



Endbericht für das DBU-Projekt:

„Wege zur naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen für Biogasanlagen: Verfahren, Betriebe, Rahmenbedingungen“



AZ 23559 – 33/0

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg

Institut für Sozioökonomie:

Prof. Dr. Klaus Müller, Dr. Peter Zander, Dr. Götz B. Uckert, Dipl.-Ing. Johannes Schuler

Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie:

Dr. Armin Werner, Dipl.-Ing. Johannes Hufnagel, Dr. Michael Glemnitz,
Dipl.-Ing. Claudia Sattler

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung.....	5
1.1 Problemstellung.....	5
1.2 Zielstellung.....	6
1.3 Rahmenbedingungen	7
1.3.1 Aktuelle Nutzung von Biomasse und Energiepflanzenanbau für Biogas	7
1.3.2 Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Biogaspfades.....	9
1.3.3 Standortcharakterisierung	10
1.4 Projekt	12
1.4.1 Forschungsfragen und Lösungsansätze des Projekts:	12
1.4.2 Projektstruktur	13
1.4.3 Arbeitsprogramm.....	13
2 Material und Methoden.....	17
2.1 Die Praxisbetriebe.....	17
2.1.1 Ziltendorfer Niederung	17
2.1.2 Dolgeln.....	18
2.1.3 Kieselwitz	19
2.2 Akteursgestützte Modellierung.....	20
2.2.1 Ablauf der Zusammenarbeit mit den Akteuren Landwirtschaft, wissenschaftliche Experten und Naturschutzvertreter	20
2.2.1.1 Übergreifende Zielstellungen der Akteursbeteiligung:.....	22
2.2.1.2 Einbindung der Unteren Naturschutzbehörde (UNB)	22
2.2.1.3 Ableitung naturschutzfachlicher Anforderungen	24
2.2.2 Die Workshops.....	28
2.2.2.1 Workshop 1: „Fachgespräch zu Energiepflanzen-Fruchtfolgen“ am 29.08.06	28
2.2.2.2 Workshop 2: „Fachgespräch Modellszenarien“ am 23.05.07	31
2.2.2.3 Workshop 3: Fachgespräch „Neue Energiepflanzen-Produktionsverfahren“ am 04.07.07	34
2.2.2.4 „Abschlussworkshop“ am ZALF	35
2.2.3 Einzeltreffen und Einzelgespräche	35
2.3 Das Modell MODAM	37
2.3.1 Modellstruktur und Datenbanken	38
2.3.1.1 Überblick	38
2.3.1.2 Detaillierte Beschreibung des Modellierungsablaufs	39
2.3.1.3 Die integrierte Analyse (LP-Betriebsmodell)	41
2.3.2 Vorhandene Produktionsverfahren und Datenherkunft	42
2.4 Aufbau des Biogasmoduls in MODAM	43
2.4.1 Modellstruktur Biogasmodul.....	43
2.4.2 Die Biogausausbeute der Produktionsverfahren.....	44
2.4.3 Modellierete Leistungsklassen	49
2.4.4 Substratmischungsfunktion des Biogasmoduls	50

2.4.5	Beitrag der Fachgespräche zur Modellierung und Entwicklung des Biogasmoduls	53
2.4.6	Modellierung des Wirtschaftsdüngermoduls.....	54
2.5	Ökologische Bewertung in MODAM	55
2.5.1	Ausgangsüberlegungen zur ökologischen Bewertung.....	55
2.5.2	Ablauf der ökologischen Bewertung in MODAM	56
2.5.3	Aussagekraft der Ergebnisse der ökologischen Bewertung	58
2.6	Bewertung der Verfahren aus Klimaschutzsicht	59
2.6.1	Energiebilanz.....	59
2.6.1.1	Einleitung	59
2.6.1.2	Vorgehen bei der Erstellung des Energiebilanz-Moduls.....	60
2.6.1.3	Tiefe der Wertschöpfungskette	61
2.6.2	Treibhausgasrelevante Emissionen	61
2.7	Energiepflanzen-Produktionsverfahren: Entwicklung und Bewertung.....	62
2.7.1	Entwicklung und Anpassung der MODAM-Datenbank.....	63
2.7.1.1	Aufnahme neuer Energiepflanzen-Produktionsverfahren für den Betriebszweig Biogasanlagen	63
2.7.1.2	Abfragen der betrieblichen Produktionsverfahren	64
2.7.1.3	Entwicklung neuer Anbauverfahren	64
2.8	Aufbau der Szenariorechnungen	66
2.8.1	Ökonomische und ökologische Analyse der betrieblichen Lösungen	66
2.8.2	Lösungsraum des Modellsystems.....	67
2.8.2.1	Aggregation von ökologischen Indikatoren.....	67
2.8.2.2	Produktionsverfahren und Mehrzieloptimierungssysteme.....	68
2.8.2.3	Methanhektarerträge und ökologische Parameter für die Verfahren.....	69
2.8.3	Modellbetriebe in den Modellierungsläufen.....	72
2.8.4	Rahmenbedingungen	74
2.8.4.1	Szenarien für Preisentwicklungen.....	74
2.8.4.2	Förderkulisse.....	75
2.8.4.3	Annahmen unter dem Lib-Szenario	77
2.8.5	Entwicklung und Ausgestaltung der Szenarien in den Modellierungsphasen	77
2.8.5.1	Überblick über die Szenarien in den Modellierungsphasen	78
2.8.5.2	Erläuterungen Szenariomentwicklung	78
3	Ergebnisse	83
3.1	Ergebnisse der ökonomischen Partialanalyse/Verfahrensebene.....	83
3.1.1	Darstellung ausgewählter Verfahren	83
3.1.2	Überlegungen zur Rentabilität von Grenzertragsstandorten.....	87
3.2	Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Produktionsverfahren.....	89
3.2.1	Vergleich Getreideproduktion mit Ganzpflanzensilage für Biogasanlagen ...	89
3.2.2	Vergleich Sonnenblumenproduktion (Samenernte) mit Sonnenblumenganzpflanzensilage für Biogasanlagen.....	90
3.2.3	Vergleich herkömmliches Silomaisverfahren mit einem Zweikulturnutzungsverfahren (Winterroggen - Silomais)	91
3.2.4	Vergleich Energiepflanzen und Stilllegung.....	93

