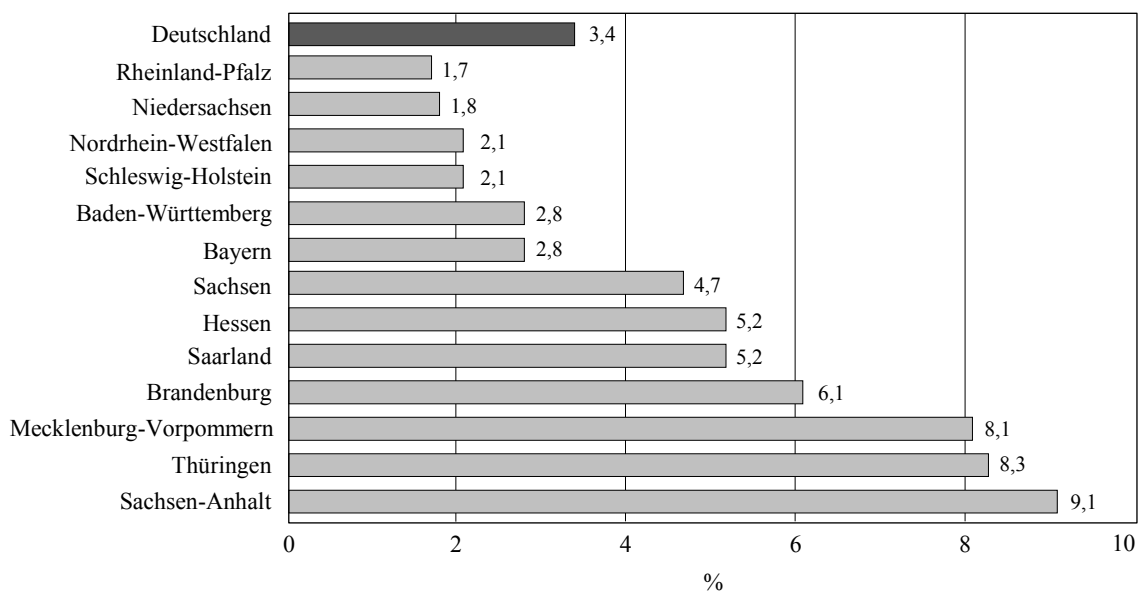
Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

¹¹³ Hierbei handelt es sich jedoch ausschließlich um den kalkulatorischen Mehrbedarf an Arbeit (d. h. es wird unterstellt, dass jede erfasste Mehrarbeit durch neueingestellte Arbeitskräfte erledigt wird). Dies entspricht gerade im Bereich der Holzaufarbeitung nicht zwingend der Realität, da die durchzuführenden Arbeiten in nur geringer zeitlicher Konkurrenz mit der landwirtschaftlichen Flächennutzung stehen (vgl. Kapitel 3.3.1).

In Szenario 1 substituiert die Getreidefläche die Food-Rapsfläche. Darüber hinaus werden auf ca. 295.000 ha vormals stillgelegter Fläche Raps angebaut. Aus der Kombination dieser Wirkungen resultiert in diesem Szenario ein starker Arbeitsmehrbedarf in Höhe von sektoralen 14.157 Arbeitskräften bzw. einer Steigerung von 3,4 %.

Die höchsten prozentualen Steigerungsraten werden mit über 8 % für Sachsen-Anhalt, Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern prognostiziert (vgl. Abbildung 5.1¹¹⁴ und Karte 5.5). Der absolute Mehrbedarf an Arbeitskräften ist aufgrund der Holzbereitstellung in Bayern zu erwarten (plus 2.611 AK).

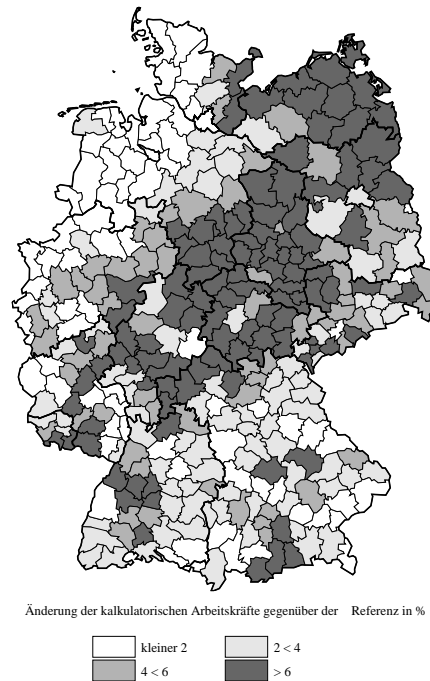
Abbildung 5.1: Szenario 1: Prozentuale Änderung des Arbeitsbedarfs innerhalb der Landwirtschaft, differenziert nach Bundesländern



Quelle: RAUMIS.

¹¹⁴ Die hohe Steigerungsrate im Saarland ist auf den vergleichsweise niedrigen Ausgangswert zurückzuführen. Der Mehrbedarf an Arbeitskräften steigt lediglich um 60 AK.

Karte 5.5: Szenario 1: Änderung der Beschäftigung in der Landwirtschaft in Prozent gegenüber der Referenz



Quelle: RAUMIS.

5.2.5 Auswirkungen auf die Steuereinnahmen

Ein vermehrter Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung geht mit Veränderungen der Steuereinnahmen des Staates einher. Denkbare Einflüsse liegen im Bereich der Energie- und Ertragssteuern.

Die Quantifizierung der geänderten Steuereinnahmen kann, wie in Kapitel 3.3.3 dargelegt wurde, nur in einer sehr grob angelegten Analyse erfolgen, da eine Vielzahl der für eine genaue Untersuchung notwendigen Daten nicht vorhanden sind und nur mit groben Annahmen geschätzt werden. Im Bereich der Lohnsteuer zum Beispiel wird von einem pauschalen Bruttogehalt ausgegangen. In der Realität kann das von zusätzlichen Arbeitnehmern erzielte Einkommen jedoch stark um den angenommenen

Wert schwanken. Weiterhin unterliegt auch der für die Berechnungen angesetzte Gewinnsteuersatz einer groben Annahme.¹¹⁵

Insofern sind die hier dargestellten Ergebnisse nur als Näherung zu betrachten. Tabelle 5.8 fasst die Wirkungen auf die Steuereinnahmen zusammen.

Tabelle 5.8: Szenario 1: Änderung des quantifizierten Steueraufkommens

	Szenario 1
	Änderung gegenüber der Referenz in Mio. €/Jahr
Ertragssteuer Landwirtschaft	183
Ertragssteuer Forstwirtschaft	200
Summe Ertragssteuer	383
Energiesteuer	-480
Saldo aus Ertrags- und Energiesteuer	-97

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Es wird eine Verringerung der Steuereinnahmen um 97 Mio. € quantifiziert. Den verringerten Steuereinnahmen aus der Substitution von fossilen Energieträgern (minus 480 Mio. €) stehen positive Effekte, die aus der erhöhten Ertragssteuer resultieren, entgegen.

5.2.6 Variation des Szenarios 1

In der Berechnung des Szenario 1 wurde davon ausgegangen, dass der Biomasseproduzent genau den Erzeugerpreis für Biomasse erhält, den der Anlagenbetreiber aufgrund seines betriebswirtschaftlichen Kalküls maximal zahlen kann (siehe Kapitel 3.2).

Da davon ausgegangen werden kann, dass dieser maximal mögliche Preis nicht vollständig an den Biomasseproduzenten durchgereicht wird, wurden für dieses Szenario Preisabschläge in Höhe von exemplarischen 30 und 50 % vorgenommen.

¹¹⁵ Unsicherheit besteht, wie oben dargelegt, darüber hinaus im Bereich des Verhältnisses vom „kalkulatorischen Mehrbedarf an Arbeitsstunden“, den daraus berechneten zusätzlichen Arbeitskräften, die für die Produktion der Bioenergieträger notwendig wäre, und der tatsächlichen Neueinstellung von Arbeitnehmern.

Die resultierende Energiemenge aus fester Biomasse sinkt im Vergleich zu Szenario 1 bei einer Gewährung von 70 % des Erzeugerpreises um 46 % und bei einer Halbierung des Erzeugerpreises um 80 %. Auffällig ist dabei, dass in beiden Variations Szenarien der Anbau von Pappelholz auf null zurückgeht. Auch die Produktion von Non-Food-Raps geht bei veränderten Preisannahmen deutlich um 37 bzw. 94 % zurück (vgl. Tabelle 5.9).

Tabelle 5.9: Variationsszenarien des Szenarios 1: Senkung des Äquivalenzpreises auf 70 bzw. 50 % und daraus resultierende Änderungen der Energiebereitstellung

Preisvorgabe	70 % des Äquivalenzpreises aus Szenario 1	50 % des Äquivalenzpreises aus Szenario 1
<i>Prozentuale Änderung gegenüber Szenario 1</i>		
Energiemenge aus fester Biomasse	-46	-80
Holzbereitstellung	-5,5	-43
Strohbereitstellung	-68	-100
Bereitstellung von Pappelholz	-100	-100
Bereitstellung von Non-Food-Raps	-37	-94

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Die Anzahl der Beschäftigten geht sektoral um 8.000 bzw. 14.000 AK gegenüber Szenario 1 zurück, so dass bei einer Reduktion des Biomassepreises auf 50 % des ursprünglich angenommenen Erzeugerpreises von nahezu keiner Beschäftigungswirkung im Vergleich zur Referenzsituation gesprochen werden kann.

Die in Szenario 1 prognostizierten Energiemengen und die damit verbundenen positiven Einkommens- und Beschäftigungswirkungen erscheinen also nur dann realisierbar, falls der zugrundegelegte Erzeugerpreis tatsächlich an die Biomasseproduzenten weitergegeben wird.

5.3 Anwendung B: Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht (Szenarien 2 bis 4)

Diesem Szenarienblock liegt, wie eingangs erläutert, die Frage zugrunde, welcher Produktionsmix an Biomasse unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten der optimale wäre, wenn ein bestimmter Prozentsatz der Energie aus Biomasse am Primärenergiebedarf in Deutschland politisch gewünscht wird.

Mit Hilfe des Modells wird also ermittelt, wie sich die Energiegewinnung aus Biomasse zu minimalen sozialen Kosten weiter entwickeln kann. Hierbei werden verschiedene Anteile der Biomasseenergie am Primärenergieverbrauch vorgegeben:

Szenario 2: 0,5 %

Szenario 3: 1 %

Szenario 4: 4 %

Als Erzeugerpreise werden die korrigierten sozialen Äquivalenzkosten vorgegeben (vgl. Tabelle 4.3).

5.3.1 Art und Umfang der erzeugten Bioenergieträger

Zunächst wird ein Überblick über die prognostizierten Zusammensetzung der Bioenergieträger auf sektoraler Ebene gegeben (Tabelle 5.10).

Unter Vorgabe einer Energiebereitstellung aus Biomasse von 65,5 PJ, dies entspricht ca. 0,5 % der Primärenergieversorgung wird zu minimalen sozialen Kosten ausschließlich Energieholz bereitgestellt. Weder Stroh noch die betrachteten Energiepflanzen sind bei den vorgegebenen Erzeugerpreisen wettbewerbsfähig. Stillgelegte Flächen bleiben also vollkommen ungenutzt.

Tabelle 5.10: Auf sektoraler Ebene bereitgestellte Mengen an Biomasse

Energieträger	Szenario 2	Energie- output	Szenario 3	Energie- output	Szenario 4	Energie- output	% von Energie- output ²
	1.000 t FM	PJ	1.000 t FM	PJ	1.000 t FM	PJ	
Miscanthus	0	0	0	0	0	0	0
Triticale	0	0	0	0	0,6	0	0
Stroh	0	0	0	0	21.074	306	53
Pappelholz	0	0	0	0	735	5	1
Waldhölzer	3.508 ¹	65	8.570 ¹	160	13.983 ¹	260	46
Winterweizen zur Ethanolproduktion	0	0	0	0	0	0	0
Zuckerrüben zur Ethanolproduktion	0	0	0	0	0	0	0
Raps zur RME-Produktion	0	0	0	0	0	0	0

¹ 1.000 t atro.

