

NACHHALTIGER ANBAU VON BIOENERGIE – EINE ÖKONOMISCH-ÖKOLOGISCHE ANALYSE FÜR DAS UMWELTMINISTERIUM IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Elisabeth Angenendt, Angelika Konold, Rüdiger Jooß,
Enno Bahrs und Jürgen Zeddies

Elisabeth.Angenendt@uni-hohenheim.de



2010

*Vortrag anlässlich der 50. Jahrestagung der GEWISOLA
„Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politikanalyse“
Braunschweig, 29.09. – 01.10.2010*

Copyright 2010 by authors. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.

NACHHALTIGER ANBAU VON BIOENERGIE – EINE ÖKONOMISCH-ÖKOLOGISCHE ANALYSE FÜR DAS UMWELTMINISTERIUM IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Zusammenfassung

Im Rahmen des vorgestellten Forschungsvorhabens wurde eine Methode zur ökonomisch-ökologischen Analyse des Anbaus von Energiepflanzen unter Berücksichtigung von Naturschutzforderungen entwickelt. Hierzu wurde in Ergänzungen zu den derzeit geltenden naturschutzrechtlichen Rahmenbedingungen ein Maßnahmenkatalog erstellt der minimal erforderlich wäre, wenn das vielfach geäußerte Ziel, den Verlust an biologischer Vielfalt aufzuhalten, ernsthaft angestrebt werden soll.

Um diese Naturschutzvorgaben in das im Projekt verwendete ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM zu integrieren, wurden landwirtschaftliche Produktionsverfahren bzw. -einschränkungen definiert und die erforderlichen Flächenumfänge quantifiziert. Anhand von Modellrechnungen für das Prognosejahr 2015 wurde das Bioenergiepotenzial exemplarisch für zwei Untersuchungsregionen, eine Ackerbau- und eine intensive Futterbauregion, sowie für Baden-Württemberg insgesamt, abgeschätzt. Es zeigt sich, dass insbesondere die mehrjährigen Kulturen wie Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen einen großen Anteil an einer landwirtschaftlichen Energieproduktion ausmachen würden. Insgesamt führen die untersuchten Biomasseszenarien überwiegend zu einer Erhöhung der landwirtschaftlichen Deckungsbeiträge. Die Kosten des untersuchten Maßnahmenkataloges für einen „verbesserten Naturschutz“ würden auf betrieblicher Ebene unter den definierten Modellannahmen vergleichsweise gering ausfallen.

Keywords

Agrarumweltpolitik, Naturschutz, Bioenergie, ökonomisch-ökologische Analyse, Regionalmodell

1 Einleitung

Energie aus Biomasse bietet eine Alternative für eine nachhaltige Energieversorgung, die Klimaschutz und eine geringere Importabhängigkeit von fossilen Rohstoffen ermöglicht. Der Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg hat das Ziel die Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Land weiter voranzutreiben. Dabei steht ein ökologisch und ökonomisch möglichst sinnvoller Einsatz der Biomasse im Mittelpunkt.

Die Ausdehnung bioenergetisch nutzbarer Kulturen kann aber zu durchgreifenden Veränderungen in der landwirtschaftlichen Produktionsstruktur und der Flächennutzung führen. Dies birgt neben Potenzialen auch Risiken, sowohl für die Einkommenssituation der landwirtschaftlichen Betriebe, als auch für Natur und Umwelt.

Im Rahmen des vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojektes „Nachwachsende Energieträger und Biodiversität: naturschutzbezogene und ökonomische Entwicklung und Bewertung von Anbauszenarien (NawEnNat)“ werden Auswirkungen von Anforderungen des Naturschutzes an die Landbewirtschaftung auf regionaler Ebene untersucht. Anhand von Modellszenarien soll das Anbaupotenzial landwirtschaftlicher Bioenergieträger in Baden-Württemberg untersucht werden. Dabei wird neben den derzeit gültigen Naturschutzvorgaben auch ein Maßnahmenbündel für einen „verbesserten Naturschutz“ geprüft. Hierfür werden GIS-basierte Flächenanalysen und das ökonomisch-ökologische Regionalmo-

dell EFEM (Economic Farm Emission Model) eingesetzt. Die Analysen beziehen sich auf Acker- und Grünlandnutzung. Die Nutzung des Waldes wird nicht berücksichtigt. Die Randbedingungen für die Modellszenarien wurden in enger Zusammenarbeit mit einem projektbegleitenden Expertenkreis, der sich aus Vertretern der Wissenschaft, Ministerien, Behörden und Verbänden zusammensetzte, erarbeitet. Eine zentrale Forderung des Beirats war es, realitätsnahe Modellszenarien zu analysieren. Der nachfolgende Beitrag zeigt einen Teil der Projektergebnisse an ausgewählten Modellszenarien exemplarisch für eine Ackerbau- und eine Futterbauregion auf.

2 Methodik

Das Instrument der GIS-basierten Flächenanalyse wird in dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben für verschiedene Teilfragen eingesetzt (vgl. Abbildung 1). Zum einen werden die aus Naturschutzsicht notwendigen Anforderungen an die landwirtschaftliche Produktion in Form von Flächenbilanzen für ökologische Ausgleichsflächen (z.B. Blühstreifen) oder extensive Nutzungsformen quantifiziert und an das ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM übergeben (vgl. Kap 2.1). Zum anderen werden anhand von naturräumlichen Standortkriterien (z.B. Bodenart, Klima) Ausschlussflächen für Kulturen abgeleitet, wie z.B. für Körnermais und mehrjährige Kulturen.

Des Weiteren werden für jedes Szenario die Modellergebnisse von EFEM im Bereich der Pflanzenproduktion mit einer GIS-basierten Methode räumlich verteilt, um die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktionsstruktur auf das Schutzgut „Arten und Biotope“ sowie weitere Umweltwirkungen analysieren zu können (vgl. Kap. 5).