3.2.5	Fazit Bewertung Energiepflanzen im Vergleich mit Standardverfahren	93
3.3	Gesamtbetriebliche Betrachtung: ökonomische und ökologische Analyse der Szenariorechnungen	94
3.3.1	Ergebnisse der ersten Modellierungsphase (A und B)	94
3.3.1.1	Modellbetrieb K1	94
3.3.1.2	Praxisbetriebe	96
3.3.1.3	Schlussfolgerungen aus der Modellierungsphase B für die Modellweiterentwicklung und Validierung in Phase C.	101
3.3.2	Ergebnisse aus den betriebsspezifischen Szenariorechnungen in Modellierungsphase C.....	103
3.3.2.1	Betrieb K0 (ohne Biogasanlage und ohne Tierproduktion).....	103
3.3.2.2	Betriebe K0 und K1	103
3.3.2.3	Substrateinsatz in der Biogasanlage der Betriebe K1 und K2.....	105
3.3.2.4	Modellbetriebe im Lib-Szenario	106
3.3.3	Parametrisierungen in der Modellierungsphase C	108
3.3.3.1	Parametrisierung der Biogasausbeute (BGA)	108
3.3.3.2	Korrektur der Fixkostenbelastung	112
3.3.3.3	Änderungen der Flächennutzung der Betriebe K1 und K2 bei Preisänderungen und unterschiedlichen Biogasausbeuten	113
3.3.3.4	Parametrisierung des Preises.....	116
3.3.3.5	Biogas-Kennzahlenanalyse	119
3.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse aus Modellierungsphase C	125
3.4	MODAM-Anwendungen auf spezielle ökologische Modellierungsaufgaben – Trade-offs	125
3.4.1	Anwendungsfelder (Modellierungsphase D).....	125
3.4.2	Modellimmanente Einschränkungen bei der Auswahl des Anwendungsfeldes	126
3.4.3	Auswirkungen von abiotischen Restriktionen auf die DB der Betriebe.....	127
4	Diskussion und Empfehlungen	131
4.1	Auswirkungen neuer Energiepflanzen auf Ökologie und Naturschutz	131
4.2	Energiepflanzenanbau und biologische Vielfalt	133
4.2.1	Chancen und Risiken der Energiepflanzen für den Artenreichtum.....	134
4.2.2	Kulturartenvielfalt und die Fruchtfolgerestriktionen in MODAM	135
4.2.3	Fazit zu Auswirkungen des Energiepflanzen-Anbaus auf die biologische Vielfalt.....	137
4.3	Energiepflanzenanbau und Intensivierung	138
4.3.1	Ausdehnung des Maisanbaus.....	139
4.3.2	Auswirkungen der Ausdehnung der Biogasproduktion auf Betriebs- und Landschaftsebene	140
4.3.3	Fazit der Auswirkungen von Biogasanlagen auf die Intensität der Landnutzung	142
4.4	Empfehlungen.....	144
4.4.1	Forschung und Administration.....	144
4.4.2	Praxis.....	146
5	Literatur.....	147

6 Anhang..... i

Abbildungszeichnis

Abb. 1-1: Gliederung der Zielstellung	6
Abb. 1-2: Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2006 .	8
Abb. 1-3: Verteilung der Ackerflächen in den Landbaugebieten (gemeindebezogen).	11
Abb. 1-4: Niederschlagsverteilung in Deutschland. Quelle: Wendland et al. 1993	12
Abb. 1-5: Modellierungs- und Projektphasen (Beschreibung s. Kap. 2.8.5)	15
Abb. 2-1: Auswahlprozess relevanter Flächentypen für die Modellierung	32
Abb. 2-2: Management-Regelkreis	34
Abb. 2-3: Struktur von MODAM: Dreistufige, integrierte ökonomische und ökologische Analyse der Nachhaltigkeit von Landnutzungssystemen	39
Abb. 2-4: Aufbau des Biogasmoduls.....	43
Abb. 2-5: Von der Gesamtenergie zur Nettoenergie. Konzept für Rinder etc.	47
Abb. 2-6: Vom Substratgesamtenergiegehalt zur Stromabgabe in der Biogasanlage. Gesamtenergie (GE) laut DLG-Futterwertabelle aus Substrat (Gülle, Biomasse, Kofermente) Gehaltsbestimmung der Rohnährstoffe mittels Weender-Analyse: XP: Rohprotein, XL: Rohfett, XF: Rohfaser, XX: N-freie Extraktstoffe).	48
Abb. 2-7: Vollkommene Mischungspartner: Jedes Mischungsverhältnis führt zum Optimum(z. B. Fall 1 oder 2). Mit Y_B = Gasertrag und B_R = Raumbelastung.....	51
Abb. 2-8: Unvollkommene Mischungspartner: Es gibt nur ein Mischungsverhältnis, das zum Optimum führt. Mit Y_B = Gasertrag und B_R = Raumbelastung.....	52
Abb. 2-9: Prinzipielle Vorgehensweise zur Abbildung der Interaktionen zwischen landwirtschaftlicher Landnutzung und den Lebensraumansprüchen der Indikatorarten am Beispiel der Feldlerche (<i>Alauda arvensis</i>)	57
Abb. 2-10: Bewertungsmodule der ökologischen Partialanalyse in MODAM	58
Abb. 2-11: Vorgehen bei der Einführung Energiepflanzenanbauverfahren in MODAM	64
Abb. 2-12: Ökologische Bewertung von Anbauverfahren, Aggregation der Indikatoren	68
Abb. 2-13: Energiepflanzenverfahren der Standorte AZKI 38: ZEG von Intensität und Biodiversität, Methanhektarerträge (rote Linie = Sortierung: von links nach rechts abnehmend), Bereich gelbe Punkte: PV mit interessanter Kombination	70
Abb. 2-14: Standardverfahren von Bbg. der Standorte AZKI 38: ZEG von Intensität und Biodiversität, Methanhektarerträge (rote Linie = Sortierung: von links nach rechts abnehmend), Bereich gelbe Punkte: PV mit interessanter Kombination	71
Abb. 2-15: Verfahren des Praxisbetriebes Zi (alle Standorten AZKI 25-63): ZEG von Intensität und Biodiversität, Methanhektarerträge (rote Linie = Sortierung: von links nach rechts abnehmend), Bereich gelbe Punkte: PV mit interessanter Kombination	72
Abb. 3-1: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau von Winterroggen zur Futtermittel- (Ringe) bzw. zur Energiepflanzenproduktion (Kästchen)	89
Abb. 3-2: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau von Winterweizen zur Futtermittel- (Ringe) bzw. zur Energiepflanzenproduktion (Kästchen).	90
Abb. 3-3: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau von Sonnenblumen zur Futtermittel (Ringe) bzw. zur Energiepflanzenproduktion (Kästchen).....	91
Abb. 3-4: Futtermittel- (Ringe) vs. Energiepflanzenproduktion (Kästchen). Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele beim Anbau eines einfachen Silomaisverfahrens (ohne Vorfrucht) und dem Zweinutzungsverfahren Silomais/Winterroggen.	92
Abb. 3-5: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau der oben dargestellten Verfahren der Energiepflanzenproduktion im Vergleich mit einer Stilllegung	93