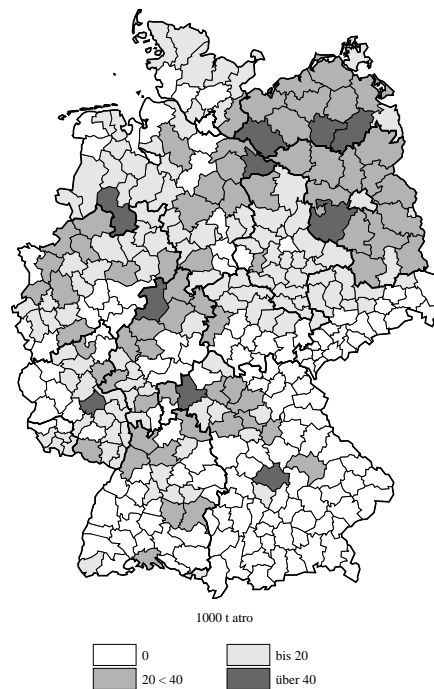
² Gerundete Werte.

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Waldrestholz im Umfang von ca. 3,5 Mio. t atro, dies entspricht rund 2 % der gesamten, zur Verfügung stehenden Holzmenge für die energetische Nutzung, wird

dort bereitgestellt, wo die angesetzten regionalen Produktionskosten unterhalb oder gleich dem zugrundeliegenden Erzeugerpreis von 34,8 €/FM liegen. Wie Karte 5.6 zeigt, liegen die Produktionsschwerpunkte in Szenario 2 im Norden der Neuen Länder.

Karte 5.6: Szenario 2: Schwerpunkte der vollautomatisierten Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis



Quelle: RAUMIS.

Hier sind geringe Bereitstellungskosten sowie hohe regionale Mengen zu finden. Es findet ausschließlich die Vollmechanisierte Aufarbeitung statt, da diese die kostengünstigste Art der Energieholzproduktion darstellt.

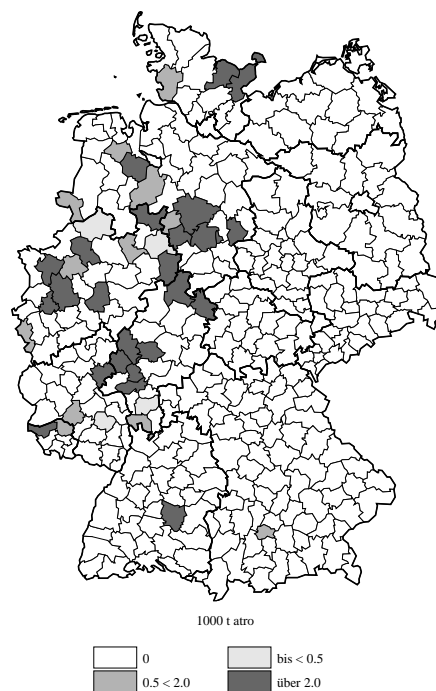
In Szenario 3 trägt die Biomasse mit ca. 160 PJ/a, das entspricht einem Anteil von 1,2 %¹¹⁶, zur Primärenergieversorgung in Deutschland bei. Zur Berechnung dieses Szenarios wurden die sozialen Äquivalenzkosten, die für den Einsatz der Biomasse in Heizkraftwerken gelten genutzt und um 2,04 €/GJ absolut nach unten korrigiert (vgl. Tabelle 4.3). Es wird ebenfalls fast ausschließlich Waldrestholz und geringe

¹¹⁶ Die Vorgabe von 1 % kann rechnerisch nur näherungsweise ermittelt werden.

Mengen Schwachholz bereitgestellt. Stroh zur energetischen Nutzung wird nicht produziert.¹¹⁷

Karte 5.7 zeigt, dass Holz in motormanueller Aufbereitung, die annahmegemäß durch Landwirte durchgeführt wird, nur in wenigen Regionen realisiert wird.

Karte 5.7: Szenario 3: Schwerpunkte der motormanuellen Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis



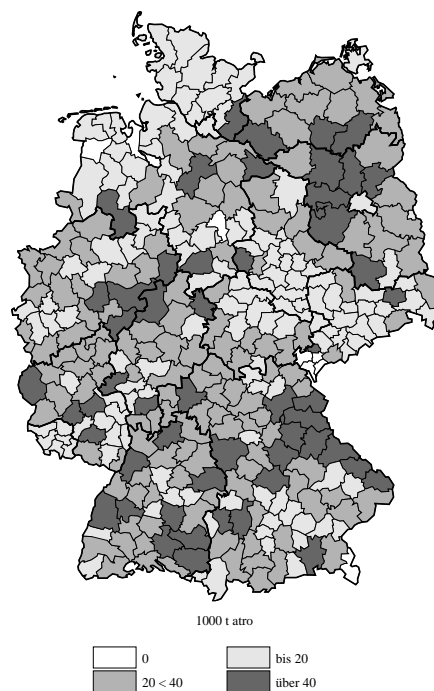
Quelle: RAUMIS.

Auch hier hat die vollmechanisierte Holzaufbereitung den höchsten Anteil. Durch die höheren Erzeugerpreise werden nun auch vorhandene Potenziale im Süden Deutschlands (Bayern, Baden-Württemberg) und in vielen anderen Bundesländern ausgeschöpft (vgl. Karte 5.8).

¹¹⁷ Falls die unkorrigierten sozialen Äquivalenzkosten auf Preisgrundlage beim Einsatzes im Kraftwerk verwendet werden, so sind die Ergebnisse nahezu identisch. Dies bedeutet, dass zu den gleichen sozialen Kosten (im Vergleich zum fossilen System) eine Menge von ca. 1 % der Primärenergie im Kraftwerk eingesetzt werden könnte.

Insgesamt werden in diesem Szenario mit 8,6 Mio. t atro rund 60 % der gesamt verfügbaren Waldrest- und Schwachholzmenge aufbereitet.

Karte 5.8: Szenario 3: Schwerpunkte der vollautomatisierten Holzaufbereitung in 1.000 t atro/Modellkreis



Quelle: RAUMIS.

In Szenario 4 wird annahmegemäß insgesamt 570 PJ Energie aus Biomasse bereitgestellt. Dies entspricht einem Anteil von ca. 4 % der Primärenergieversorgung. Aus Sicht der landwirtschaftlichen Gewinnmaximierung wird es hier auch sinnvoll, vergleichsweise geringe Mengen Pappelholz für die energetische Nutzung zu produzieren wobei der Schwerpunkt der Produktion in Bayern, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg liegt. Darüber hinaus bleiben stillgelegte Flächen jedoch weiterhin ungenutzt, es werden keine Flüssigenergieträger produziert.

In Szenario 4 wird die gesamte zur Verfügung stehende Waldrest- und Schwachholzmenge aufbereitet (vgl. auch Szenario 1). Aus Tabelle 5.11 wird deutlich, dass im Szenario 4 der absolute Energieoutput mit 107 Petajoule, bzw. 20 % der Summe in Deutschland in Bayern am höchsten ist. Grund hierfür sind die hohen Holzmen- gen, die in Bayern ausgeschöpft werden können. Der in diesem Szenario prognostizierte Gesamtenergieoutput in Bayern wird zu ca. 60 % aus Holz gedeckt. Es werden

gegenüber Szenario 3 Potenziale der Holzproduktion genutzt, die aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Produktionskosten bisher nicht realisiert wurden. Für Niedersachsen werden in diesem Szenario 86 Petajoule, bzw. 15 % der Summe Energieoutput prognostiziert. Diese Menge wird zu 77 % aus der Strohbereitstellung erzielt. Der flächenbezogene Energieoutput ist dagegen in Schleswig-Holstein mit 2.260 GJ/km² und Thüringen mit 2.202 GJ/km² am höchsten.

Tabelle 5.11: Szenario 4: Nach Bundesländern differenzierter Energieoutput

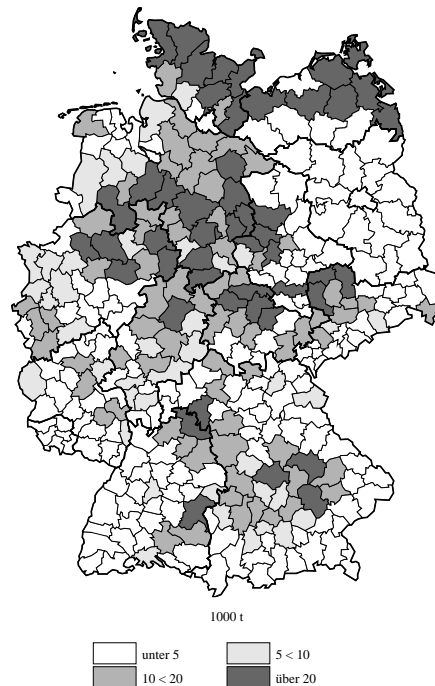
Energieträger	Festbrennstoffe		
	Angebot in PJ	Angebot in % von Summe ¹	Angebotsdichte in GJ/km ²
Baden-Württemberg	56	10	1.563
Bayern	107	19	1.520
Brandenburg inkl. Berlin	18	3	607
Hessen	41	7	1.945
Mecklenburg-Vorpommern	41	7	1.752
Niedersachsen inkl. Bremen	86	15	1.824
Nordrhein-Westfalen	68	12	2.001
Rheinland-Pfalz	28	5	1.416
Saarland	3	1	1.002
Sachsen	27	5	1.453
Sachsen-Anhalt	24	4	1.172
Schleswig-Holstein inkl. Hamburg	36	6	2.262
Thüringen	36	6	2.202
Summe	570	100	

¹ Gerundete Werte.

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Energiestroh wird auf ca. 2,8 Mio. ha, bzw. auf ca. 41 % der hier prognostizierten Getreidefläche produziert. Der durchschnittliche Strohertrag pro Hektar liegt bei 7,4 t. Es werden also Hohertragsstandorte in die Biomassestrohproduktion einbezogen (Karte 5.9).

Karte 5.9: Szenario 4: Schwerpunkte von energetisch genutztem Stroh in 1.000 t/Modellkreis



Quelle: RAUMIS.

5.3.2 Struktur der Holzaufbereitung

Die Struktur der Holzaufbereitung ist in den Szenarien unterschiedlich gestaltet: Im Szenario 2 wird ausschließlich die vollmechanisierte Holzaufbereitung im Brusthöhendurchmesser (BHD) 2 angewendet, da diese die kostengünstigste Möglichkeit der Holzbereitstellung darstellt (Tabelle 5.12).

Erst bei einem Erzeugerpreis von 35 €/t FM Holz, wie in Szenario 3 angenommen, wird die motormanuelle Holzaufbereitung wettbewerbsfähig. Die kostengünstigste motormanuelle Holzaufbereitung kann in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Hessen realisiert werden. Im Szenario 4 hat diese einen Anteil von ca. 20 % der prognostizierten Gesamtholzproduktion, die maximal mögliche Holzmenge wird hier erschlossen.

Tabelle 5.12: Szenarien 2 bis 4: Struktur der Holzbereitstellung

	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Brusthöhendurchmesser (BHD)			
	Anteile in % der Holzbereitstellung		
BDH1: 12 bis unter 15 cm	1,9	13,5	30,7
BDH2: 15 bis unter 35 cm	98,1	84,5	54,6
BDH3: über 35 cm	0,0	2,0	14,7
Art der Aufbereitung			
	Anteile in % des Holzbereitstellung		
Motormanuell	0	2,2	19,3
Teilmechanisiert	0	0	0
Vollmechanisiert ¹	100	97,8	80,7

¹ Vollmechanisierte Aufbereitung in BHD3 nicht möglich.