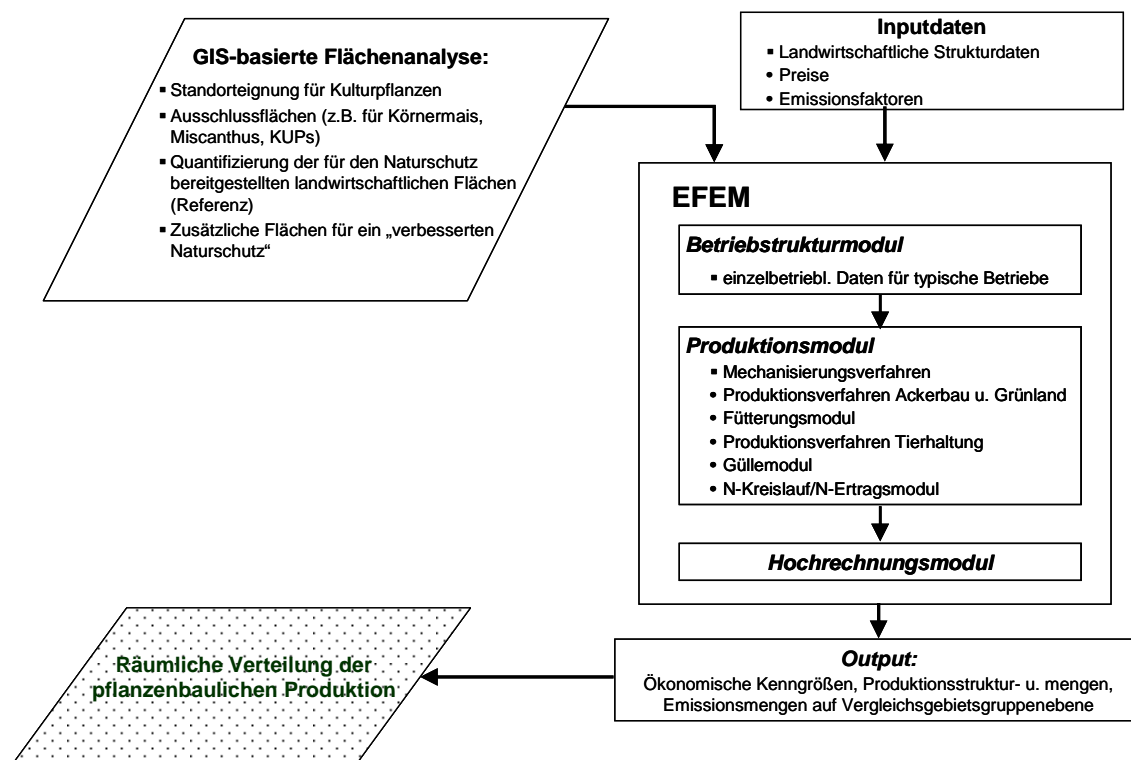


Abbildung 1: Analyseansatz zur Bewertung der nachhaltigen Bioenergieproduktion

2.1 Naturschutzfachliche GIS-Analyse

Um den Naturschutz in einem ökonomischen Regionalmodell berücksichtigen zu können, müssen die Naturschutzvorgaben für die Umsetzung landwirtschaftlicher Produktionsweisen bzw. Produktionsbeschränkungen definiert und deren Flächenumfänge quantifiziert werden.

Gemäß der Projektzielsetzung wurden hierfür die zwei nachfolgenden Maßnahmenpakete definiert.

A. „Naturschutz Referenz 2003“

Anhand dieser Analyse werden die Naturschutzvorgaben unter den derzeit geltenden Rahmenbedingungen dokumentiert und die damit verbundenen Flächenrestriktionen für die Modellrechnungen mit EFEM quantifiziert. Die Operationalisierung erfolgt im Wesentlichen über:

- Auswertung der MEKA (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichsprogramm) I und II Maßnahmen für das Antragsjahr 2003.
- Erfassung der vorherrschenden Nutzungsintensitäten auf den Grünlandflächen in Baden-Württemberg (KRISMANN und OPPERMANN, 2003)
- Annahme gesetzlich vorgeschriebener extensiver Nutzungsformen in Schutzgebieten (insb. Wasserschutzgebiete, Gewässerrandstreifen, Hochwasserkernbereiche, z.T. Natura2000-Gebiete)
- Abschätzung des Anteils an Biotopgrünland aus der §32-Biotopkartierung
- Abschätzung des Anteils an Saumstrukturen in der Agrarlandschaft anhand der §32-Biotopkartierung und einer stichprobenartigen Luftbildanalyse.

B. „Verbesserter Naturschutz“

In diesem Maßnahmenkatalog werden Anforderungen an die landwirtschaftliche Produktion definiert, die *mindestens* erforderlich wären, wenn das vielfach angesetzte Ziel, den Verlust an biologischer Vielfalt bis 2010 aufzuhalten (BMU 2007) bzw. einzudämmen (UM 2007), ernsthaft angestrebt werden soll („2010-Ziel“). Hierfür werden zusätzlich zu den rechtlich bindenden Vorgaben fachliche Empfehlungen für den Naturschutz in der Agrarlandschaft umgesetzt. Wesentliche Grundlagen sind die Arbeiten zur Konkretisierung der Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft (PLACHTER et al. 2005), die Ergebnisse des Modellprojekts Schorfheide-Chorin (FLADE et al. 2003) und die landesspezifischen Grundlagen des „Informationssystem Zielartenkonzept Baden-Württemberg“ (MLR und LUBW 2009).

Die qualitative Definition von Naturschutzmaßnahmen erfolgt über die Lebensraumsprüche von Zielarten der Agrarlandschaft. Als Zielarten werden i.d.R. sehr empfindliche Arten ausgewählt, da hiervon abgeleitete Schutzmaßnahmen gleichzeitig einer Vielzahl weiterer Arten mit ähnlichen Habitatansprüchen aber geringerer Empfindlichkeit zugute kommen. Man spricht auch von einem „Mitnahmeeffekt“ durch den Schutz besonders sensibler „Schirmarten“. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ausgewählten Zielarten.

Die Festlegung von Naturschutzzielen („Wie viel Naturschutz?“) ist ein normativer Vorgang, der im gesellschaftlichen Diskurs erfolgen muss. Erst wenn die Ziele benannt sind, kann mit wissenschaftlichen Methoden und Experteneinschätzungen ermittelt werden, welche Maßnahmen für die Zielerreichung erforderlich sind. Für das hier beschriebene Forschungsvorhaben wurde für die Festlegung der quantitativen Flächenumfänge für fördernde Maßnahmen die Bestandssituation der Zielarten des Zeitraums um 1980 gewählt. Zielzustände aus noch früheren Jahrzehnten anzustreben hätte der Zielvorgabe des Projekts realitätsnahe Szenarien zu analysieren sicher nicht entsprochen.