Abb. 3-6:	Modellierungsergebnisse Betrieb K1: Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag (DB I) in € pro Hektar	95
Abb. 3-7:	Ergebnisse der Modellierung: Betrieb K1, Ökologische Bewertung der verschiedenen Szenarien.....	96
Abb. 3-8:	Modellierungsergebnisse Betrieb Do: Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag (DB I) in € pro Hektar	97
Abb. 3-9:	Ergebnisse der Modellierung: Betrieb DO, Ökologische Bewertung der Szenarien BASIS und KONS	98
Abb. 3-10:	Modellierungsergebnisse Betrieb Zi; Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag in € pro Hektar.....	99
Abb. 3-11:	Ergebnisse der Modellierung: Betrieb Zi; Ökologische Bewertung der verschiedenen Szenarien.....	99
Abb. 3-12:	Modellierungsergebnisse Betrieb Ki; Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag in € pro Hektar.....	100
Abb. 3-13:	Ergebnisse der Modellierung: Betrieb Ki; Ökologische Bewertung der verschiedenen Szenarien.....	101
Abb. 3-14:	Flächennutzung Betrieb K1, Szenario-Ergebnisse BASIS/KONS einmal mit (epfl_Basis) und einmal ohne (biog_Basis) Verwendungsoption „Neue Energiepflanzen-Verfahren“	104
Abb. 3-15:	Betriebe K0, K1: Ökologische Folgen der Landnutzung. Vergleich der Zielerreichungsgrade der untersuchten Indikatoren in den Szenarien BASIS und KONS , sowohl mit (epfl_Basis) als auch ohne (biog_Basis) Energiepflanzen-Angebot	105
Abb. 3-16:	Vergleich Betrieb K1, K2: Art und Menge (dt) der für die Beschickung der Biogasanlage (BA) aufgewendeten Substrate bzw. Vergleich zu Wirtschaftsfuttermitteln für die Tierproduktion (K2 Tier).....	106
Abb. 3-17:	Betriebe K0, K1, K2 und K3: Gesamtdeckungsbeiträge in den Szenarien BASIS (epfl_Basis und biog_Basis) sowie in Lib I: Marktpreise Verkauf und der Faktorpreisvariante in Lib II: Zukauf Wirtschaftsfutter/Betriebsmittel mit verdoppelten Preisen gerechnet.....	107
Abb. 3-18:	Betriebe K0, K1, K2 und K3: Gesamtdeckungsbeiträge in den Szenarien BASIS (epfl_Basis und biog_Basis) sowie Lib I: Marktpreise Verkauf, der Faktorpreisvariante in Lib II: Zukauf Wirtschaftsfutter/Betriebsmittel mit verdoppelten Preisen und in Lib III: Verkauf Tier mit einem Preissteigerungsfaktor von 1,5 gerechnet.	107
Abb. 3-19:	Betrieb K1 , 500-kW-Biogasanlage, 200 ha, keine Tiere. Gesamtdeckungsbeitrag und Auslastung des BHKW in Abhängigkeit von Biogasausbeute (BGA) und Marktpreis.	109
Abb. 3-20:	Betrieb K2 , 500-kW-Biogasanlage, 200 ha, mit Tierhaltung (Milchvieh). Gesamtdeckungsbeitrag in Abhängigkeit von Biogasausbeute (BGA) und Marktpreis	110
Abb. 3-21:	Betrieb K2 , 500 kW Biogasanlage, 200 ha, mit Tierhaltung (Milchvieh). Umfang Tierhaltung (dünne Linie, Dreiecke) und Auslastung BHKW (dicke Linie, Kästchen) in Abhängigkeit von Biogasausbeute (BGA) und Marktpreis.....	111
Abb. 3-22:	Betrieb K1, 500-kW-Biogasanlage, 200 ha, keine Tiere. Gesamtdeckungsbeitrag in Abhängigkeit von Biogasausbeute (BGA), Marktpreis 1,0.....	112
Abb. 3-23:	Legende der Fruchtarten in den folgenden Abbildungen	114
Abb. 3-24:	Modellbetrieb K1 (nur BA): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei BGA 0,1	114
Abb. 3-25:	Modellbetrieb K1 (nur BA): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei BGA 0,5	114