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

5.3.3 Auswirkungen auf die Flächennutzung

Bei einem angenommenen Energiebeitrag der Biomasse von 0,5 % (Szenario 2) bzw. 1 % (Szenario 3) ergeben sich keine Auswirkungen auf die Flächennutzung.

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich also auf das Szenario 4, in dem annahmegemäß 4 % der Primärenergie durch Biomasse ersetzt wird. In diesem Szenario verändert sich mit hohen Erzeugerpreisen für Stroh die Wettbewerbsrelation zwischen Getreide und (Food-) Ölsaaten in Richtung Getreide, was zu einer Ausdehnung der Getreidefläche bei gleichzeitiger Einschränkung der Ölsaatenfläche führt (Tabelle 5.13).

Tabelle 5.13: Szenario 4: Sektorale Wirkungen auf die Flächennutzung gegenüber der Referenz

	Referenz '05	Szenario 4
	1.000 ha	% Änderung gegenüber der Referenz
Getreide	6.692	1,4
Ölsaaten (Food)	352	-11,7
Flächenstilllegung	827	-8,8

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

5.3.4 Auswirkungen auf das Einkommen

Für die Szenarien 2 und 3 werden nennenswerte Einkommenswirkungen nur im Forstsektor erreicht. Durch die motormanuelle Holzaufbereitung, die annahmegemäß von Landwirten durchgeführt wird, kommt es in Szenario 3 nur zu geringen Einkommenswirkungen auch innerhalb der Landwirtschaft (vgl. Tabelle 5.14).

Tabelle 5.14: Einkommens- und Gewinnwirkungen innerhalb der Landwirtschaft gegenüber der Referenz (Szenarien 2 bis 4)

	Referenz '05	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
	Mio. €	absolute Änderung gegenüber der Referenz in Mio. €		
NWSF	9.701	0	3,6	351
abzüglich Fremdlöhne	-1.083	0	0,0	56
Einkommen	8.618	0	3,6	295
abzüglich Eigenlöhne	-5.893	0	3,6	116
Gewinn	2.725	0	0,0	179

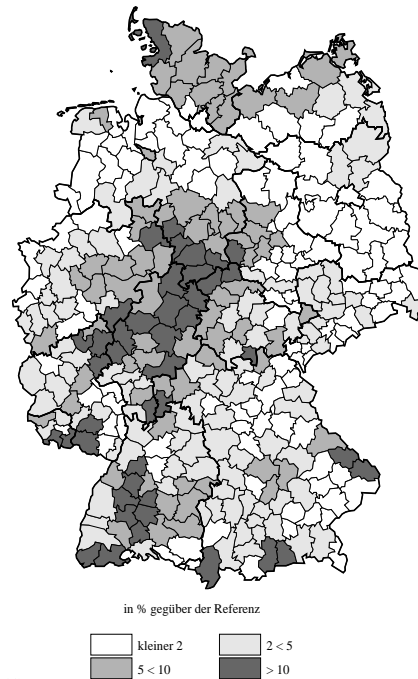
Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Für Szenario 4 wird ein Anstieg der Nettowertschöpfung um ca. 3,6 %, d. h. 351 Mio. € prognostiziert.

Karte 5.10 zeigt starke Zuwächse der Nettowertschöpfung innerhalb der Landwirtschaft in Szenario 4 gegenüber der Referenz in den Mittelgebirgsgebieten und ebenso in Schleswig-Holstein und Teilen Mecklenburg-Vorpommerns.

Der Gewinn aus Biomasse in der Forstwirtschaft liegt im Szenario 4 bei 584 Mio. €, der Bruttolohn steigt hier auf 230 Mio. €. Der Lohnkostenanteil sinkt jedoch gegenüber den Szenarien 2 und 3, was auf erhöhte Unternehmerrenditen schließen lässt. (Tabelle 5.15).

Karte 5.10: Szenario 4: Änderung der Nettowertschöpfung der Landwirtschaft in Prozent gegenüber der Referenz



Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Tabelle 5.15: Einkommenswirkungen innerhalb der Forstwirtschaft

	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
	absolute Änderung in Mio. €		
Aufwendungen	187	482	691
davon Löhne	72	171	231
Ertrag	196	549	1.276
Gewinn	9	66	584

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

5.3.5 Auswirkungen auf die Beschäftigung

Mit wachsender Biomassebereitstellung steigen die Beschäftigungswirkungen. In Szenario 2 wird ausschließlich Holz in vollmechanisierter Aufbereitung bereitgestellt. Die Beschäftigungswirkungen fallen somit nur außerhalb der Landwirtschaft in Höhe von zusätzlichen 2.064 Arbeitskräften für die Holzbereitstellung an (Tabelle 5.16).

Tabelle 5.16: Beschäftigungswirkungen innerhalb der Land- und Forstwirtschaft

	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
	jährliche Beschäftigungswirkungen in AK		
Landwirtschaft	0	239	10.537
Forstwirtschaft	2.064	4.930	6.636
Summe	2.064	5.169	17.173

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Durch die gegenüber Szenario 2 verstärkte Holzbereitstellung im Szenario 3 tritt ein Mehrbedarf an kalkulatorischen Arbeitskräften auf, der sich aufgrund der zunehmenden motormanuellen Holzaufbereitung, diese Arbeit annahmegemäß von Landwirten übernommen, mit kalkulierten 239 Arbeitskräften auch innerhalb der Landwirtschaft niederschlägt. Umgerechnet auf den Gesamtbedarf an Arbeitskräften innerhalb der Landwirtschaft handelt es sich hierbei jedoch nur um eine Steigerung von 0,1 % gegenüber dem Referenzszenario.

In Szenario 4 wird, wie schon erwähnt, die gesamte zur Verfügung stehende Waldrest- und Schwachholzmenge aufbereitet. Dies führt in der Forstwirtschaft zu einem kalkulierten Mehrbedarf von ca. 6.600 Arbeitskräften. Durch die in diesem Szenario zusätzlich bereitgestellten Mengen an Stroh und Pappelholz – in Kombination mit der um den Faktor von ca. 15 angestiegene motormanuelle Holzaufbereitung werden auch für die Landwirtschaft mit 10.537 AK deutliche Beschäftigungseffekte errechnet. Der Anteil der Beschäftigungswirkungen, die auf die motormanuellen Holzaufbereitung zurückzuführen ist, beläuft sich dabei auf ungefähr 70 %. Im Bundesdurchschnitt steigt die Anzahl der kalkulatorischen Arbeitskräfte innerhalb der Landwirtschaft um 2,5 % an. In der Betrachtung der Bundesländer weisen Bayern (hier ist ein Zuwachs von ca. 2.200 AK, bzw. 2,4 % gegenüber der Referenz zu verzeichnen), Baden-Württemberg (1.300 AK, bzw. 2,4 %) und Niedersachsen (1.170 AK, bzw. 1,8 %) die höchsten absoluten Beschäftigungswirkungen auf. Die höchsten prozentualen Änderungen der Anzahl der kalkulatorischen Arbeitskräfte gegenüber der Referenz sind dagegen in Thüringen (6,8 % durch einen Zuwachs von 870 AK) und Mecklenburg-Vorpommern (5 % bzw. 890 AK) zu verzeichnen.

5.3.6 Auswirkungen auf die Steuereinnahmen

Bei einem angenommenen Energiebeitrag aus Biomasse zur Primärenergieversorgung von 0,5 % (Szenario 2) ergeben sich innerhalb der Landwirtschaft keine Veränderungen der Steuereinnahmen. Für die Forstwirtschaft werden Mehreinnahmen in Höhe von 17 Mio. €/Jahr quantifiziert. Dadurch, dass in diesem Szenario 15 PJ Heizöl substituiert werden, für das ansonsten Energiesteuer gezahlt würde, ergeben sich Steuermindereinnahmen in Höhe von 26 Mio. €, was zu einem Saldo von minus 9 Mio. € führt.

Tabelle 5.17 fasst die Wirkungen auf die Steuereinnahmen in den Szenarien 2 bis 4 zusammen.

Tabelle 5.17: Veränderung des quantifizierten Steueraufkommens im Jahr 2005 (Szenarien 2 bis 4)

	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
	Änderung gegenüber der Referenz in Mio. €/Jahr		
Ertragssteuer Landwirtschaft	0	1	63
Ertragssteuer Forstwirtschaft	17	51	168
Summe Ertragssteuer	17	52	231
Energiesteuer	-26	-63	-228
Saldo aus Ertrags- und Energiesteuer	-9	-11	3

Quelle: RAUMIS, eigene Berechnungen.

Für Szenario 3 mit einem Energiebeitrag von 1 % der Primärenergie wird ein Saldo von minus 11 Mio. €/Jahr quantifiziert. Die Hauptkomponenten sind hierbei die Mehreinnahmen aus der Forstwirtschaft (51 Mio. €) und die Mindereinnahmen im Bereich der Energiesteuern (-63 Mio. €).

Werden 4 % der Primärenergie durch Biomasse gedeckt (Szenario 4), so sind Steuermehreinnahmen von 3 Mio. € zu verzeichnen. Diese setzen sich zusammen aus den Veränderungen der Energiesteuern, die mit minus 228 Mio. € beziffert werden, den Mehreinnahmen aus der Ertragssteuer in Höhe von 167 Mio. € aus der verstärkten Waldrestholzaufbereitung sowie aus den Veränderungen innerhalb der Landwirtschaft, die 63,4 Mio. € betragen.

An dieser Stelle soll noch einmal angemerkt werden, dass dies nur eine Ausschnittsweise Betrachtung darstellt. Eventuelle Änderungen des Steueraufkommens,

die sich aufgrund der geänderten Energiezusammensetzung außerhalb der Land- und Forstwirtschaft ergeben, wurden nicht analysiert.

5.4 Schlussfolgerungen

In den vorherigen Kapiteln erfolgte die Darstellung der Modellergebnisse. Ziel des folgenden Kapitels ist es, inhaltliche und methodische Schlussfolgerungen zu ziehen. Zunächst erfolgt hierzu eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse, worauf die Modellanwendungen A und B vergleichend gegenübergestellt werden. Danach werden bestehende Schwächen des verwendeten Instrumentariums aufgezeigt und mögliche Ansatzstellen zur Weiterentwicklung desselben dargelegt.

5.4.1 Inhaltliches Fazit

5.4.1.1 Anwendung A: Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht (Szenario 1)

Diese Anwendung stellt eine Politikfolgenabschätzung der derzeitigen Rahmenbedingungen (Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Ökologische Steuerreform) dar.

Unter den gesetzten Annahmen wird ein Anteil der Biomasseenergie am Primärenergiebedarf Deutschlands von ca. 5,4 % erreicht. Die Nettowertschöpfung innerhalb der Landwirtschaft steigt um 11,5 % (ca. 1 Mrd. € pro Jahr) bei gleichzeitigem Anstieg der kalkulatorischen Arbeitskräfte um 3,5 % (ca. 14.000 AK). In der Forstwirtschaft werden ca. 6.600 zusätzliche Arbeitskräfte benötigt. Da eine der Landwirtschaft vergleichbare Gesamtrechnung für die Forstwirtschaft nicht vorlag, wird hier als Einkommensindikator der Saldo aus Biomasseerlösen – Aufwendungen ohne Löhne – ermittelt. Durch die Aufbereitung von Waldrest- und Schwachholz ergibt sich hier ein „Einkommensanstieg“ von ca. 1 Mrd. €.

Die geschätzten Steuereinnahmen des Staates sinken um ca. 100 Mio. €. Dies liegt darin begründet, dass die zurückgehenden Energiesteuereinnahmen nicht durch die positiven Effekte im Bereich der Ertragssteuern ausgeglichen werden.