Neben diesen über Zielarten abgeleitete ökologische Aufwertungen wurden weitere „artenspezifische“ Naturschutzmaßnahmen berücksichtigt. Hierzu zählen Flächenforderungen für den Schutz von Auen und Gewässern sowie gesetzlich geschützte Biotope (§32 NatSchG) und für den Biotopverbund (§4 NatSchG). Sie werden hauptsächlich über extensive Nutzungsformen des Grünlandes umgesetzt.

Tabelle 1: Übersicht der Zielarten zur Ableitung von Flächenforderungen im Szenario „Naturschutz“.

Ackerland	Grünland		Strukturvielfalt der Landschaft
	Offenes Grünland	Streuobstgebiete ²	
	Grauammer (RL2) ¹		Rebhuhn (RL2) Neuntöter (RL V)
	Kiebitz (RL2)		
Feldlerche (RL3)	Großer Brachvogel (RL1) Braunkehlchen (RL1) Heller / Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling (RL1/3) Lilagold-Feuerfalter (RL3) Wantschrecke (RL3!)	Wendehals (RL2) Halsbandschnäpper (RL3) Steinkauz (RL V)	

¹ RL steht für Rote Liste. Quelle: Rote Liste Status Baden-Württemberg (Vögel: HÖLZINGER et al. 2007 (Stand 2004), Schmetterlinge: EBERT et al. 2008 (Stand 2004), Heuschrecken: DETZEL 1998).

(1 vom Aussterben bedroht, 2 stark gefährdet, 3 gefährdet, V Vorwarnliste, ! besondere Verantwortung)

² Dieser Lebensraumtyp wurde nicht explizit bearbeitet, da die Nutzung von Streuobstgebieten nicht in EFEM implementiert ist. In den Szenarien ist aber auch keine Umnutzung zugelassen, weshalb dies der Annahme eines landesweiten Bestandsschutzes entspricht.

Eine weitere Anforderung ist die räumliche Abbildung von Ausschlusskulissen für bestimmte Energiekulturen, von denen ein negativer Einfluss auf gefährdete Arten der Agrarlandschaft angenommen wird. Bspw. engen Kulturen mit mehreren Metern Wuchshöhe wie Kurzumtriebsplantagen oder Miscanthus die potentiellen Brutgebiete der Bodenbrüter der Agrarlandschaft (z.B. Feldlerche, Kiebitz, Großer Brachvogel) ein, da diese eine weiträumige Einsehbarkeit des Brutplatzes benötigen. Auch Landschaftsteile mit hoher Bedeutung für die Mobilität von Tieren und den Individuenaustausch (Biotopverbundräume, Auen) werden als Ausschlussgebiete für Kulturen mit hoher Barrierefunktion, bspw. durch große Wuchshöhe, festgelegt.

2.2 Ökonomisch-ökologisches Regionalmodell EFEM

Das ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM basiert auf statisch linearer Programmierung (LP) und ist ein Angebotsmodell. Die Betriebsmittel- und Erzeugerpreise sind dabei exogen vorgegeben. Ebenso die Kapazitätsgrenzen der im Modell abgebildeten Betriebe. EFEM kann sowohl auf betrieblicher Ebene, als auch auf regionaler Ebene eingesetzt werden. Die Regionalisierung erfolgt dabei durch die Hochrechnung der einzelbetrieblichen Ergebnisse (vgl. Abbildung 1).

Die Untergliederung Baden-Württembergs erfolgt bei der Modellierung mit EFEM nach Vergleichsgebietsgruppen. Hierbei wird das Land nach Gebieten ähnlicher natürlicher landwirtschaftlicher Ertragsfähigkeit unterteilt, wobei geologische, topographische und klimatische Begebenheiten den Ausschlag geben. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da die Datenanonymität der für die Modellierung benötigten einzelbetrieblichen Buchführungsdaten des Testbetriebsnetzes von Baden-Württemberg eine höhere regionale Auflösung nicht ermöglichen. Die Datensätze der Buchführungsabschlüsse werden dem Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre vom Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt. Die Einteilung und die Auswahl der typischen Betriebe erfolgt nach Betriebstypen anhand der EU-Klassifizierung. Die Kapazitäten der ausgewählten typischen Betriebe bilden die Grundlage für das **Betriebsstrukturmodul** und den Restriktionsrahmen des linearen Optimierungsprozesses.

Im **Produktionsmodul** von EFEM sind die pflanzenbaulichen und tierischen Produktionsverfahren integriert. Diese lassen sich hinsichtlich Erträgen, Intensitäten, Leistungen und Kosten regional unterscheiden. Neben den konventionellen Produktionsverfahren sind weitestgehend alle durch das Umweltprogramm MEKA geförderten Produktionsvarianten integriert. Einige der in EFEM berücksichtigten Ackerbaukulturen können sowohl über den Nahrungsmittel-/ Futtermittelmarkt, als auch über den Bioenergiepfad (vgl. Tabelle 2) abgesetzt werden. Bei der Berechnung der Deckungsbeiträge wurden Preis-, Ertrags- und Kostendurchschnitte über mehrere Jahre gebildet, um jährliche Schwankungen, besonders für das hier betrachtete Referenzjahr 2003 auszugleichen. In die Berechnung fließen alle variablen Kosten inklusive der Maschinenkosten ein. Bei der Grünlandbewirtschaftung werden die drei verschiedenen Bewirtschaftungssysteme Weide, Heu- und Silagenutzung unterschieden, die jeweils unterschiedliche Nutzungshäufigkeiten und Düngeintensitäten aufweisen.

Der Grünlandaufwuchs kann ebenfalls zur Biogasgewinnung verwendet werden. Auch bei den Grünlandverfahren wurden die MEKA-Fördermaßnahmen in EFEM integriert. Neben den einjährigen Kulturen werden im Bereich der Bioenergieproduktion Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen (Weiden + Pappeln) berücksichtigt. Sie dienen ausschließlich der thermischen Energiegewinnung.