Abb. 3-26: Modellbetrieb K1 (nur BA): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei BGA 1,0	114
Abb. 3-27: Legende der Fruchtarten in den folgenden Abbildungen	115
Abb. 3-28: Modellbetrieb K2 (BA+Tier): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei BGA 0,1	115
Abb. 3-29: Modellbetrieb K2 (BA+Tier): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei BGA 0,5	115
Abb. 3-30: Modellbetrieb K2 (BA+Tier): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei BGA 1,0	115
Abb. 3-31: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Deckungsbeiträge (DB) der Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei normalen Fermenterkosten (zu kalkulierten Investitionskosten) und zwei unterschiedlichen Biogasausbeuten (BGA)	117
Abb. 3-32: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Deckungsbeiträge (DB) der Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei 25 % erhöhten Fermenterkosten (höhere als kalkulierte Investitionskosten) und zwei unterschiedlichen Biogasausbeuten (BGA).....	117
Abb. 3-33: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Auslastung der Biogasanlage für die Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei normalen Fermenterkosten (kalkulierte Investitionskosten) und drei unterschiedlichen Biogasausbeuten (BGA)	118
Abb. 3-34: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Auslastung der Biogasanlage für die Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei 25 % erhöhten Fermenterkosten (höhere als kalkulierte Investitionskosten) und zwei unterschiedlichen Biogasausbeuten (BGA).....	119
Abb. 3-35: Vergleich Betrieb K1 (BA) mit K2 (BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogasausbeute zum Preisniveau 1,0	120
Abb. 3-36: Vergleich Betrieb K1 (BA) mit K2 (BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogasausbeute zum Preisniveau 2,0	121
Abb. 3-37: Betriebe Do (250-kW-BA) und Z1 (500-kW-BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens- und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogasausbeute zum Preisniveau 1,0	123
Abb. 3-38: Betriebe Do (250-kW-BA) und Z1 (500-kW-BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens- und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogasausbeute zum Preisniveau 2,0	124
Abb. 3-39: Szenarienrechnungen zur Abschätzung der Änderungen des Gesamt- Deckungsbeitrags (DB) der Betriebe in % infolge der ökologischen Restriktion ZEG NO ₃ < 0,5.....	129

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1:	Energiepflanzenanbauflächen in Brandenburg	9
Tab. 1-2:	Anteil EE in den Verbrauchssektoren	10
Tab. 1-3:	Charakterisierung der Landbaugebiete im Land Brandenburg. Quelle: Datensammlung für die Betriebsplanung des LVLf-Brandenburg 2005	11
Tab. 2-1:	Praxisbetriebe	17
Tab. 2-2:	Zeitlicher Ablauf der Kooperationstermine und der Einbindung der Akteure (Experten, Praxisbetriebe etc.)	21
Tab. 2-3:	Naturschutzfachliche Anforderungen an die Landesplanung aus dem Landschaftsprogramm Brandenburg	27
Tab. 2-4:	Richtwerte für Gasausbeuten einiger Gärsubstrate	45
Tab. 2-5:	Biogasausbeuten verschiedener Substrate aus Gärtests*	46
Tab. 2-6:	Statistische Koeffizienten der Regressionsanalyse zur Biogasausbeute	47
Tab. 2-7:	Klassifizierung und Spezifizierung der im Modell verwendeten Biogasanlagen ..	49
Tab. 2-8:	Investitionsaufwendungen für die im Modell verwendeten Biogasanlagen.....	50
Tab. 2-9:	Emissionen der verwendeten Produktionsverfahren (Szenarien in Phase C)	61
Tab. 2-10:	Anzahl der Produktionsverfahren in der Datenbank; Verfahrensgruppen und Ackerzahlklassen	68
Tab. 2-11:	Anzahl der Verfahren, die für eine Mehrzieloptimierung* in Frage kommen.	69
Tab. 2-12:	Modellbetriebe in den Modellierungsläufen	73
Tab. 2-13:	Bodengüte der Betriebe: Verteilung der Flächen auf die Ackerzahlklassen (AZKI)	73
Tab. 2-14:	Agrarförderung Stand 2005-2013 (GAP Reform 2005).....	75
Tab. 2-15:	Überblick über die Änderung der Szenarienannahmen in den Modellierungsphasen (X: keine Änderung zur vorigen Phase)	78
Tab. 2-16:	Überblick über die Änderungen der Ausgestaltung der Modellbetriebe in den Modellierungsphasen (leere Zellen: Betriebe nicht vorhanden)	78
Tab. 2-17:	Überblick über die neu aufgenommenen Modellbetriebe und zusätzlichen Modellierungsrechnungen in Phase C.....	81
Tab. 3-1:	Übersicht über die Kennzahlen der „spezifischen Substratkosten“ ($\text{€}/\text{m}^3 \text{CH}_4$) der Produktionsverfahren im Lösungsraum aller Szenarien der abschließenden Modellrechnungen auf allen Standorten (detaillierte Beschreibung der Bearbeitungsmaßnahmen im Anhang)	84
Tab. 3-2:	Kosten, Erträge und Biogaskennzahlen der Produktionsverfahren im Lösungsraum aller Szenarien der abschließenden Modellrechnungen, AZKI 2585	
Tab. 3-3:	Kosten, Erträge und Biogaskennzahlen der Produktionsverfahren im Lösungsraum aller Szenarien der abschließenden Modellrechnungen, AZKI 3886	
Tab. 3-4:	Vergleich von Standardverfahren Silomais mit dem Energiepflanzen-Verfahren Silomais in Hauptfruchtstellung sowie dem Zweikulturnutzungsverfahren Silomais/Winterroggen	87
Tab. 3-5:	DB II (inkl. AK-Kostenansatz und Förderung von 290,- €) als Kriterium der Vorzüglichkeit von Stilllegung oder Energiepflanzenverfahren	88
Tab. 3-6:	Durchschnittliche Zielerreichungsgrade (ZEG) für die Zielindikatoren einer Kulturartengruppe (Kult) zum Zeitpunkt der Modellierungsphase B.....	95
Tab. 3-7:	Betriebsformen: Änderung des Gesamtdeckungsbeitrags in Prozent durch die Biogasanlage (bei optimaler BGA und Preisen von 2004)	101
Tab. 3-8:	Kulturarten des Betriebs K0 (ohne BA) in den Ackerzahlklassen.....	103