Von den insgesamt 740 PJ Energie aus Biomasse werden rund 35 % aus Waldrest- und Schwachholz und 61 % aus Stroh abgedeckt. Sonstige Energieträger (Raps, Triticale und Pappeln) haben nur einen Anteil von ca. 4 % am Gesamtenergieaufkommen in diesem Szenario.

Der Anbau von Miscanthus sowie eine Ethanolproduktion aus Weizen oder Zuckerrüben ist nicht zu erwarten.

Es kommt zu einer signifikanten Änderung der Flächennutzung. Aufgrund der hohen Erzeugerpreise für Stroh gewinnt der Getreideanbau stark an Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Food-Ölsaaten, deren Anbaufläche um knapp 50 % zurückgeht.

Die Holzaufbereitung ist aufgrund der für dieses Szenario ermittelten Erzeugerpreise, die in allen Regionen Deutschlands über den Produktionskosten liegen, sehr lukrativ, so dass die gesamte zur Verfügung stehende Waldrest- und Schwachholzmenge für die energetische Verwendung aufbereitet wird.

Die Bereitstellung von Stroh erfolgt von ca. 62 % der Getreidefläche (ca. 4,5 Mio. ha). Regionale Schwerpunkte ergeben sich im Nordosten Deutschlands (Mecklenburg-Vorpommern und Ostholstein). Dies ist Ausdruck der vergleichsweise geringen Tierbestandsdichten (geringer Einstreubedarf) sowie hohen Getreide- und damit verbundenen hohen Stroherträgen.

Non-Food-Raps wird sektoral auf 0,295 Mio. ha Stilllegungsflächen angebaut, liefert jedoch nur einen Beitrag von ca. 15 PJ, bzw. 2 % der Energiemenge dieses Szenarios. Regionale Schwerpunkte ergeben sich vor allem in den Neuen Ländern (Thüringen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern) sowie in Bayern.

5.4.1.2 Anwendung B: Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht (Szenario 2 bis 4)

Dieser Modellanwendung liegt die Frage zugrunde: Welches ist aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten der optimale Produktionsmix der Biomasse, wenn ein bestimmter Prozentsatz an Energie aus Biomasse am Primärenergiebedarf in Deutschland politisch gewünscht wird?

Unter Verwendung der Erzeugerpreisstruktur, die monetarisierbare externe Kosten der Energieerzeugung einbezieht („soziale Äquivalenzkosten“) wurden in dieser Anwendung verschiedene Anteile der Biomasse am Primärenergiebedarf Deutschlands simuliert (im einzelnen 0,5 %, 1 % und 4 %). Im Vergleich zur Anwendung A liegen die ermittelten Erzeugerpreise für Biomasseträger im „Szenario 4%“ deutlich niedriger (z. B. Holz -11 %, Stroh -25 %, Raps -57 %).

In allen Szenarien der Anwendung B wird nur Stroh, Waldrest- und Schwachholz zur Energieversorgung genutzt. Die Nutzung von anderen Biomassearten, insbesondere Raps, ist nicht zu erwarten.

In Szenario 4, in dem annahmegemäß insgesamt ca. 4 % des Primärenergiebedarfs Deutschlands durch Biomasse gedeckt wird, kommen knapp 46 % der Energiemenge aus Holz und ca. 53 % aus Stroh. Sonstige Energieträger nehmen mit 0,8 % des gesamten Energieoutputs dieses Szenarios nur einen sehr geringen Stellenwert ein. Energiestroh wird auf rund 2,8 Mio. ha produziert, dies bedeutet auf rund 40 % der für dieses Szenario prognostizierten Getreidefläche.

Die Effekte auf das land- und forstwirtschaftliche Einkommen sind positiv. Dabei werden zunächst Wertschöpfungszuwächse in der Forstwirtschaft realisiert und erst nachfolgend – insbesondere über die motormanuelle Holzbereitstellung und die Produktion von Energiestroh – zusätzliche Einkommensquellen in der Landwirtschaft erschlossen. In Szenario 4 wird ein Anstieg der Nettowertschöpfung innerhalb der Landwirtschaft gegenüber der Referenzsituation um 3,6 % bzw. 0,35 Mrd. € kalkuliert. In der Forstwirtschaft ergibt sich ein positiver Einkommenseffekt (Erlöse – Aufwendungen ohne Löhne) von ca. 0,8 Mrd. € pro Jahr.

Der Arbeitsbedarf in Szenario 4 steigt im Bundesdurchschnitt um 2,5 % bzw. rund 10.500 kalkulatorische Arbeitskräfte (innerhalb der Landwirtschaft). Besonders hohe Steigerungsraten sind hier in Thüringen zu erwarten, der absolute Arbeitsmehrbedarf ist in Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen am höchsten. Innerhalb der Forstwirtschaft werden rund 6.600 Arbeitskräfte mehr benötigt. In diesem Szenario gleichen sich die kalkulierten Steuerminder- und -mehreinnahmen nahezu aus.

5.4.1.3 Abschließendes Fazit: Anwendung A und Anwendung B

In beiden Anwendungen erscheint Waldrest- und Schwachholz als das kostengünstigste Verfahren zur Bioenergiebereitstellung. Stroh als Reststoff ist das zweitgünstigste Verfahren zur Produktion von Bioenergie. Raps für die RME-Produktion ist nur in der Anwendung A aufgrund der derzeitigen Steuerpolitik konkurrenzfähig. Unter Einbezug der externen Kosten (Anwendung B) ist Raps nicht wettbewerbsfähig. Das liegt u. a. auch im hohen Energieverbrauch der Konversion zu RME begründet.

Mit den beschlossenen politischen Maßnahmen kann unter den gesetzten Annahmen mittelfristig ein Primärenergieanteil von ca. 5,4 % aus Biomasse erreicht werden.

Damit könnte Biomasse ca. die Hälfte des politisch gewünschten Anteils am Primärenergiebedarf beisteuern.

Sollten die politischen Entscheidungsträger eine Biomasseproduktion wünschen, die externe Kosten der Energieproduktion einbezieht, so sind politische Maßnahmen notwendig, die für die Biomasseprodukte Holz und Stroh die Differenz zwischen den derzeitigen und den sozialen Äquivalenzpreisen ausgleichen.

Bei diesen Ergebnissen ist zu beachten, dass die Analysen Angebotsabschätzungen darstellen und zwar unter den Annahmen, dass der Markt transparent ist, die angenommenen maximalen Erzeugerpreise voll an die Biomasseproduzenten weitergegeben werden und dass die Verwertungsanlagen in angenommener Transportentfernung vorhanden sind. Letztlich wird der Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung von den Standortentscheidungen der Anlagenbetreiber sowie den Konditionen an die Landwirte determiniert.

5.4.2 Methodisches Fazit

In dieser Arbeit ist ein Analyseinstrumentarium entwickelt worden, das es ermöglicht, das Biomasseangebot in Deutschland auf regionaler und sektoraler Ebene unter verschiedenen politischen Vorgaben und Fragestellungen sowie den damit verbundenen Preisszenarien zu prognostizieren. Im Folgenden werden Ansatzstellen zur Weiterentwicklung des Instrumentariums aufgezeigt.

Genauigkeit der Daten. Aufgrund fehlender Daten bestehen Unsicherheiten in den Bereichen der Verfahrenskoeffizienten und der regionalen Erträge. Für weitergehende Analysen ist eine Sammlung und Systematisierung einer aktuellen und historischen „Biomasse-Datenbasis“ notwendig (Monitoring). Dies impliziert die Aufnahme der Biomasseproduktion und -nutzung in die Regionalstatistik (z. B. die energetische Nutzung von Holz und Stroh) sowie eine in Verfahren disaggregierte Darstellung der Daten. So wäre eine Nutzung der weiterentwickelten Modellsteuerung über PQP-Terme möglich.

Jahresbezug der Grunddaten. Basisjahr 1995/Zieljahr 2005: Zum Zeitpunkt des Modellaufbaus und der Modellanwendungen waren neuere Datengrundlagen noch nicht verfügbar und konnten so nicht genutzt werden. Für die Modellanwendungen wurde ein zehnjähriger Prognosezeitraum gewählt, der sich für die vorliegende Arbeit auf das Jahr 2005 beläuft. Ein Prognosezeitraum von über zehn Jahren wäre jedoch wünschenswerter. Das Modell RAUMIS wird am Institut für Betriebswirt-

schaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der FAL im Rahmen des Modellverbundes¹¹⁸ stetig weiterentwickelt. So könnte die vorliegende Arbeit bei Bedarf aktualisiert werden.

Experten-Know-how aus den Regionen. Besonders in neuen Produktionsbereichen, zu denen die Biomasse zählt, ist das „Innovationsklima“ vor Ort, das heißt die Beratertätigkeit und Art und Umfang von Informationsveranstaltungen, aber auch der Kooperationswille und die Risikofreudigkeit für eine Adaption von Neuerungen entscheidend. Da im verwendeten Modell im Bereich der Biomasseproduktion jedoch ausschließlich das gewinnmaximale Verhalten von Landwirten für die Produktionsentscheidungen Berücksichtigung fand, sind hier Ergebnisunsicherheiten zu erwarten. Um die bestehenden Unsicherheiten zu lösen, wäre idealerweise die Zusammenarbeit mit Kontaktpersonen in verschiedenen Regionen Deutschlands notwendig. So könnten die Bestimmungsgründe für das Angebot, die außerhalb des Erfassungsbereichs eines ökonomischen Modells liegen, näher beleuchtet und berücksichtigt werden. Denkbar wäre eine Validierung der Ergebnisse durch ergänzende Einzelanalysen auf Ebene von Betrieben oder Betriebsgruppen.

¹¹⁸ Siehe z. B. KLEINHANSS et al. (2001).

6 Zusammenfassung

Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, den Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergiebedarf in Deutschland auf 10 bis 12 % bis zum Jahr 2010 zu steigern. Die energetische Nutzung von Biomasse soll hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

Ziel

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Methode zu entwickeln, die es ermöglicht, das Angebot von Biomasse zur energetischen Nutzung in Deutschland auf regionaler und sektoraler Ebene zu prognostizieren. Diese Methode soll im Rahmen dieser Arbeit angewendet und getestet werden.

Methode

Als Basis wurde das Agrarsektormodell RAUMIS (Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland) genutzt, dessen Kernstück ein regionalisiertes, nichtlineares Programmierungsmodell ist. RAUMIS bildet die deutsche Landwirtschaft auf Ebene der Landkreise ab. Dieses Modell wurde zur Abbildung der Biomasseproduktion erweitert. Im Einzelnen wurden folgende Weiterentwicklungen vorgenommen:

1. **Modellentwicklung:** Entwicklung eines Biomassemoduls für RAUMIS
 - Erweiterung der LP-Matrix, um Verfahren der land- und forstwirtschaftlichen Biomasseproduktion (Waldrest- und Schwachholz, Getreidestroh, Triticale, Raps für die Erzeugung von RME, Winterweizen und Zuckerrüben für die Erzeugung von Ethanol)
 - Integration der mehrjährigen Kulturen Pappeln und Miscanthus
 - Anbindung dieses Moduls an das Kernmodell (Berücksichtigung von Wechselbeziehungen zwischen allen im Modell abgebildeten Produktionsverfahren)

2. **Produktionsverfahren:** Entwicklung einer Vorgehensweise zur Datenerhebung bzw. deren Generierung auf regionaler Basis
 - Schätzung von Erträgen für Miscanthus und Pappeln
 - Ableitung von Input-/Outputkoeffizienten der Produktionsverfahren Strohhackung, Holzaufbereitung, Miscanthus und Pappeln

3. **Erzeugerpreise:** Entwicklung einer Vorgehensweise zur Schätzung von Erzeugerpreisen für Biomasserohstoffe
 - Entwicklung der Äquivalenzkostenmethode: Die Äquivalenzkosten geben aus Sicht des Biomasseanlagenbetreibers den monetären Wert an, mit dem Energie aus Biomasse zu denselben Kosten produziert werden kann wie Energie aus dem jeweiligen fossilen Vergleichssystem. Diese werden in den Modellanwendungen als die maximal erzielbaren Erzeugerpreise für den Biomasseproduzenten genutzt.
 - Abschätzung zweier Arten von Äquivalenzkosten: 1) „betriebswirtschaftliche Äquivalenzkosten“ unter Berücksichtigung interner Energiegestehungskosten und aktuellen politischen Rahmenbedingungen und 2) „soziale Äquivalenzkosten“ unter Berücksichtigung interner Energiegestehungskosten und externer Kosten der betrachteten Versorgungsarten und deren fossilen Vergleichssysteme.
4. **Ergebnisdarstellung:** Entwicklung einer Methodik zur Abschätzung der biomassenspezifischen Effekte auf das Einkommen der Land- und Forstwirtschaft, die Beschäftigung in ländlichen Räumen, die Struktur der Flächennutzung sowie die Steuereinnahmen des Staates.