Tabelle 2: Verwertungspfade für die einzelnen Kulturen

Kultur	Nahrungs-/ Futtermittel	Bioenergiepfad			
		Biogas-anlage	Verbrennung	Kraftstoff	Netto Energie produktion (kWh/ha) ¹
Getreide	X		X (nur Stroh)		20407 ³
Winterraps	X			X	12949
Sonnenblumen	X				
Zuckerrüben	X				
Kartoffeln	X				
Silomais	X	X			29382
Kleegras	X	X			25345
Dauergrünland	X	X			4270
Miscanthus			X		61966 ³
Kurzumtriebsplantagen (Weiden, Pappeln)			X		31930 ⁴

¹ Alle Werte gelten für die Vergleichsgebietsgruppe 1.

² Für Getreide wurde der DB von Winterweizen gewählt.

³ Werte für Winterweizenstroh, ³ mittlerer Ertrag, ⁴ mittlerer Ertrag für Pappeln

Quelle: eigene Berechnungen nach KTBL (2006) und KTBL Internetdatenbank, sowie GEMIS 4.5

Bei der Tierproduktion wird die Milchviehhaltung, inkl. Färsen zur Bestandsergänzung, weibliche und männliche Kälber, Bullenmast, Mutterkuhhaltung, die Veredlungsproduktion mit dem Produktionsschwerpunkt Schweinehaltung (Schweinemast und Zuchtsauen) und die Geflügelhaltung (Legehennenhaltung und Masthähnchenproduktion) in EFEM abgebildet.

Im Produktionsmodul sind auch die Komponenten zur Ermittlung der produktionsbedingten Emissionen (Klimagase und Ammoniak) integriert. Dabei werden die erwarteten Emissionen nach verschiedenen Produktionsbereichen unterschieden. Die Emissionen werden demnach je nach Entstehungsort dem vorgelagerten Bereich, der Landwirtschaft und dem nachgelagerten Bereich zugeordnet (TRIEBE, 2007).

Durch die Verknüpfung der beiden Teilmodule „Produktion“ und „Betriebsstruktur“ erhält man monetäre Erfolgsgrößen wie den betrieblichen Deckungsbeitrag, den Faktoreinsatz, Struktur und Mengen der landwirtschaftlichen Produktion sowie die hierbei entstehenden Umweltwirkungen.

Die Projektion der einzelbetrieblichen Ergebnisse auf die regionale Ebene erfolgt mit Hochrechnungsfaktoren, die mit Hilfe eines linearen Optimierungsansatzes ermittelt werden (*Hochrechnungsmodul*). Bei dieser Vorgehensweise werden die regionalen Kapazitäten, die der landwirtschaftlichen Regionalstatistik (Bodennutzungshaupterhebung, Viehzählung) entnommen werden, als Vektor dargestellt, der als Linearkombination der Vektoren der einzelbetrieblichen Kapazitäten den zuvor ausgewählten typischen Betriebe entspricht. Eine genaue Beschreibung dieser Vorgehensweise und von EFEM gibt Schäfer (2006).

3 Integration der Naturschutzziele in EFEM

Die durchzuführenden Maßnahmen werden in Form von Nutzungsvorgaben (z.B. max. Nutzungsfrequenz im Grünland) oder Flächenabzügen (z.B. Blühstreifen), in EFEM auf Ebene der 8 Vergleichsgebietsgruppen von Baden-Württemberg integriert. Eine Zusammenfassung der Maßnahmen auf Landesebene zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Pflanzenbauliche Maßnahmen für einen „verbesserten Naturschutz“ und deren Flächenanteile in Baden-Württemberg

Maßnahme	Erläuterung	Annahmen für „Naturschutz Referenz 2003“	Flächenforderung für Maßnahmenkatalog „verbesserten Naturschutz“
Ackerfläche		% der AF	% der AF
„Feldlerchenfenster“	Aussetzen der Saat auf 4x4 Meter, 2 „Fenster“ pro Hektar, sonst normale Bearbeitung (nur in Wintergetreide)	–	0,13
Extensivierte Ackerstreifen	keine Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln bei Getreide kombiniert mit größerem Drillabstand (24 cm) (ca. 10m Breite)	–*	2,17
Pufferstreifen um Biotop und Gewässerränder	keine Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmittel (20m um Biotop, 10m um Gewässer)	0,80 (Biotop)	1,77
		0,44 (Gewässer)	1,49
Anlage von Saumstrukturen / Blühstreifen	ökologische Aufwertungsflächen wie Ackersäume, oder Blühstreifen (5-10m Breite)	1,0**	2,56
Brache (2-3 jährig)	Ackerbrachen ohne Ansaat (inkl. Blänken / Flutmulden)	-	3,23
Aufweitung der Fruchtfolge	4 Kulturen / Kulturgruppen mit jew. mind. 15 % Anteil an der Ackerfläche, max. 40 % Mais	38,9	44,7
Mindestanteil an Winterstoppln	30% Flächenanteil Winterstoppln an den Kulturen	26,7	26,7
Grünland		% der GF	% der GF
Extensivierung	Verschiedene Ansprüche, Flächen mit: ▪ 1 Schnitt, keine Düngung ▪ 2 Schnitte, keine Düngung ▪ 2 Schnitte, Düngung max. 40 kgN/ha/Jahr		
		3,8	7,5
			3
		15,0 (2 Schnitte insg.)	22,6
Retentionsfläche	3 Schnitte, Düngung max. 40 kg N/ha/Jahr	22,3	29,9
Extensive Beweidung	1 Weidegang / Jahr, Besatzdichte max. 2.5 GVE / Hektar	1,31	2,4
Saumstreifen im Grünland	selten gemähte Gras-/Krautsäume (z.B. entlang von Gräben)	–	0,7

* Da die MEKA Maßnahme „Erweiterung des Drillreihenabstands“ nicht zugleich einen Verzicht auf Dünger und Pflanzenschutzmitteln erforderte, wurde der gewünschte Effekt der Weitständigkeit nicht erreicht. Deshalb wird der Flächenumfang 2003 nicht berücksichtigt.