Tab. 3-9:	Preise für Winterweizen und Winterroggen gegenüber 2004 in 20-%-Schritten erhöht (100 % = Preise von 2004).....	116
Tab. 3-10:	Datengrundlage für die Analyse der Modellierungsläufe hinsichtlich ökologischer Restriktionen	127
Tab. 3-11:	Ausgangswerte für DB-Gesamt Betriebsfläche und DB pro Hektar (für Analyse Änderungen infolge der ökologischen Restriktionen in folgenden Tabellen und Abbildungen).....	128
Tab. 3-12:	Änderungen des DB in €/ha für die Betriebe infolge der angesetzten ökologischen Restriktionen	130
Tab. 4-1:	Naturschutzfachliche Anforderungen an den Biomasseanbau.....	133
Tab. 4-2:	Einfluss der Fruchtfolge-Restriktionen im Modell auf die Deckungsbeiträge der Betriebe in €. Szenario Epfl_BASIS ohne Fruchtfolgemodul gerechnet.	136
Tab. 4-3:	Ertragsdepression bei Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutzmittel: ausgedrückt als mittlere Ertragsverluste auf Randstreifen bei Standardbewirtschaftung.....	142
Tab. 6-1:	Biogasmodul: Details.....	i
Tab. 6-2:	In den Szenarien der Modellierungsphase C und D verwendete Verfahren auf Standorten der AZKI 25.....	vii
Tab. 6-3:	In den Szenarien der Modellierungsphase C und D verwendete Verfahren auf Standorten der AZKI 38.....	viii
Tab. 6-4:	Verfahrensschritte bei Zwei-Nutzungsverfahren Silomais-Winterroggen	xxii
Tab. 6-5:	Besuchte Tagungen zum aktuellen Energiepflanzenanbau in Deutschland.....	xxiii

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AEP	Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung
AZ	Ackerzahl
AUM	Agrarumweltmaßnahme
AUP	Agrarumweltprogramm
AZKI	Ackerzahlklasse
BA	Biogasanlage
BauGB	Baugesetzbuch
BGA	Biogasausbeute
BHKW	Blockheizkraftwerk
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BImSchV	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
BtL	Biomass to liquid (Synthetischer Biokraftstoff)
DB	Deckungsbeitrag: Leistung variable Kosten (ohne Lohnanspruch und Pachtkosten)
CC	Cross Compliance
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EE	Erneuerbare Energien
EVA	FNR-Verbundprojekt
FF	Fruchtfolge
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FGR	Futtergräser (neu Zuckerhirse/Sudangras-Silage)
FNP	Flächennutzungsplan
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FM	Frischmasse
GAK	Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes
GbR	Gesellschaft bürgerlichen Rechts
GfP	Gute fachliche Praxis
GL	Grünland
GP	Ganzpflanzen
GPS	Ganzpflanzensilage
GSG	Großschutzgebiet
h	Stunde
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KrW/AbfG	Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
KUP	Kurzumtriebsplantagen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LPV	Landschaftspflegeverband
LSG	Landschaftsschutzgebiet

LZG	Luzernegras
MODAM	Multi-Objective Decision support system for Agro-ecosystem Management
LZS	Luzernesilage
NABU	Naturschutzbund
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NSG	Naturschutzgebiet
oTS	Organische Trockensubstanz
PEP	Pflege- und Entwicklungs-Plan
PEPGIS	Pflege- und Entwicklungs-Planung im Geographischen Informations-System
PJ	Petajoul (10^{15} Joule)
PSM	Pflanzenschutzmittel
PV	Produktionsverfahren
RME	Rapsmethylester
SBL	Sonnenblume
SPA	Special Protected Area
SMA	Silomais (auch neue Energiepflanzenverfahren)
STI	Stilllegung
THG	Treibhausgasemission
TM	Trockenmasse
TWh	Terrawattstunde
UNB	Untere Naturschutzbehörde
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WGE	Wintergerste
WRA	Winterraps
WRO	Winterroggen
WWE	Winterweizen
ZEG	Zielerreichungsgrad

Kürzel	Indikatoren in der ökologischen Analyse
NO3	NO3-Auswaschung Grundwasser
NP	NP-Eintrag Gewässer
Pest	PSM-Eintrag Gewässer
GWR	Grundwasserneubildung
WaEro	Wassererosion
Lerche	Rotbauchunke (Amphibien)
Sky	Feldlerche (Feldvögel)
Hare	Feldhase (Säugetier)
Hover	Schwebfliege (Nutzinsekten)
Flora	Flora (Primärproduzenten)