Anwendungen

Die entwickelte Methodik wurde anhand von zwei Anwendungen getestet, die sich hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Fragestellung unterscheiden. Zum einen wurde eine Politikfolgenabschätzung der derzeitigen Rahmenbedingungen (Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Ökologische Steuerreform) durchgeführt (Arbeitstitel: „Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht“).

Der zweiten Anwendung (Arbeitstitel: „Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht“) liegt die folgende Frage zugrunde: Welches ist aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten der optimale Produktionsmix von Biomasse, wenn ein bestimmter Prozentsatz an Energie aus Biomasse am Primärenergiebedarf in Deutschland politisch gewünscht wird?

In beiden Anwendungen werden die Szenarioergebnisse mit dem Referenzszenario, das eine in das Jahr 2005 projizierte Politik unter Bedingungen der Agenda 2000 darstellt, die eine Biomasseproduktion jedoch vollständig ausblendet, verglichen.

**Anwendung A: Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht
(Szenario 1)**

Unter den gesetzten Annahmen wird ein Anteil der Biomasseenergie am Primärenergiebedarf Deutschlands von ca. 5,4 % erreicht. Damit könnte Biomasse ca. die Hälfte des politisch gewünschten Anteils Erneuerbarer Energien am Primärenergiebedarf beisteuern.

Den Hauptanteil erbringen in diesem Szenario Stroh, Waldrest- und Schwachholz mit 96 %. Non-Food Raps ist in aufgrund der geltenden Steuerpolitik wettbewerbsfähig. Der Anbau von Miscanthus sowie eine Ethanolproduktion aus Weizen oder Zuckerrüben ist nicht zu erwarten.

Es wird ein Anstieg der Nettowertschöpfung innerhalb der Landwirtschaft um 11,5 % (ca. 1 Mrd. € pro Jahr) bei gleichzeitigen Anstieg der kalkulatorischen Arbeitskräfte um 3,5 % erwartet. Auch in der Forstwirtschaft kommt es zu einem starken Einkommensanstieg (Erlöse – Aufwendungen ohne Löhne) von ebenfalls ca. 1 Mrd. €. Dagegen sinken die geschätzten Steuereinnahmen des Staates um ca. 100 Mio. €, da die zurückgehenden Energiesteuereinnahmen nicht durch die positiven Effekte im Bereich der Ertragssteuern ausgeglichen werden. Weiterhin kommt es zu einer starken Änderung der Flächennutzung, da aufgrund der hohen Erzeugerpreise für Stroh der Getreideanbau stark an Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Food-Ölsaaten gewinnt.

**Anwendung B: Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht
(Szenario 2 bis 4)**

Unter Verwendung der Erzeugerpreisstruktur, die monetarisierbare externe Kosten der Energieerzeugung einbezieht („soziale Äquivalenzkosten“), wurden in dieser Anwendung verschiedene Anteile der Biomasse am Primärenergiebedarf Deutschlands simuliert (im einzelnen 0,5 %, 1 % und 4 %). Im Vergleich zur Anwendung A liegen die ermittelten Erzeugerpreise für Biomaseträger im „Szenario 4 %“ deutlich niedriger (z. B. Holz -11 %, Stroh -25 %, Raps -57 %).

In allen Szenarien der Anwendung B wird nur Stroh, Waldrest- und Schwachholz zur Energieversorgung genutzt. Die Nutzung von anderen Biomassearten, insbesondere Raps, ist nicht zu erwarten.

In Szenario 4 wird ein Anstieg der Nettowertschöpfung innerhalb der Landwirtschaft um 3,6 % bzw. 0,35 Mrd. € pro Jahr prognostiziert bei gleichzeitigem Anstieg der kalkulatorischen Arbeitskräfte um 2,5 %. In der Forstwirtschaft ergibt sich ein posi-

tiver Einkommenseffekt von ca. 0,8 Mrd. € pro Jahr, während rund 6.600 zusätzliche Arbeitskräfte benötigt werden. In diesem Szenario gleichen sich die kalkulierten Steuerminder- und -mehreinnahmen nahezu aus.

Abschließendes Fazit: Anwendung A und Anwendung B

In beiden Anwendungen erscheint Waldrest- und Schwachholz als das kostengünstigste Verfahren zur Bioenergiebereitstellung. Stroh als Reststoff ist das zweitgünstigste Verfahren zur Produktion von Bioenergie. Non-Food-Raps für die RME-Produktion ist nur in Anwendung A aufgrund der derzeitigen Steuerpolitik konkurrenzfähig, nicht hingegen, wenn die externen Kosten in die Preisbildung einbezogen werden (Anwendung B).

Sollte also eine Biomasseproduktion gewünscht werden, die externe Kosten der Energieproduktion einbezieht, so sind politische Maßnahmen notwendig, die für die Biomasseprodukte Holz und Stroh die Differenz zwischen den derzeitigen und den sozialen Äquivalenzpreisen ausgleichen.

Beurteilung der entwickelten Methodik

In dieser Arbeit ist ein Analyseinstrumentarium entwickelt worden, das es ermöglicht, das Biomasseangebot in Deutschland auf regionaler und sektoraler Ebene zu prognostizieren. Dieses Instrumentarium

- erfasst modellhaft alle relevanten Verfahren zur Biomasseproduktion in Deutschland auf Ebene der Landkreise,
- analysiert die Produktion von Biomasse im Kontext zur sonstigen Agrarproduktion und bildet somit Wettbewerbsstrukturen zwischen den Produktionsverfahren ab,
- erlaubt eine sektorübergreifende Verschneidung der landwirtschaftlichen Produktion mit Produktionsverfahren der Forstwirtschaft,
- ermöglicht Angebotsabschätzungen unter verschiedenen politischen Vorgaben und Fragestellungen sowie den damit verbundenen Preisszenarien.

Die Ergebnisse beider Anwendungen wurden durch Experten evaluiert und als plausibel eingeschätzt. Auch wenn damit das gesetzte Ziel dieser Arbeit erreicht wurde, gibt es verschiedene Möglichkeiten zur methodischen und organisatorischen Weiterentwicklung des Forschungsansatzes zur Abschätzung der Biomasseproduktion.

Ansatzstellen hierfür sind vor allem die Verbesserung der Datenqualität durch ein systematisches Monitoring der Biomasseerzeugung und deren Nutzung. Dies kann

zum einen bisher geschätzte Parameter (z. B. regionalisierte Erträge) ersetzen und die nötigen Grundlagen für den Einbezug dieser Produktionsverfahren in die weiterentwickelte Modellsteuerung (PMP) legen.

Denkbar wäre darüber hinaus eine Validierung der Ergebnisse durch ergänzende Analysen auf Ebene von Betrieben oder Betriebsgruppen. Dies impliziert den Aufbau von regionalen Expertengruppen, bestehend aus Land- und Forstwirten, Anlagenbetreibern und Wissenschaftlern.

Literaturverzeichnis

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BML) (1998): Agrarbericht der Bundesregierung. Bonn
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (1999): Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Berlin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (2000): Umwelt. Heft 3, Bonn,
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2000a): Aufbruch und Erneuerung – Deutschlands Weg ins 21. Jahrhundert. Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis 90/Die Grünen, Oktober 1998, Bonn
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2000b): Umwelt. Heft 11, Sonderteil: Nationales Klimaschutzprogramm, S. II, Bonn
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT (BMW) (1999): Energiedaten 1999 – Nationale und internationale Entwicklung. Bonn
- BRANDES W (1985): Über die Grenzen der Schreibtisch-Ökonomie. Tübingen
- BRANDES W, RECKE G, BERGER TH (1997): Produktions- und Umweltökonomie. Band 1, Stuttgart
- BRAUCH HG (Hrsg.) (1997): Energiepolitik. Technische Entwicklung, politische Strategien, Handlungskonzepte zu erneuerbaren Energien und zur rationalen Energienutzung. Berlin, Heidelberg
- BRAUNE I (1998): Beitrag der Land- und Forstwirtschaft zum Klimaschutz - Agrar- und Forstpolitik in Deutschland. In: Berichte über Landwirtschaft, Band 76 (4), Münster-Hiltrup, S. 580-597
- BREUSS F, STEININGER K (1998): Biomass Energy Use to reduce Climate Change: A General Equilibrium Analysis for Austria, Journal of Policy Modelling 20 (4), S. 513-535
- BRÖKELAND R (1998): Planungsprogramm zur Nutzung von Biomasse für die Heizenergieversorgung von Gewächshäusern. HORTEB. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover, Gartenbautechnische Informationen, Heft 44, Hannover

- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR) (1995): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1995. Zusammenfassung der Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- CYPRIS CH (2000): Positive Mathematische Programmierung (PMP) im Agrarsektormodell RAUMIS. Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e. V., Bonn
- DE LA TORRE UGARTE DG, DARYLL ER (2000): Biomass and Bioenergy Applications of the POLYSYS Modeling Framework. Biomass and Bioenergy, Vol. 18 (4), S. 291-308
- DI MAGLIANO RP, CARBONE S, QUARTO A (2000): Cross-compliance opportunities for the agri-environmental development in Italian public land exposed to environmental risk. In: Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use. International Conference, 18.-20. Mai 2000, Wageningen
- DIEKMANN J, HORN M, HRUBESCH P, PRATETORIUS B, WITTKE F, ZIESENING HJ (1995): Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen. Ikarus, Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien, Band 15, Jülich
- DIETER M et al. (2000):: Berechnung des Potenzials an Biomasse zur Energiegewinnung aus Waldrestholz und Schwachholz auf Landkreisebene. Abschlussbericht des Unterprojektes im Gemeinschaftsprojekt „Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Energiegewinnung aus Biomasse unter Berücksichtigung externer und makroökonomischer Effekte“, Hamburg
- EICHELBRÖNNER M, DIEKMANN J, LANGNISS O, BECK B (1997): Aktionsprogramm Abbau von Hemmnissen bei der Realisierung von Anlagen erneuerbarer Energien. Forum für Zukunftsenergien e. V. (Hrsg.)
- EU-KOM (2000): Informationsschriften zur Agenda 2000. In: www.eu.int.com/scadplus (Stand 11. April 2000)
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien) sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes. In: Bundesgesetzblatt, Jg. 2000, Teil 1, Nr. 13, Bonn, 31. März 2000
- FOLKERS C (1999): Gutachten zur ökonomischen Bewertung von Rapsöl/Rapsmethylester gegenüber Dieselkraftstoff. Abschlussbericht, Bochum
- FRIEDRICH E (1997): Anbautechnische Untersuchungen in forstlichen Schnellwuchsplantagen und Demonstration des Leistungsvermögens schnellwachsender Baumarten. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden

- GERSTENKORN H (1995): Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Dissertation, Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel
- HARTMANN H, STREHLER A (1995): Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Band 3, Landwirtschaftsverlag, Münster
- HENRICHSMEYER W, CYPRIS CH, LÖHE W, MEUDT M, SANDER R, VON SOTHEN F, ISERMAYER F, SCHEFSKI A, SCHLEEF KH, NEANDER E, FASTERDING F, HELMCKE B, NEUMANN M, NIEBERG H, MANEGOLD D, MEIER TH (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS 96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021) (1994), vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig
- HENRICHSMEYER W, WITZKE HP (1991): Agrarpolitik. Band 1: Agrarökonomische Grundlagen, Stuttgart
- HENRICHSMEYER W, WITZKE HP (1994): Agrarpolitik. Band 2: Bewertung und Willensbildung, Stuttgart
- HOFMANN M (1997): Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände und energetische Bewertung der Kurzumtriebswirtschaft. Abschlussbericht, Verbundvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“ an den drei Standorten Abbachhof, Canstein und Oldenburg
- HOHMEYER O (1988): Soziale Kosten des Energieverbrauchs, externe Effekte des Elektrizitätsverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland. Berlin, Heidelberg
- HOWITT, RE (1995a): Positive Mathematical Programming. In: American Journal of Agricultural Economics 77, S. 329-342
- HOWITT RE (1995b): A Calibration Method for Agricultural Economic Production Models. In: Journal of Agricultural Economics 46, S. 147-159
- IMA (2000): www.umweltministerium.de/download/dateien/ima_teil01.pdf
- JACOBS, A (1998): Paralleler Einsatz von Regionen- und Betriebsgruppenmodellen in der Agrarsektoranalyse. In: Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 470
- KALTSCHMITT M, BACHMANN T, BEERBAUM S, GRUBER S, HEINZ A, ISERMAYER F, KAPPELMANN KH, KREWITT W, SEIFERT K (2000): Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Energiegewinnung aus Biomasse unter Berücksichtigung externer und makroökonomischer Effekte. Endbericht der Projektgemeinschaft „Externe Effekte der Biomasse“, Stuttgart
- KALTSCHMITT M, REINHARDT G (Hrsg.) (1997): Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden

- KALTSCHMITT M, WIESE A (1993): Erneuerbare Energiequellen in Deutschland – Potentiale und Kosten. Berlin, Heidelberg
- KAPP WS (1979): Soziale Kosten der Marktwirtschaft. Frankfurt
- KLEINHANSS W, OSTERBURG B, MANEGOLD D, GOERTZ D, SALAMON P, SEIFERT K, JACOBI E (1999): Modellgestützte Folgenabschätzung zu den Auswirkungen der Agenda 2000 auf die deutsche Landwirtschaft. Arbeitsbericht 1/99, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der FAL, Braunschweig
- KLEINHANSS W, MANEGOLD D, BERTELSMEIER M, DEEKEN E, GIFFHORN E, JÄGERSBERG P, OFFERMANN F, OSTERBURG B, SALAMON P (2001): Mögliche Auswirkungen eines Ausstiegs aus der Milchquotenregelung für die deutsche Landwirtschaft. Arbeitsbericht 5/01, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der FAL, Braunschweig
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (1997): KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft: Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. 15. Auflage, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (versch. Jgg.): KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft. Versch. Auflagen, Münster-Hiltrup/Darmstadt
- KÜLP B (1982): Wohlfahrtsökonomik I, Grundlagen. In: ALBER et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft. Band 9, Stuttgart, S. 469-486
- LEWANDOWSKI I, KALTSCHMITT M (1998): Voraussetzungen und Aspekte einer nachhaltigen Biomasseproduktion. In: Biomasse: Umweltschonender Energie- und Wertstofflieferant. Dokumentation des Fachkongresses am 18./19. März 1998, Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Band 27, Stuttgart, S. 19-38
- LÖHE W (1998): Extensivierungspotentiale in der Landwirtschaft. In: HENRICHSMEYER, W. (Hrsg.): Studien zur Agrar- und Umweltpolitik. Shaker Verlag, Aachen
- MEUDT M (1999): Weiterentwicklung und Anwendung eines regional differenzierten Umweltindikatoren- und Politikinformationssystems für die Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland dargestellt am Beispiel der Treibhausgasproblematik. In: HENRICHSMEYER, W. (Hrsg.): Studien zur Agrar- und Umweltpolitik. Shaker Verlag, Aachen
- Mineralölsteuergesetz (MinöStG): Regelsteuersätze, Begriffsbestimmungen vom 21. Dezember 1992. In: BGBl I, S. 2150, 2185; 1993 I, S. 169; 2000 I, S. 147

- MINERALÖLWIRTSCHAFTSVERBAND E. V. (MWV) (2000): MWV-Mineralölzahlen 2000. www.mwv.de (Stand März 2001)
- OLSSON M, PIEPENBROCK D (1993): Kompakt-Lexikon Umwelt- und Wirtschaftspolitik, Bundeszentrale für politische Bildung, Band 1 E, Bonn
- OSTERKAMP R, SCHNEIDER W (1982): Zur Umweltökonomik – Einführung und Überblick. In: MÖLLER H et al. (1982): Umweltökonomik. Beiträge zur Theorie und Politik, Königstein, S. 5-27
- PARIS Q (1993): PQP, PMP, Parametric Programming, and Comparative Statics. Chap. 11 in 2notes for AE253, Dept. Agr. Econ., University of California, Davis
- PIGOU AC (1912): Wealth and welfare. London
- RAY DE, DE LA TORRE UGARTE DG, DICKS MR, TILLER KH (1997): The POLYSYS Modeling Framework: A Documentation. Working Paper, Agricultural Policy Analysis Center, The University of Tennessee, Knoxville
- ROZAKIS S, SOURIE JC, VANDERPOOTEN D (2000): Determining efficient tax credit policies for greenhouse gases abatement through multi-criteria modelling of the biofuel chains in France. In: Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use. International Conference, 18.-20. Mai 2000, Wageningen
- SCHAFHAUSEN F (1998): Kyoto - und was kommt danach? - Die Bedeutung der 3. VSK zur KRK für die globale Klimavorsorge. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48, 1/2, S. 11-16
- SCHMITZ HJ (1994): Entwicklungsperspektiven der Landwirtschaft in den neuen Bundesländern. Regionaldifferenzierte Simulationsanalysen alternativer agrarpolitischer Szenarien. In: HENRICHSMEYER W (Hrsg.): Studien zur Wirtschafts- und Agrarpolitik 11, Verlag M. Wehle, Witterschlick/Bonn
- SCHNEIDER U (2000): Greenhouse Gas Emission Migration through the U.S. Agricultural Sector – An Economic Assessment. Draft PhD Dissertation, Department of Agricultural Economics, Texas A & M University
- SCHWARZ KU, SCHNUG E (1995): Etablierung und Biomassebildung von *Miscanthus x giganteus* unter unterschiedlichen Umweltbedingungen – Standorttest. In: Symposium Miscanthus, Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung, Schriftenreihe der FNR „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 4, Münster, S. 35-50
- STEININGER K, VORABERGER H (2000): Exploiting the medium term biomass energy potentials in Austria: A comparison of costs and macroeconomic impacts. In: Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use. International Conference, 18.-20. Mai 2000, Wageningen

- Stromeinspeisungsgesetz (StrEG): Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisungsgesetz) vom 07.12.1990 (BGBl I, S. 2633 (BGBl III, 754-9)), zuletzt geändert durch Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts vom 24.04.1998 (BGBl I, S. 730, 734)
- Stromsteuergesetz (StromStG): Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform. In: BGBl I, Nr. 14, Bonn, 29.03.1999 (BGBl I, S. 378)
- UMSTÄTTER J (1999): Ökonomisches Regionalmodell. In: DABBERT S, HERMANN S, KAULE G, SOMMER M (1999): Landschaftsmodellierung für die Umweltp lanung. Berlin/Heidelberg, S. 79-88
- UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖL- UND PROTEINPFLANZEN E. V. (1999): www.ufop.de (Stand Oktober 1999)
- UNIVERSITÄT KARLSRUHE (1999): Perseus-Programmpaket. Universität Karlsruhe, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Arbeitsgruppe Energiesysteme und Umwelt. In: www/-iip.uni-Karlsruhe.de (Stand 21.12.1999)
- VERBAND DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT (VDEW) (2000): Vergleich des alten und neuen Energiewirtschaftsgesetzes. In: www.strom.de/ep_gg_03.htm (Stand 11. April 2000)
- VERBAND DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT (VDEW) (2003): www.strom.de (Stand 20.01.2003)
- WALSH ME, DE LA TORRE UGARTE DG, SHAPOURI H, SLINSKY SP (2000): The economic impacts of bioenergy crop production on U.S. Agriculture. In: Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use. International Conference, 18.-20. Mai 2000, Wageningen
- WEINGARTEN P (1995): Das „Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für die Bundesrepublik Deutschland“ (RAUMIS). In: Berichte über Landwirtschaft, Band 73, S. 272-302
- WICKE L (1982): Umweltökonomie – eine praxisorientierte Einführung. München
- ZIMMERMANN N (1993): Analysen zur Wettbewerbsfähigkeit ausgewählter nachwachsender Rohstoffe für die Regionen der alten Länder der Bundesrepublik Deutschland. Dissertation, Verlag M. Wehle, Witterschlick/ Bonn

Mündliche Auskünfte

V. DERENTHALL (1999)

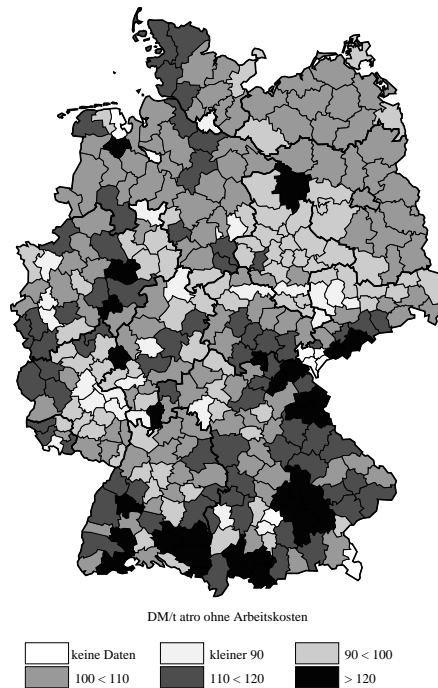
DIETER (2000a)

FORSTNER (2000)

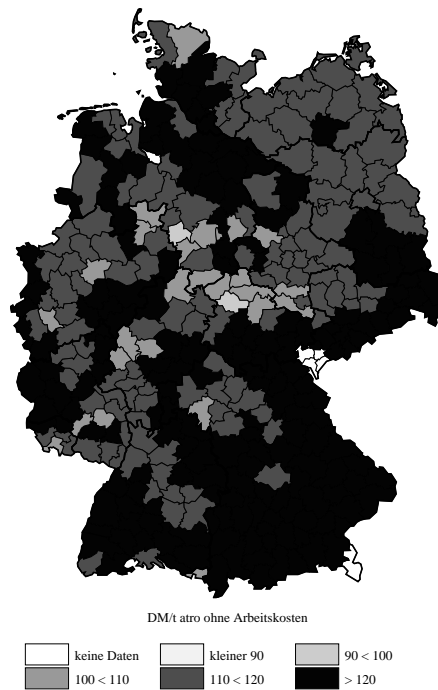
HOFMANN (1999)

ANHANG

Karte A.1: Regionale Kosten für die motormanuelle Holzernte im Brusthöhen-
durchmesser 1



Karte A.2: Regionale Kosten für die motormanuelle Holzernte im Brusthöhen-
durchmesser 2