** Schätzung anhand eigener Luftbilddauswertung.

Die hierbei an die pflanzenbauliche Produktion gestellten Anforderungen sind überwiegend deckungsgleich mit den im Rahmen des Baden-Württembergischen Agrarumweltprogramms MEKA geförderten Maßnahmen (MLR, 2009). Hierdurch war bereits eine Vielzahl der für den Maßnahmenkatalog „verbesserter Naturschutz“ definierten und angepassten pflanzenbaulichen Produktionsverfahren in EFEM integriert. Bei den erforderlichen Modellannahmen z.B. hinsichtlich möglicher Ertrags- oder Qualitätseinbußen der pflanzenbaulichen Produkte, die sich aus den naturschutzfachlichen Anforderungen ergeben, konnte im Rahmen des Forschungsprojektes auf zahlreiche wissenschaftliche Begleituntersuchungen von MEKA zurückgegriffen werden (z.B. KAZENWADEL, 1999, ZEDDIES und DOLUSCHITZ, 1996).

Die Flächenansprüche der für den Ackerbau geforderten Maßnahmen, die eine Herausnahme aus der regelmäßigen Nutzung erfordern (z.B. Brachen und Blühstreifen) summieren sich auf ca. 6% der landesweiten Ackerfläche. Weitere ca. 5% bedürfen einer extensivierten Bewirtschaftung, wobei die Gewässerrandstreifen (ca. 1,5%) vorwiegend dem Schutz der Gewässer vor Eutrophierung dienen. Die Forderungen nach einer Aufweitung der Fruchtfolge und Belassen von Winterstoppelein wurden im Referenzjahr bereits weitestgehend erfüllt, dies zeigte die Auswertung der MEKA-Daten.

Bei der Grünlandbewirtschaftung werden, im Vergleich zur Referenzsituation 2003 (in Anlehnung an KRISMANN und OPPERMAN, 2003) eine Verdoppelung des einschürigen Grünlands und der extensiven Beweidung sowie eine Zunahme des zweischürigen Grünlands mit reduzierter Düngung um ca. 50% und des dreischürigen Grünlands mit geringer Düngung um ca. 30% gefordert.

4 Abschätzung des Bioenergiepotenzials in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung verschiedener Naturschutzvorgaben

In einem ersten Schritt wurde EFEM auf das gewählte Referenzjahr 2003 kalibriert¹. Der Abgleich der modellierten Tierzahlen, Flächenanteile und der Flächennutzung mit den Daten der Agrarstrukturerhebungen 2003 des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg diente der Validierung der Abbildungsgüte von EFEM. Die Modellergebnisse zeigten bei der pflanzenbaulichen Produktion mit Abweichungen von max. 7 % eine gute Übereinstimmung mit den statistischen Daten. Lediglich beim Umfang der Brache kam es mit etwa 20 % zu deutlichen Abweichungen. Bei der tierischen Produktion führten die integrierten Stallplatzrestriktionen zu Abweichungen von höchstens 3 %.

Um die Auswirkungen der nachfolgenden Szenarien ohne den Einfluss der sich in der jüngsten Vergangenheit stark geänderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen beurteilen zu können und auch ein aktuelleres Bioenergiepotenzial abzuschätzen, wird die Datengrundlage von EFEM auf das Jahr 2015 fortgeschrieben (*BAU 2015*). Dieses Jahr wurde gewählt, da man insbesondere für die benötigten Input-Daten² auf sektorale Analysen im Rahmen des Health Checks zurückgreifen konnte (OFFERMANN et al. 2009, GÖMANN et al. 2009) und im Rahmen der Projektbearbeitung auch eine Einordnung der eigenen Ergebnisse durchgeführt wurde. Bei den Modellszenarien zur Biomasseproduktion gelten die gleichen Rahmenbedingungen. Die Fortschreibung der Preise für die in Tabelle 2 aufgeführten landwirtschaftlichen Bioenergie-träger wurde aus den Erzeugerpreisen für Nahrungs- und Futtermittel abgeleitet. Es wird von einer vollkommen elastischen Nachfrage ausgegangen. D.h., annahmegemäß können mit dem Anbau von Pflanzen gleichzeitig auch Biogasanlagen bzw. Verbrennungsanlagen für deren Verwertung erstellt werden. Aus Sicht der Energieproduktion je Hektar sind insbesondere die mehrjährigen Energiepflanzen vorteilhaft (vgl. Tabelle 2). Die Ansprüche an den naturräumlichen Standort (z.B. Wasserbedarf, Temperatur) sind aber insbesondere bei Miscanthus recht

¹ Leider lag zum Beginn des Forschungsprojektes Mitte 2007 noch keine aktuellere Datengrundlage vor.

² Die benötigten Betriebsmittel- und Erzeugerpreise von 2015 wurde von Frau Petra Salamon, Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik, Johann Heinrich von Thünen-Institut zur Verfügung gestellt.

hoch. Aus diesem Grund wurden mit Hilfe der naturräumlichen GIS-Analyse Ausschlussflächen für diese Kulturen auf Vergleichsgebietsgruppenebene bestimmt. Als Flächenrestriktion für den Rest der zur Verfügung stehenden Ackerfläche gilt dann, dass die Landwirte bei den beiden Biomassesszenarien Biomasse- und Naturschutzszenario auf maximal 30 % ihrer geeigneten Ackerfläche mehrjährige Kulturen anbauen können. Die restliche Fläche kann entweder zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln oder für einjährige Energiepflanzen genutzt werden. Bei den Szenarien **BAU 2015** und **Biomasse** gelten die derzeitigen gesetzlichen Naturschutzvorgaben. Im **Biomassesszenario** ist der Grünlandumbruch auf maximal 5% des Dauergrünlandanteils zulässig. Mit Hilfe des Naturschutzszenarios **Biomasse/Natur+** soll das Biomassepotenzial unter verbesserten Naturschutzvorgaben untersucht werden, d.h. unter den Mindestanforderungen an die landwirtschaftliche Produktion, die erforderlich wären um den Verlust an biologischer Vielfalt einzudämmen (vgl. Kapitel 2.1). Dabei müssen die in Tabelle 3 aufgeführten Flächen- und Produktionsrestriktionen eingehalten werden. Zudem wurde für das Naturschutzszenario eine weitere Ausschlussmaske für die mehrjährigen Kulturen erstellt, die neben den klimatischen Kriterien auch naturschutzfachliche Kriterien berücksichtigt.