Zusammenfassung

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Als Folge der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen, in Form einer geänderten Agrar- und Energiepolitik, nimmt der Anteil von Energiepflanzen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche stetig zu. Die infolge des Klimawandels induzierte Politik greift zunehmend über Förderpolitiken und finanzielle Anreize für nachwachsende Rohstoffe und Produktionsverfahren mit verbesserter CO₂-Bilanz in die wirtschaftliche Dynamik ein. Daraus entstehen neue Chancen für die Landwirtschaft, aber auch neue Gefahren für den Umwelt- und Naturschutz, so dass ein neuer Konflikt zwischen Klima- und Umwelt und Naturschutz entsteht. Sinnvoll und notwendig erscheint es, mögliche negative Folgen eines verstärkten Biomasseanbaus für die Umwelt im Vorfeld abzuschätzen. Das Projekt widmete sich dem Vorhaben, auf der Basis bestehender Technologien, der Beseitigung von betrieblichen Hemmnissen zur umwelt- und naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen und zur Implementierung guter/bester Praxis beizutragen. Der Bericht fasst die Projektergebnisse aus dem akteursbegleiteten Modellierungsprozess der betrieblichen Anpassungen an den Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen und deren Auswirkungen auf die Umwelt zusammen: Die Entwicklung und die Diffusion innovativer, naturschutzgerechter Verfahren zur Erzeugung von Energiepflanzen erfordert die Quantifizierung der ökonomischen und ökologischen Kennzahlen dieser Verfahren, um so zu einer informierten Entscheidungsfindung im landwirtschaftlichen Betrieb sowie bei der Entwicklung neuer Förderprogramme zu gelangen. Gemeinsam mit drei landwirtschaftlichen Betrieben sowie Akteuren des Naturschutzes und der Agrarforschung wurden technische und betriebliche Umsetzungskonzepte für den umwelt- und naturschutzgerechten Anbau von Energiepflanzen für verschiedene Standorte in Brandenburg erarbeitet. Es wurde dabei angenommen, dass Umsetzungen einiger der umweltfreundlichen Technologien nur dann wirtschaftlich sind, wenn ihr zusätzlicher Nutzen für den Naturhaushalt auch von der Gesellschaft honoriert wird. Die Kenntnis von der Höhe der Vergütung, die erreicht werden muss, um bestimmte naturschutzfachliche Ziele zu verwirklichen, bildet damit eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung von politischen Instrumenten in der 2. Säule der Agrarförderung.

Forschungsziele:

- Bewertung von agrartechnischen Verfahren für den neuen Betriebszweig Energiepflanzen hinsichtlich ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit;
- Ausweisung der Kosten sowie biotischen und abiotischen Lebensraumqualitäten von neuen Produktionssystemen durch geeignete und messbare Indikatoren sowie Generierung von Primärdaten, für Themen ohne ausreichende Erkenntnisse;
- Einbeziehung relevanter Akteure in einen Prozess, in dem Chancen und Risiken des steigenden Energiepflanzenanbaus verdeutlicht und Lösungswege erarbeitet werden;
- Modellierung der betrieblichen Prozesse der Biogaserzeugung sowie der Auswirkungen geänderter Rahmenbedingungen auf Betriebsebene mit dem Modellsystem MODAM;
- Bilanzierungs- und Entscheidungsunterstützungsmodelle für Empfehlungen zum naturschutzgerechten Anbau von Energiepflanzen und zur Formulierung geeigneter Förderungsinstrumente.

Hypothesen:

- Es gibt Energiepflanzen-Anbauverfahren, die sowohl die ökologischen Leistungen der Betriebe verbessern können als auch in der Praxis umsetzbar sind (d. h. ökonomisch tragfähig bzw. betriebswirtschaftlich sinnvoll). Verfahrensalternativen (Extensivierung, Fruchtartendiversifizierung etc.) können vor allem Bedeutung für größere Landschaftsräume haben.
- Bestimmte naturschutzfachliche Ziele können nur unter Gewinnverzicht erreicht werden (Förderung erschließt Energiepflanzenanbauverfahren für sensible Gebiete/konkrete Schutzgüter).
- Die Akteursbeteiligung – verstanden als Ansatz zur Umsetzungsorientierung – verbessert infolge einer breiten fachlichen und praxisorientierten Diskussion die Übertragbarkeit der betriebspezifischen Ergebnisse. Sie stärkt die Effizienz der empfohlenen Wege und Maßnahmen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im Rahmen des Projektes wurden die praxisüblichen Anbauverfahren ermittelt und innovative Anbauverfahren auf der Basis der Erkenntnisse anderer, experimentell orientierter Projekte entwickelt. Das bestehende bio-ökonomische Modell MODAM wurde mit diesen Daten sowie den betrieblichen Ressourcen der Kooperationsbetriebe untersetzt. Darüber hinaus wurde das Betriebsmodell um ein neues Modul zur Abbildung der Biogasanlage erweitert, um die gesamte Verwertungskette des Energiepflanzenanbaus im Betrieb abbilden zu können. In Kooperation mit den Praxisbetrieben wurden die Ergebnisse der ersten Modellläufe evaluiert und die Rahmenbedingungen für die Szenariorechnungen formuliert. Da das Modell auch Module zur ökologischen Bewertung der Produktionsverfahren enthält, konnten die ökonomischen und ökologischen Folgen und Rahmenbedingungen des Energiepflanzenbaus kalkuliert und abgebildet werden. In Kooperation mit den Praxisbetrieben werden die Modellergebnisse überprüft und Lösungswege zur Überwindung technischer, organisatorischer und finanzieller Hemmnisse eines umwelt- und naturschutzgerechten Anbaus von Energiepflanzen erarbeitet und Handlungsempfehlungen für Politik und Landwirtschaft abgeleitet.