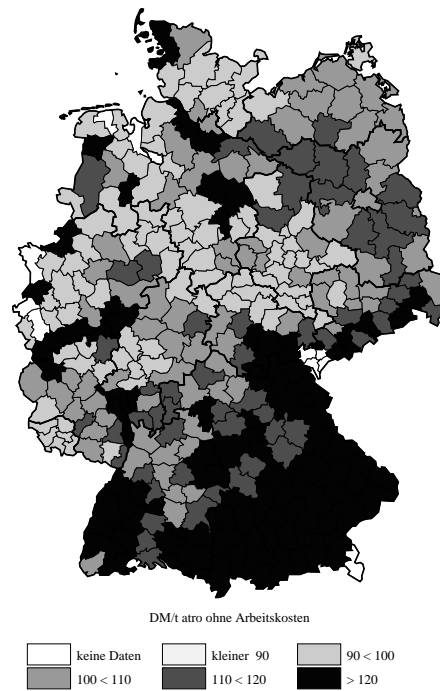
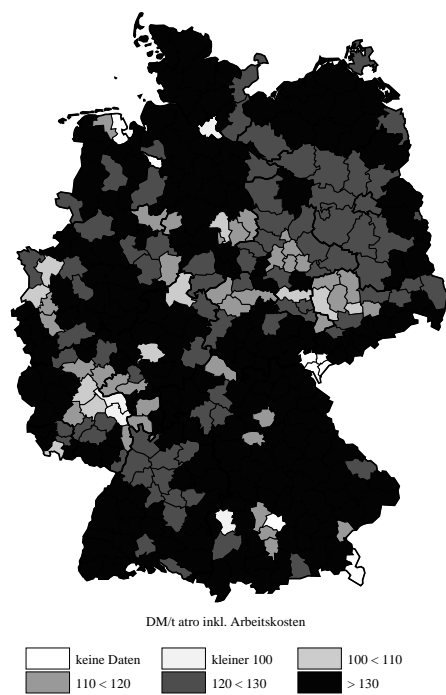
Karte A.3: Kosten für die motormanuelle Holzernte im Brusthöhendurchmesser 3**Karte A.4:** Regionale Kosten für die vollmechanisierte Holzernte im Brusthöhendurchmesser 1

Tabelle A.1: Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von ein- und mehrjährigen halmgutartigen Bioenergieträgern (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)

Verfahrensschritt	Stroh	Miscanthus ¹
Pflanzenproduktion		
Bodenbearbeitung		Pflug
Saatbettvorbereitung		
Aussaat/Pflanzung	Kreiselegge, Drillmaschine, (Gründüngung)	Saatbettkombination, Kreiselegge
Dünger streuen (PK) ²		Frontlader, Anbaupflanzmaschine
Dünger streuen (Kalk)		Düngerstreuer, Kipper (alle 3 Jahre)
Dünger streuen (N) ³		Großbehälterstreuer (alle 3 Jahre)
Pflanzenschutz mechanisch		Düngerstreuer
Pflanzenschutz Herbizid		Netzege (3 x)
Pflanzenschutz Fungizid		Anbauspritze
Stoppelbearbeitung nach der Ernte		Tieffräse, Herbizid am Anbauende
Bergung/Bereitstellung		
Mähen		(in einem Arbeitsschritt m. Ballenpressen)
Ballenpressen	Hesstonballenpresse	Selbstfahrpresse mit Schneidwerk
Transport Zwischenlager 2 km	Schlepper, Frontlader, 2 Plattenwagen	Schlepper, Frontlader, 2 Plattenwagen
Lagerung	Folienlagerung	Folienlagerung
Transport 20 km	Schlepper, Frontlader, 2 Plattenwagen	Schlepper, Frontlader, 2 Plattenwagen
Transport 50 km	Frontlader, LKW-Pritschenwagen	Frontlader, LKW-Pritschenwagen

¹ Mehrjährige Kultur: Produktionsverfahren im Wesentlichen nur im ersten und im letzten Jahr, jährliche Ernte ab dem 2. Produktionsjahr.

² Phosphor und Kali.

³ Stickstoff.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 18).

Tabelle A.2: Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von Holzhackschnitzeln aus Forstkulturen (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)

Verfahrensschritt	Schwachholz (Vollbaum)	Schwachholz (manuell)	Restholz
Bergung/Bereitstellung			
Fällen/Aufbereiten	Harvester	Motorsäge	Motorsäge
Vorliefern	Harvester	Forstspeziialschlepper	von Hand
Rücken	Shuttle	Stämme, Forwarder	Hackschnitzel, Anhänger
Zwischenlagerung	Wald	Wald	Wald
Hacken	mobiler Hacker	mobiler Hacker	Anbauhacker, manuell beschickt
Transport	LKW, Wechselcontainer	LKW, Wechselcontainer	Schlepper mit Anhänger

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 21).

Tabelle A.3: Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von Holzhackschnitzeln aus Pappel-Kurzumtriebsplantagen (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)

Verfahrensschritt	Pappel Kurzumtrieb ¹
Pflanzenproduktion	
Bodenbearbeitung	Pflug
Saatbettvorbereitung 1	Saatbettkombination
Saatbettvorbereitung 2	Kreiselegge
Pflanzgutvorbereitung	Frontladerschlepper, Plattenwagen
Pflanzen	Pflanzmaschine
Pflanzenschutz chemisch	Anbauspritze
Pflanzenschutz mechanisch	Mulchgerät
Rekultivierung	Rodefräse
Bergung/Bereitstellung	
Ernte/Hacken	Vollernter (Claas Jaguar)
Transport Zwischenlager	Kipper
Transport 20 km	Kipper
Transport 50 km	LKW-Containerzug

¹ Mehrjährige Kultur: Produktionsverfahren im Wesentlichen nur im ersten und im letzten Jahr, Ernte alle drei Jahre ab dem 4. Produktionsjahr.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 22).

Tabelle A.4: Verfahrensschritte und eingesetzte Maschinen/Geräte für die Produktion und Bereitstellung von flüssigen Bioenergieträgern (am Beispiel eines 5 ha-Schlages)

Verfahrensschritt	RME (Raps)	Ethanol (Zuckerrüben)	Ethanol (Winterweizen)
Pflanzenproduktion			
Bodenbearbeitung	Pflug	Pflug	Pflug
Saatbettvorbereitung		Saatbettkombination (2 x)	
Aussaat/Pflanzung	Kreiselegge, Drillmaschine	Einzelkornsäugerät	Kreiselegge, Drillmaschine
Dünger streuen (K)		Düngerstreuer	
Dünger streuen (PK)	Düngerstreuer, Dreiseitenkipper		Düngerstreuer, Dreiseitenkipper
Dünger streuen (N)	Düngerstreuer, Dreiseitenkipper (2 x)		Düngerstreuer (2 x)
Dünger streuen (NP)		Düngerstreuer	
Dünger streuen (Kalk) (anteilig für 3 Jahre)	Großbehälterstreuer	Großbehälterstreuer	Großbehälterstreuer
Pflanzenschutz mechanisch		Handhacke	
Pflanzenschutz Herbizid	Anbauspritze	Anbauspritze (3 x)	Anbauspritze
Pflanzenschutz Fungizid	Anbauspritze	Anbauspritze	Anbauspritze (+ Wachstumsregler)
Pflanzenschutz Insektizid	Anbauspritze, 2 x (2 x mit Fungizid)		
Stoppelbearbeitung	Scheibenegge	Schwergrubber	Schwergrubber
Bergung/Bereitstellung			
Ernte	Mähdrescher	Köpffroder, 2-reihig	Mähdrescher
Transport Zwischenlager, 2 km	2 Kipper		Schlepper, 2 Kipper
Lagerung	Lagerhaus	Feldmiete	Lagerhaus
Auslagern		Reinigungslader	
Transport 50 km	LKW	LKW	LKW
Umwandlung	Ölgewinnung, Raffination, Umesterung	Ethanolgewinnung	
Transport 100 km	LKW, Bahn ¹	LKW, Bahn ¹	LKW, Bahn ¹
Transport 50 km	LKW	LKW	LKW

¹ Anteil 75 % an Transportleistung.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 21).

Tabelle A.5: Annahmen über die Einteilung der Größenklassen in der Tierproduktion

Tierverfahren	Größenklasse mit Tierbestand von ... bis ...			
	A	B	C	D
Rinder insgesamt	1 - 59	60 - 99	100 - 199	> 200
Milchkühe	1 - 19	20 - 49	50 - 99	> 100
Sonstige Kühe	1 - 19	20 - 49	> 50	-
Schweine insgesamt	1 - 99	100 - 399	400 - 599	> 600
Mastschweine >20 kg	1 - 99	100 - 399	400 - 599	> 600
Zuchtsauen >50 kg	1 - 19	20 - 49	50 - 99	> 100
Legehennen	1 - 999	1.000 - 9.999	10000 - 29.999	> 30.000

Quelle: RAUMIS.

Tabelle A.6: Annahmen über den Einstreubedarf bei Tierhaltungsverfahren auf Stroh

Tierhaltungsverfahren	Einstreubedarf bei ganzjähriger Stallhaltung	
	in t/a	in den Größenklassen
Milchkühe	1,20	A
Ammenkühe	2,40	A, B, C, D
Färsen	1,18	A
Bullen	1,14	A
Kälbermast	3,60	A
Sauenhaltung	0,53	A, B
Schweinemast	0,48	A
Junghennenhaltung	0,01	A, B (für B Faktor 0,45)
Legehennenhaltung	0,01	A, B (für B Faktor 0,45)
Masthähnchen	0,01	A, B, C, D
Sonstiges Geflügel	0,03	A, B, C, D
Schafe	0,60	A, B, C, D
Sonstige Tiere	0,60	A, B, C, D

Quelle: RAUMIS.

Tabelle A.7: Korn-/Strohverhältnisse von Getreide

Getreideart	Korn-Strohverhältnisse
Winterweizen	0,9
Sommerweizen	1,0
Winterroggen	1,4
Sommerroggen	1,6
Wintergerste	1,0
Sommergerste	1,1
Hafer	1,2
Körnermais	1,3
Triticale	0,9

Quelle: Eigene Darstellung nach HYDRO AGRI DÜLMEN (1993, S. 457).

Tabelle A.8: Kraftstoffverbrauch der untersuchten Mittelklasse-Pkw in Abhängigkeit vom eingesetzten Treibstoff

	Dieselmotor Verbrauch l/100 km	Ottomotor Verbrauch l/100 km	Heizwert MJ/l
RME	7,07	-	32,8
Diesel	6,50	-	35,7
E5 ¹	-	8,53	31,8
Benzin	-	8,40	32,3

¹ 5 Vol.-% Ethanol, 95 Vol.-% Benzin.

Quelle: Eigene Darstellung nach KALTSCHMITT et al. (2000, S. 44).

Tabelle A.9: Kostenstruktur des Betriebs eines Mittelklasse-Pkw mit Otto- bzw. Dieselmotor (Angaben ohne MwSt.)

	Feste Kosten	Variable Kosten	Kraftstoffkosten fossil
	DM/km		
Dieselmotor	0,44	0,06	0,083
Ottomotor	0,41	0,06	0,130

Quelle: Eigene Darstellung nach KALTSCHMITT et al. (2000, S. 44).