Die Ergebnisse werden exemplarisch für die Untersuchungsregionen Unterland/Gäue (VGG 1) und Allgäu (VGG 5) sowie Baden-Württemberg insgesamt dargestellt. Die Region Unterland/Gäue wurde ausgewählt, da es sich dabei um ein für Baden- Württemberg typisches Ackerbaugebiet handelt. Das Allgäu dagegen ist ein intensives Futterbaugebiet. Anhand dieser beiden Regionen lässt sich gut darstellen, welche Auswirkungen z.B. der Anbau mehrjähriger Kulturen oder die Naturschutzrestriktionen auf die vorherrschenden Betriebstypen Ackerbau und Futterbau haben.

Vergleicht man die pflanzenbauliche Produktion des Szenarios **BAU 2015** mit den Biomassesszenarien lassen sich für die Ackerbauregion VGG 1 folgenden Änderungen festhalten: Die zur Verfügung stehende Fläche für Miscanthus wird vollständig, für Kurzumtriebsplantagen im reinen Biomassesszenario zu etwa 3% und im Naturschutzszenario zu etwa 4% ausgeschöpft. Hierdurch kommt es zur Reduzierung des Anbaus von Winter- und Sommergetreide, Zuckerrüben, Winterraps, Klee gras und Körnermais. Der Anbau der einjährigen Bioenergie- und Futterpflanze Silomais wird stark ausgedehnt.

Hinsichtlich der Anbaustrukturen in VGG 1 unterscheiden sich die beiden Biomassesszenarien hauptsächlich hinsichtlich des Getreideanbaus, der im Naturschutzszenario nicht so stark eingeschränkt wird, wie im Biomassesszenario. Im Szenario **Biomasse/Natur** wird der Klee grasanbau ebenfalls weniger stark eingeschränkt und der Silomaisanbau sogar noch ausgedehnt. Dies ist mit den Naturschutzrestriktionen im Grünland und damit der Einschränkung der Futtergrundlage zu erklären.

Im **Biomassesszenario** für die Futterbauregion VGG 5 ist bei den mehrjährigen Kulturen wegen der Ausschlussmasken nur der Anbau von Kurzumtriebsplantagen möglich. Dieser wird auf etwa 7% der geeigneten Fläche durchgeführt. Aufgrund des in diesem Szenario möglichen Grünlandumbruchs, nimmt die Ackerfläche vergleichsweise stark zu und die Anbauumfänge von Wintergetreide, Mais und Klee gras werden ausgedehnt. Lediglich der Anbau von Sommergetreide wird eingeschränkt. Der Winterraps wird vollständig für die Biodieselproduktion verwendet. Nur ein geringer Teil des Silomais wird für die Energieproduktion angebaut. Der größere Teil wird verfüttert.

Im Szenario **Biomasse/Natur+** werden in VGG 5 ebenfalls auf etwa 7% der geeigneten Fläche Kurzumtriebsplantagen angebaut. Mit Ausnahme des Klee grasanbaus nehmen die Anbauumfänge aller Kulturen ab. Der Klee grasanbau wird aufgrund der Naturschutzrestriktionen im Grünland ausgedehnt und dient der Lieferung von Grundfutter.

Betrachtet man die Anbauumfänge auf der Ebene von Baden-Württemberg, so ergeben sich für beide Szenarien im Wesentlichen die gleichen Änderungen wie in der Ackerbauregion VGG 1.

In der Tierhaltung bleibt die Anzahl der genutzten Tiere in beiden Szenarien relativ konstant und entspricht der Tieranzahl im BAU 2015-Szenario.

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass die erzielten Deckungsbeiträge in den beiden Biomasseszenarien überwiegend ansteigen. Nur in der Futterbauregion VGG 5 sinken die Deckungsbeiträge tendenziell im Szenario *Biomasse/Natur+*. Die Ackerbauregion profitiert stärker, als die Futterbauregion, da ihre Anpassungsmöglichkeiten größer sind und dort der Anbau von mehrjährigen Kulturen sowie der Verkauf von Stroh in einem größeren Umfang möglich sind. Durch die im Szenario *Biomasse/Natur+* formulierten Anforderungen an die landwirtschaftliche Produktion fällt der Deckungsbeitragsanstieg etwas geringer aus, als im Biomasseszenario. Auf Ebene von Baden-Württemberg würde dieser Unterschied etwa 6 % betragen.

Im reinen Biomasseszenario verlieren die MEKA-Maßnahmen, die geringere Erträge zur Folge haben, trotz Ausgleichszahlungen in VGG 1 und VGG 5 an relativer Vorzüglichkeit. In Baden-Württemberg ist eine leichte Zunahme zu verzeichnen. Im Szenario *Biomasse/Natur+* nimmt die Nutzung der MEKA-Förderung wieder zu und steigt in der Ackerbauregion und in Baden-Württemberg sogar über den Wert des BAU 2015-Szenarios an. Dieser Effekt erklärt sich dadurch, dass im Szenario *Biomasse/Natur+* durch die Naturschutzforderungen ein gewisser Flächenumfang an MEKA-Verfahren fest vorgegeben ist.

In Bezug auf das Energiepotenzial verdeutlicht Tabelle 5, dass in beiden Szenarien sowohl im Unterland/Gäue, als auch im Allgäu und in Baden-Württemberg insgesamt eine starke Zunahme zu verzeichnen ist. Tendenziell ist die Energieproduktion im Szenario *Biomasse* etwas höher, als im restriktiveren Szenario *Biomasse/Natur+*. Das Energiepotenzial des *Biomasse-Szenarios* für gesamt Baden-Württemberg entspräche einem Anteil am Primärenergiebedarf von über 6%. Allerdings würde sich damit auch der Selbstversorgungsgrad mit landwirtschaftlichen Produkten in Baden-Württemberg verschlechtern. Der größte Anteil des Energiepotenzials stammt dabei mit etwa 34 % aus dem Anbau von Miscanthus.