Ergebnisse und Diskussion

Ökonomik des Pflanzenbaus

Mit Hilfe der Pflanzenbauexperten wurden potenziell interessante Verfahren auf der Basis von Mais-, Hirse-, Sonnenblumen und Getreidesilagen sowie Kombinationen dieser Kulturen mit Winterroggen-GPS als Zweikulturnutzungssysteme identifiziert. Nach der Analyse der Kosten und Leistungen dieser Verfahren blieben lediglich Mais und Hirse sowie Winterroggen auf den leichteren Standorten in Einzelnutzung als ökonomisch interessante Alternativen zu den aktuell praktizierten Verfahren übrig. Nur die günstigsten Verfahren mit Produktionskosten von $< 0,18\text{--}0,20 \text{ €/m}^3$ potenzieller Methangasausbeute erzielen durch die Verstromung in einer NawaRo-Biogasanlage eine gewinnbringende Entlohnung. Grundsätzlich stellt unter den klimatischen Bedingungen Brandenburgs auf den Böden mit einer meist geringen Feldkapazität die Wasserversorgung der Pflanzen den limitierenden Faktor für Anbau und Erträge dar. Dies ist insbesondere bei den Zweikulturnutzungsverfahren problematisch und führt zu relativ höheren Kosten je m^3 Methangas. Da die Kostendifferenz des Zweikulturnutzungsverfahrens gegenüber einem Standardmaisverfahren jedoch nur gering ist, kann in witterungsbedingt günstigen Jahren die

Verwendbarkeit im Einzelfall geprüft werden. Der Vergleich der effizientesten unter den neu aufgenommenen Energiepflanzen-Anbauverfahren mit dem günstigsten Stilllegungsverfahren zeigte, dass auch auf den potenziellen Grenzertragsstandorten (Ackerzahl < 30) eine wirtschaftliche Produktion für Biogasanlagen möglich ist.

Einzelbetriebliche Analyse

Die ökonomische Analyse der einzelbetrieblichen Modellierung zeigte die Abhängigkeit der Rentabilität der Biogasanlage von den realisierten Biogasausbeuten und den verausgabten Investitionskosten. Mit einer Reihe von Simulationsläufen wurden einerseits steigende Marktpreise für Nahrungsmittel und andererseits eine verringerte Biogasausbeute als Annäherung an unterschiedliche Probleme bei der Energiepflanzenproduktion wie der Verwertung (Vergasung und Verstromung) untersucht.

Steigende Flächenopportunitätskosten – infolge gestiegener Marktpreise für Nahrungsmittel – führten zu einem verstärkten Anbau derjenigen Produktionsverfahren, die trotz höherer Kosten eine größere Flächeneffizienz ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$) aufweisen. Die großzügige Flächenausstattung der untersuchten Betriebe (weiteres Verhältnis von ha/kW) führte insgesamt zu einer flexibleren Reaktion auf steigende Marktpreise bzw. verringerte Biogasausbeuten. Bei aktuellem Preisniveau (Weizen ca. 22 €) bestanden Rentabilitätsprobleme nur bei sehr niedrigen Biogasausbeuten die 60 % der optimalen BGA unterschreiten. Dagegen wurde bei ausreichenden Biogasausbeuten die Anlagenrentabilität auch bei weiteren Preissteigerungen von bis zu 50 % gegenüber dem aktuellen Preisniveau gewährleistet.

In den gerechneten Szenarien zeigte sich, dass unter den festgelegten Rahmenbedingungen nur drei der neuen Energiepflanzen-Verfahren in die Lösung kamen. Für beide Standortklassen (AZKI 25 und 38) wurde ein Hirse-Verfahren (in Hauptfrucht-Stellung) ausgewählt. Zusätzlich kamen auf den leichteren Standorten ein Roggen-Ganzpflanzenverfahren und auf den besseren Standorten ein Energiemais zum Einsatz.

Naturhaushalt

Aus ökologischer Sicht sind zunächst keine allgemeingültigen Aussagen zu den ökologischen Wirkungen des Energiepflanzenanbaus möglich, da die Effekte je nach Anbaukultur und betrachtetem Einzelverfahren stark variieren können. In der Regel führt jedoch die Tatsache, dass bei Energiepflanzen häufig keine Insektizide und Fungizide eingesetzt werden, zu einer günstigeren Einschätzung der Energiepflanzenverfahren im Hinblick auf ihre Wirkungen auf die Biotik (Flora und Fauna). Die Reduktion des Faktoreneinsatzes im Rahmen des Energiepflanzenanbaus ist u.a. beim Pflanzenschutz möglich, weil insbesondere hinsichtlich der Qualität des Erntegutes niedrigere Ansprüche gelten als beim Marktfruchtanbau.

Weitere Faktoren, die eine endgültige Bewertung der Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf den Naturhaushalt beeinflussen, sind die Fruchtfolge, die Flächenausstattung sowie die Risiken der Standorte. Dabei entscheidet die Fruchtfolge, ob mit dem Anbau einer bestimmten Fruchtart eine Diversifizierung oder aber eine ungewollte Verengung der Fruchtfolge verbunden ist. Die Flächenausstattung bestimmt, ob die Einführung eines neuen Betriebszweiges – wie der Energiepflanzenproduktion – zu gravierenden Änderungen der Flächennutzung beiträgt oder nur zu marginalen Änderungen der Anbauverhältnisse führt. Zuletzt bestimmt der Standort mit seinem individuellem Potential oder Risiko (z. B. die Erosionsgefährdung), ob ein Zusammentreffen mit den jeweiligen Zielorganismen oder Gefährdungsmöglichkeiten von Umweltgütern in dem