Tabelle A.10: Feuerungstechnik, Nutzungsgrade, Eigenstromverbrauch und Personalbedarf der untersuchten Energieanlagen

Energieanlage	Brennstoff	Feuerungs- technik	th. Nutzungs- grad in % ¹	el. Nutzungs- grad in % ¹ (mit KWK)	el. Nutzungs- grad in % ¹ (ohne KWK)	Eigenstrom- verbrauch ²	AK/a ⁵
Biomasseanlagen							
Heizwerk	Halmgutballen	Zigarrenbrenner	82,6			2,0	1,2
Heizwerk	Holzhackschnitzel	Vorschubrostfeuerung	84,8			2,0	1,0
Spitzenlastkessel	Heizöl	Flammrohrkessel	90,0			2,0	
Heizkraftwerk	Halmgutballen	Stationäre Wirbelschichtfeuerung	62,6 ⁶	19,9 ⁶	32,8 ⁶	0,3 ⁴	7,8
Heizkraftwerk	Holzhackschnitzel	Stationäre Wirbelschichtfeuerung	62,9 ⁶	20,0 ⁶	33,0 ⁶	0 ⁴	7,0
Zuführung zum Kohlekraftwerk	Halmgutballen	Zuführung aufgemahlener Biomasse			42,3	0,7 ⁴	11,9
Zuführung zum Kohlekraftwerk	Holzhackschnitzel	Zuführung aufgemahlener Biomasse			42,3	0,3 ⁴	11,9
Referenzanlagen							
Heizwerk	Heizöl	Flammrohrkessel	91,0			1,0	
Zentralheizung	Heizöl	Gebälsebrenner	91,0			0,5	0
Heizanlagenmix ³	Heizöl		91,0			0,6	0,2
Kohlekraftwerk	Steinkohle	Staubfeuerung			43,0	0 ⁴	11,0

¹ Bezogen auf den Heizwert des ggf. feuchten Brennstoffs.

² Bezogen auf die frei Verbraucher bereitgestellte Wärme bzw. bei Kraftwerken auf den Heizwert des ggf. feuchten Brennstoffs.

³ Unterstellter Mix: 10% Heizwerke, 90% Zentralheizungen.

⁴ Angabe des über den im elektrischen Nutzungsgrad bereits berücksichtigten Verbrauchs hinausgehenden Stromverbrauchs (z.B. zur Biomasseaufbereitung).

⁵ Arbeitskraft/Jahr.

⁶ Annahmen: 40% KWK-Betrieb, 60% Kondensationsbetrieb, Brennstoffausnutzungsgrad im Jahresmittel ca. 52%.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 42).

Tabelle A.11: Installierte Leistung, Auslastung und Investitionskosten der untersuchten stationären Energieanlagen (Angaben ohne MwSt.)

	Brennstoff	Installierte Nennleistung	Auslastung Volllaststunden/a	Kosten		
				Baulich	Maschinell	Wärme- verteilung
				Mio. €		
Biomasseanlagen						
Heizwerk ¹	Halmgutballen	3 + 2 x 2,5 MW _{th}	5.000 + 2 x 760	0,72	1,38	2,13
	+ Heizöl EL					
Heizwerk ¹	Holzhackschnitzel	1,5 + 2 x 1,3 MW _{th}	5.000 + 2 x 760	0,27	0,46	1,06
	+ Heizöl EL					
Heizkraftwerk	Halmgutballen	10 MW _{el}	6.500/3.000 ²	5	24	5
Heizkraftwerk	Holzhackschnitzel	10 MW _{el}	6.500/3.000 ²	5	22	5
Zuführung zum Kohlekraftwerk ⁵	Halmgutballen	70 MW _{th}	4.800	14	23	-
Zuführung zum Kohlekraftwerk	Holzhackschnitzel	70 MW _{th}	4.800	14	23	-
Referenzanlagen						
Heizwerk	Heizöl	8,0 MW _{th}	2.350	0,45	0,61	2,13
Zentralheizung ³	Heizöl	6,8 MW _{th}	2.350	0,09	2,17	-
Heizanlagenmix ⁴	Heizöl	6,9 MW _{th}	2.350	0,12	2,02	0,21
Kohlekraftwerk ⁵	Steinkohle	70 MW _{th}	4.800	13	16	-

¹ Angaben Biomassekessel plus Spitzenlastkessel.

² Volllaststunden Stromerzeugung/Volllaststunden Wärmebereitstellung.

³ Verbrauchernahe 100 kW Kesselanlagen.

Quelle: KALTSCHMITT et al. (2000, S. 41).

⁴ Unterstellter Mix: 10% Heizwerke, 90% Zentralheizungen.

⁵ Anteilige Kosten für eine Feuerung.

Tabelle A.12: Modell RAUMIS: Jährliche Wachstumsraten für Erträge und resultierende Ertragsannahmen (Auszug des sektoralen Durchschnitts)

	Jährliche Wachstumsrate in %	Basisjahr 1995	Referenz 2005
		Durchschnittsertrag t/ha	
Winterweizen	1,3	6,97	7,93
Sommerweizen	1,2	5,43	6,12
Roggen	1,8	5,04	6,03
Wintergerste	1,1	5,85	6,53
Sommergerste	1,1	4,57	5,1
Hafer	1,7	4,58	5,43
Körnermais	1,2	7,5	8,45
Mengengetreide	1,7	5,6	6,63
Hülsenfrüchte	1,5	2,98	3,46
Zuckerrüben	1,5	50,4	58,49
Raps (inkl. Non-food-Raps)	2,4	2,84	3,6
Sonstige Ölfrüchte	2,4	2,21	2,8

Quelle: RAUMIS

Tabelle A.13: Modell RAUMIS: Jährliche Wachstumsraten für Erträge und resultierende Ertragsannahmen (Auszug des sektoralen Durchschnitts)

	Jährliche Wachstumsrate	Basisjahr 1995	Referenz 2005
	%	€/kg	€/kg
Stickstoff	0	0,57	0,57
Phosphor	0	0,63	0,63
Kalium	0	0,33	0,33
Kalk	0	0,03	0,03

	Jährliche Wachstumsrate	Preisindex	Preisindex
	%		
Pflanzenschutzmittel	1,5	1,24	1,44
Variable Energiekosten	0,0	0,74	0,74
Variable Reparaturkosten	2,5	1,39	1,78
Variable Kosten für sonstige Vorleistungen	2,5		
Saatgut	0,5	1,06	1,06
Abschreibungen	2,5	1,28	1,64

Quelle: RAUMIS.

223	Josef Kamphues und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2001) Tiernahrung - Ressourcen und neue Aufgaben	17,00€
225	Hans-Wilhelm Windhorst and Aalt A.Dijkhuizen (eds.) (2002) Product Safety and Quality Assurance	7,00€
226	Jörg Hartung and Christopher M. Wathes (eds.) (2001) Livestock Farming and the Environment	7,00€
227	Franz Ellendorff . Volker Moennig . Jan Ladewig and Lorne Babiuk (eds.) (2002) Animal Welfare and Animal Health	7,00€
228	Eildert Groeneveld and Peter Glodek (eds.) (2002) Animal Breeding and Animal Genetic Resources	7,00€
229	Volker Moennig and Alex B. Thiermann (eds.) (2001) Safeguarding Animal Health and in Global Trade	7,00€
230	Nežika Petric (2001) Pränatale Regulation des sexuellen Differenzierung von Luteinisierungshormon und Wachstumshormon, Genexpression und Sekretion beim Schwein	7,00€
231	Bernhard Osterburg und Hiltrud Nieberg (Hrsg.) (2001) Agrarumweltprogramme — Konzepte, Entwicklungen, künftige Ausgestaltung	7,00€
232	Kerstin Panten (2002) Ein Beitrag zur Fernerkundung der räumlichen Variabilität von Boden- und Bestandesmerkmalen	7,00€
233	Jürgen Krahl (2002) Rapsölmethylester in dieselmotorischer Verbrennung — Emmissionen, Umwelteffekte, Optimierungspotenziale	10,00€
234	Roger J. Wilkins and Christian Paul (eds.) (2002) Legume Silages for Animal Production — LEGSIL	7,00€
235	Torsten Hinz . Birgit Rönnpagel and Stefan Linke (eds.) (2002) Particulate Matter in and from Agriculture	7,00€
236	Mohamed A. Yaseen (2002) A Molecular Biological Study of the Preimplantation Expression of Insulin-Like Growth Factor Genes and Their Receptors in <i>In Vitro</i> Produced Bovine Embryos to Improve <i>In Vitro</i> Culture Systems and Embryo Quality	8,00€
237	Mohamed Ali Mahmoud Hussein Kandil (2002) The effect of fertilizers for conventional and organic farming on yield and oil quality of fennel (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.) in Egypt	7,00€
238	Mohamed Abd El-Rehim Abd El-Aziz Hassan (2002) Environmental studies on coastal zone soils of the north Sinai peninsula (Egypt) using remote sensing techniques	7,00€
239	Axel Munack und Jürgen Krahl (Hrsg.) (2002) Biodiesel — Potenziale, Umweltwirkungen, Praxiserfahrungen —	7,00€
240	Sylvia Kratz (2002) Nährstoffbilanzen konventioneller und ökologischer Broilerproduktion unter besonderer Berücksichtigung der Belastung von Böden in Grünausläufen	7,00€
241	Ulf Prübe and Klaus-Dieter Vorlop (eds.) (2002) Practical Aspects of Encapsulation Technologies	9,00€
242	Folkhard Isermeyer (Hrsg.) (2002) Milchproduktion 2025	9,00€

243	Franz-Josef Bockisch und Siegfried Kleisinger (Hrsg.) (2003) 13. Arbeitswissenschaftliches Seminar	8,00€
244	Anja Gassner (2003) Factors controlling the spatial specification of phosphorous in agricultural soils	9,00€
245	Martin Kücke (Hrsg.) (2003) Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) — Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen	7,00€
246	Jeannette van de Steeg (2003) Land evaluation for agrarian reform. A case study for Brazil	7,00€
247	Mohamed Faisal b. Mohd Noor (2003) Critical assessment of a ground based sensor technique for adressing the nitrogen requirements of cereals	7,00€
248	Esmat W. A. Al-Karadsheh (2003) Potentials and development of precision irrigation technology	8,00€
249	Andreas Siegfried Pacholsky (2003) Calibration of a Simple Method for Determinig Ammonia Votatilisation in the Field — Experiments in Henan, China, and Modelling Results	9,00€
250	Asaad Abdelkader Abdalla Derbala (2003) Development and evaluation of mobile drip irrigation with center pivot irrigation machines	9,00€
251	Susanne Freifrau von Münchhausen (2003) Modellgestützte Analyse der Wirtschaftlichkeit extensiver Grünlandnutzung mit Mutterkühen	8,00€
252	Axel Munack . Olaf Schröder . Hendrik Stein . Jürgen Krahl und Jürgen Bünger (2003) Systematische Untersuchungen der Emissionen aus der motorischen Verbrennung vom RME, MK1 und DK	5,00€
253	Andrea Hesse (2003) Entwicklung einer automatisierten Konditionsfütterung für Sauen unter besonderer Berücksichtigung der Tierleistung	8,00€
254	Holger Lilienthal (2003) Entwicklung eines bodengestützten Fernerkundungssystems für die Landwirtschaft	8,00€
255	Herwart Böhm . Thomas Engelke . Jana Finze . Andreas Häusler . Bernhard Pallutt . Arnd Verschwele und Peter Zwerger (Hrsg.) (2003) Strategien zur Regulierung von Wurzelunkräutern im ökologischen Landbau	10,00€
256	Rudolf Artmann und Franz-Josef Bockisch (Hrsg.) (2003) Nachhaltige Bodennutzung — aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht	9,00€
257	Axel Munack und Jürgen Krahl (Hrsg.) (2003) Erkennung des RME-Betriebes mittels eines Biodiesel-Kraftstoffsensors	5,00€
258	Martina Brockmeier . Gerhard Flachowsky und Ulrich von Poschinger-Camphausen (Hrsg.) (2003) Statusseminar Welternährung Beiträge zur globalen Ernährungssicherung	9,00€
259	Gerold Rahmann und Hiltrud Nieberg (Hrsg.) (2003) Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2002	8,00€
261	Katja Hemme-Seifert (2003) Regional differenzierte Modellanalyse der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung in Deutschland	7,00€

Viele frühere Sonderhefte sind weiterhin lieferbar.

Bei Interesse setzen Sie sich bitte mit Frau Röhm unter 0531-596-1403 oder landbauforschung@fal.de in Verbindung.