Die Treibhausgasemissionen sind ebenfalls in Tabelle 5 dargestellt. In der Ackerbauregion VGG 1 sinken die Emissionen im vorgelagerten Bereich und in der Landwirtschaft in beiden Biomasseszenarien im Vergleich zum BAU 2015, da der Anbau der mehrjährigen Kulturen weniger düng- und pflegeintensiv ist. Im nachgelagerten Bereich steigen die Emissionen aufgrund der Verbrennung von Holz, Miscanthus- und Getreidestroh an. Ohne Berücksichtigung der Gutschrift durch Energiepflanzen nehmen die THGE zu, mit Berücksichtigung ist eine starke Reduktion der Emissionen möglich. Selbst wenn der Grünlandumbruch des Szenarios *Biomasse* in die Bilanz aufgenommen wird, kann in VGG 1 noch ein negatives Treibhausgasbilanzsaldo verzeichnet werden. In VGG 5 steigen die Emissionen im Szenario *Biomasse* in den einzelnen Bereichen an, da durch den Grünlandumbruch mehr Ackerfläche zur Verfügung steht und somit die verwendete Düngermenge zunimmt. Durch die THGE-Gutschrift des Energiepflanzenanbaus wird die Bilanz der Emissionen etwas besser, bezieht man allerdings den Grünlandumbruch mit ein, verschlechtert sich die Bilanz wieder. Ein vollständiger Ausgleich des Bilanzsaldos findet nicht statt. Die Entwicklungen des Szenarios *Biomasse/Natur+* in VGG 5 sind denen in VGG 1 ähnlich. Auf Ebene Baden-Württembergs betrachtet verhält sich das Szenario *Biomasse* ebenso wie in VGG 5, jedoch ist unter Einbeziehung des Energiepflanzenanbaus und des Grünlandumbruchs noch eine Kohlenstoffspeicherung möglich. Das Szenario *Biomasse/Natur+* verhält sich in Baden-Württemberg wie in VGG 1. Auch hier ist eine geringe Kohlenstoffspeicherung gegeben.

5 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Ein sehr überraschendes Ergebnis der Modellrechnungen war der Umfang der mehrjährigen Kulturen. In Folge der für 2015 prognostizierten hohen Preise für Betriebsmittel sind die mehrjährigen Kulturen aus betriebswirtschaftlicher Sicht äußerst attraktiv geworden. Vor allem der Anbau von *Miscanthus* wurde in der Marktfruchtregion bis auf das gesetzte Maximum der Flächenrestriktion ausgedehnt. In der Realität spielt bei den Landwirten bei einer Entscheidung über den Anbau von mehrjährigen Kulturen die langfristige Festlegung bei der Anbauplanung sicherlich eine größere Rolle, als rein betriebswirtschaftliche Aspekte. Für den Anstieg der Deckungsbeiträge in den beiden Biomasseszenarien ist auch die Option der Reststoffverwertung von Stroh zur Wärmeengewinnung relevant. Damit diese Option aber nicht zu einer Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes im Boden führt, wurde bei den Modellrechnungen die Bedingung einer ausgeglichenen Kohlenstoffbilanz im Rahmen von Cross Compliance berücksichtigt. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht führen die naturschutzfachlichen Anforderungen an die landwirtschaftliche Produktion im Szenario *Biomasse/Natur+* mit Deckungsbeitragsrückgängen von max. 6 % in der Ackerbauregion zu vergleichsweise geringen Rückgängen im Vergleich zum Szenario *Biomasse*. In der Realität würden diese Kosten für die hier angenommenen Naturschutzmaßnahmen mit Sicherheit höher ausfallen, da der verwendete Optimierungsansatz die Anpassungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe überschätzt. Hinzu kämen noch mögliche staatliche Transferleistungen als Anreizfunktionen und Kosten für einen potenziellen Überwachungsaufwand der einzuhaltenden Naturschutzleistungen. Diese Größen lassen sich aus dem hier verwendeten Analyseansatz nicht ableiten

Da es sich bei EFEM um ein statisch lineares Programmierungsmodell mit exogen vorgegebenen Preisen handelt, wird vermutlich die Anbaufläche der Bioenergiepflanzen überschätzt. Eine so starke Einschränkung der Lebensmittel- und Futtermittelproduktion, wie es die Modellergebnisse zeigen, würde in der Realität zu Preissteigerung dieser Produkte führen. Da diese Preisinterdependenzen mit dem Modellansatz nicht abgebildet werden können, sind Sensitivitätsrechnungen mit unterschiedlichen Preisannahmen unerlässlich und wurden im Rahmen des Forschungsprojektes³ auch durchgeführt.

Die gezeigte Verknüpfung von naturschutzfachlichen Restriktionen mit agrarökonomischen Abschätzungen liefert als Ergebnis die Veränderung der regionalen Anbaustruktur. Diese sind aber per se nicht räumlichen differenziert. D.h. die Anbauumfänge der Kulturen liegen aggregiert auf Ebene der Vergleichsgebietsgruppen vor. Hinsichtlich mehrerer Aspekte erweist sich eine Abbildung der Anbauumfänge in ein räumliches Verteilungsmuster als sinnvoll: neben der Visualisierung können - abhängig von der Güte der Verteilprozedur – Konflikte zu Natur- und Ressourcenschutzzielen aufgedeckt oder aber standortbezogene Stoffbilanzmodelle den veränderten Landnutzungsmustern nachgeschaltet werden. Hierzu wurde im Projekt eine Methode entwickelt, die aus den Vergleichsgebietsumfängen flächendeckend für Baden-Württemberg ein Landnutzungsmuster im 1-ha-Raster erzeugt. Hierdurch lassen sich die mit EFEM ermittelten pflanzenbaulichen Produktionsverfahren mit naturräumlichen Parametern wie Bodenarten und Klimaparameter verschneiden und können für weitere ökologische Analysen genutzt werden. Diese wurde im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsprojektes vom Institut für Bodenkunde der Universität Hohenheim vorgenommen.

³ Ein ausführlicher Forschungsbericht wird voraussichtlich Ende 2010/Anfang 2011 auf der Homepage des Projektträgers Karlsruhe (PTKA): <http://www.ptka.kit.edu/bwp/> zu finden sein.

Tabelle 5: Vergleich der berechneten Modellszenarien

		VGG 1			VGG 5			Baden-Württemberg		
		BAU 2015	Biomasse	Biomasse/ Natur+	BAU 2015	Biomasse	Biomasse/ Natur+	BAU 2015	Biomasse	Biomasse/ Natur+
Deckungsbeitrag insgesamt	Mio. €	227	294	270	110	115	110	1835	2169	2058
	€/ha	1001	1296	1190	2224	2312	2221	1329	1570	1490
<i>Veränderung zu BAU_2015</i>	%		29,5	18,9		4,0	-0,1		18,2	12,1
Förderung MEKA	Mio. €	16	15	23	6	5	5	120	125	157
	€/ha	71	68	100	112	106	111	87	91	114
<i>Veränderung zu BAU_2015</i>	%		-5,2	39,7		-5,6	-1,1		3,9	30,6
Energieproduktion	TJ	942	20689	15755	35	1570	1160	4922	99461	79373
<i>Veränderung zu BAU_2015</i>	%		2097,0	1573,0		4376,0	3208,0		1921,0	1513,0
Anteil am Primärenergiebedarf Baden-Württembergs	%							0,31	6,21	4,95
vorgelagerter Bereich	1000 t CO ₂ e	218,3	164,3	176,1	10,3	12,0	8,4	843,0	673,9	606,0
Landwirtschaft	1000 t CO ₂ e	707,1	624,8	652,4	372,8	396,1	388,1	5268,0	5305,6	5231,9
nachgelagerter Bereich	1000 t CO ₂ e	9,9	156,2	121,7	0,2	6,4	4,6	47,1	706,6	568,8
Treibhausgasemissionen insgesamt	1000 t CO ₂ e	935,3	945,3	950,2	383,3	414,5	401,1	6158,1	6686,1	6406,7
	t CO ₂ e/ha	4,1	4,2	4,2	7,7	8,4	8,1	4,5	4,8	4,6
<i>Veränderung zu BAU_2015</i>	%		1,1	1,6		8,2	4,7		8,6	4,0
Gutschrift Energiepflanzen	1000 t CO ₂ e	-114,1	-1900,0	-1504,1	-2,5	-75,3	-53,8	-517,5	-8395,6	-6911,3
Bilanz mit Energiepflanzen	1000 t CO ₂ e	821,2	-954,7	-553,9	380,7	339,2	347,3	5640,5	-1709,5	-504,6
	t CO ₂ e/ha	3,6	-4,2	-2,4	7,7	6,8	7,0	4,1	-1,2	-0,4
<i>Veränderung zu BAU_2015</i>	%		-216,3	167,5		-10,9	-8,8		-130,3	-108,9
CO₂ Freisetzung durch Grünlandumbruch	1000 t CO ₂ e		34,9			50,1			572,2	
Bilanz mit Grünlandumbruch und Energiepflanzen	1000 t CO ₂ e		-919,8			389,3			-1137,3	
	t CO ₂ e/ha		-4,1			7,9			-0,8	

Literatur

- DETZEL, P. (1998): Die Heuschrecken Baden-Württembergs. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- EBERT, G.; HOFMANN, A.; KARBIENER, O.; MEINEKE, J.-U.; STEINER, A. & R. TRUSCH (2008): Rote Liste und Artenverzeichnis der Großschmetterlinge Baden-Württembergs (Stand: 2004). LUBW Online-Veröffentlichung
- FLADE, M.; PLACHTER, H.; HENNE, E. und ANDERS, K. (Hrsg.) (2003): Naturschutz in der Agrarlandschaft. Ergebnisse des Schorfheide-Chorin-Projektes. Saarbrücken, 388 S.
- GEMIS 4.5: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.5. Institut für angewandte Ökologie e.V. (Öko-Institut) Freiburg. Freie Software. <http://www.oeko.de/service/gemis/>, Abrufdatum: 14.7.2010.
- GÖMANN, H., KLEINHANß, W., KREINS, P., LEDEBUR, VON. O., OFFERMANN, F., OSTERBURG, B. und SALAMON, P. (2009): Health Check der EU-Agrarpolitik- - Auswirkung der Beschlüsse. Studie im Auftrag des BMELV. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 1/2009.
- HÖLZINGER, J.; BAUER, H.-G.; BERTHOLD, P.; BOSCHERT, M.; MAHLER, U. (Bearb.) (2007): Rote Liste und kommentiertes Verzeichnis der Brutvogelarten Baden-Württembergs. 5. Fassung. Stand 31.12.2004.
- KAZENWADEL, G. (1999): Ökonomisch/ökologische Beurteilung von regionalen Agrar- und Umweltprogrammen in der Europäischen Union. Agrarwirtschaft Sonderheft 162, Agri-media Verlag, Bergen/Dumme.
- KRISMANN, A., OPPERMAN, R. (2003): Evaluierung artenreiches Grünland in Baden-Württemberg. In: Oppermann, R. & H.-U. Gujer (Hrsg.): Artenreiches Grünland bewerten und fördern – MEKA und ÖQV in der Praxis. Stuttgart, 199 S.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2006): Energie-pflanzen, KTBL-Datensammlung mit Internetangebot, Darmstadt.
- MLR [MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG] (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestaltungsverfahren. Heft 31.
- MLR [MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG] UND LUBW [LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ] (HRSG.) (2009): Informationssystem Zielartenkonzept Baden-Württemberg, Planungswerkzeug zur Erstellung eines kommunalen Zielarten- und Maßnahmenkonzepts Fauna. In: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- MLR [MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG] (2009): MEKA III – Ein Agrarumweltprogramm mit sichtbaren Folgen. Drucknummer: MLR 08-2009-25.
- OFFERMANN, F., BROCKMEIER, M. GÖMANN, H., KLEINHANß, W., KREINS, P., LEDEBUR, VON. O., OSTERBURG, B., PELIKAN, J., und SALAMON, P. (2009): vTI-Baseline 2008. vTI Sonderheft 325.
- PLACHTER, H.; STACHOW, U. und WERNER, A. (2005): Methoden zur naturschutzfachlichen Konkretisierung der „Guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft. In: Naturschutz und Biologische Vielfalt 7. Bonn, 330 S.
- SCHÄFER, M. (2006): Abschätzung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft Baden-Württembergs und Bewertung von Minderungsstrategien unter Nutzung eines ökonomisch-ökologischen Regionalmodells. Shaker Verlag, Aachen.
- TRIEBE, S. (2007): Möglichkeiten zur Verminderung von Treibhausgasen aus der Landwirtschaft in den Bundesländern Brandenburg und Niedersachsen. Josef EUL Verlag, Lohmar - Köln.
- UM – UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2007): Umweltplan 2007 – 2012.
- ZEDDIES, J. und R. DOLUSCHITZ (1996): Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA) - Wissenschaftliche Begleituntersuchung zu Durchführung und Auswirkungen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.