betrachteten Gebiet stattfindet. Für die betrachteten – mit relativ viel Fläche ausgestatteten – Betriebe mit einer Biogasanlage wurde eine weitere Fruchtfolge infolge einer größeren Anzahl von Kulturarten beobachtet als bei reinen Marktfruchtbetrieben. Erst bei einer im Verhältnis zur BHKW-Leistung zu geringen Flächenausstattung kam es bei Gemischtbetrieben (Biogasanlagen und Tierproduktion) zu hohen bis sehr hohen (> 50 %) Silomaisanteilen in der Fruchtfolge. Modellergebnisse zeigten z. B. eine einsetzende Intensivierung auf den relativ ertragsschwachen Böden, die zu einem Wechsel von Wintergetreide, vornehmlich Roggen, zu Mais oder Hirse führte, welche beide längere Zeit im Frühjahr von fehlendem Bestandesschluss in der Reihe und damit von erhöhter Erosionsgefahr gekennzeichnet sind. Der Vergleich der Flächenanteile von Betrieben mit Biogasanlage und Betrieben ohne Biogasanlage zeigte, dass infolge des Betriebes einer Biogasanlage die Fläche von Winterroggen um die Hälfte, die Stilllegungsfläche von ihrer maximalen (hier modellbedingt 20 %) auf ihre minimale Ausdehnung (8 %) reduziert wurde. Auf der frei werdenden Fläche wurde Hirse angebaut (starke Zunahme von 42 %), eines der neuen Energiepflanzen-Verfahren. Eine modellierte Fruchtfolgerestriktion in Form einer 50 %-Flächen-Begrenzung von Mais konnte als ein sinnvoller und erfolgreicher Ansatzpunkt angesehen werden, um andere Fruchtarten mit der Zielstellung „höhere ökologische Leistungen“ in die Fruchtfolge von den Betrieben aufnehmen zu lassen.

Fazit

Der Anstieg der Flächenkonkurrenz infolge neuer Marktbedingungen (steigende Nahrungsmittelpreise) machte in den Modellierungen deutlich, dass das Problem einer zunehmenden Intensivierung nicht allein im Bereich des Bioenergieanbaus liegt. Auch weiterhin hängt das ökologische Ergebnis entscheidend von den tatsächlich realisierten Kulturen, Produktionsverfahren und Fruchtfolgen ab, doch lassen die Ergebnisse deutlich größere biotische Potentiale beim Energiepflanzenanbau (Biogas) als beim traditionellen Anbau erkennen. Dabei müssen die neuen Energiepflanzen-Produktionsverfahren hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen noch weiter untersucht und bewertet werden. Die bloße Implementierung des Betriebszweigs Biogas führt auf reinen Marktfruchtbetrieben zur Erweiterung des Anbauspektrums und kann unter bestimmten Rahmenbedingungen ökologische Vorteile bringen. Sobald weitergehende Aspekte (Naturschutz) beachtet werden sollen, wäre eine Förderung besonders geeigneter oder zumindest Begrenzungen einzelner Kulturen notwendig. Ein sinnvoller Ansatzpunkt hierfür liegt in der Steuerung der Flächenausstattung der Betriebe im Verhältnis zur installierten BHKW-Leistung (oder zukünftig der produzierten Biogasmenge). In den Szenarien zeigte sich eine Überlegenheit sowohl ökonomischer (v.a. Stabilität) als auch ökologischer (v.a. Diversität) Kriterien bei einer nutzbaren Fläche > 0,5 ha/kW. Dieser Zusammenhang war auf vorherigen Gemischtbetrieben (Markt- und Veredelungsproduktion) mit ausreichender Flächenausstattung noch einmal besser, so dass hier der Güllebonus im EEG zu einer günstigen Entwicklung beitragen kann. Aus ökonomischer Sicht scheinen die jetzigen Förderbedingungen für die untersuchten Betriebe ausreichend zu sein, um eine Biogasanlage zu betreiben.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Durch die Novellierung des EEG war ab 2005 ein regelrechter Boom an neuen Biogasanlagen zu beobachten. Aber die potenziell oftmals ökologisch vorteilhaften Biogaskonzepte können im Einzelfall möglicherweise zu Konflikten mit anderen Nachhaltigkeitszielen wie dem Naturschutz führen. Mit Blick auf die Produktion erneuerbarer Energie in der Landwirtschaft stellt sich die Frage, wie die sich abzeichnenden Flächenkonkurrenzen zwischen Bioenergiebereitstellung und Nahrungsmittelproduktion zu bewerten sind. Auch wenn in der Landwirtschaft die Energieproduktion aus Biomasse zum einen auf Basis von Reststoffen und Koppelprodukten (z. B. Gülle und Stroh) erfolgt und die diesbezügliche energetische Nutzung positiv zu bewerten ist, wird andererseits vermehrt die Energie vor allem auch durch die unmittelbar als Nahrungsmittel anzusehende Anbaubiomasse (z. B. Weizen, Raps, Roggen) gewonnen. Diese Verwendung führt zu widersprüchlichen Einschätzungen. Besonders hohe Preise für fossile Energieträger können erhebliche ökonomische Anreize bilden, landwirtschaftliche Flächen zum Anbau von Biomasse für die Energiegewinnung zu nutzen. Diese Entwicklung trifft auf eine gleichzeitig wachsende Nachfrage nach Flächen für den Nahrungsmittelanbau, weil die steigenden Energiekosten an die Nahrungsmittelpreise und damit ihre Erhöhung gekoppelt sind. Vor dem Hintergrund steigender Flächenkosten wäre demnach abzuschätzen, in welchem Maße die landwirtschaftliche Produktion überhaupt herangezogen werden kann, die bisherigen fossilen Energieträger zu ersetzen und welches dann die sinnvollsten und effizientesten Wege dafür sind.

Zwar erfordert es die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungs-, Rohstoff- und Energiepflanzen, den züchterischen Fortschritt für einen möglichst flächeneffizienten Hochleistungsanbau auszunutzen. Unter Gesichtspunkten der Multifunktionalität der Landwirtschaft und der Landschaft, spricht jedoch vieles dafür, den Energiepflanzenanbau auf die Förderung der biologischen bzw. agrarischen Vielfalt auszurichten und für Synergieeffekte mit Naturschutzaspekten zu nutzen.

Untersuchungsgegenstand dieses Projektes ist der Naturschutz in Abhängigkeit von der landwirtschaftlichen Energieerzeugung. Unter der Bedingung des Erhalts der Kulturlandschaften in strukturarmen Regionen ist die Sicherung von Überlebenschancen der Betriebe dabei eine zentrale Voraussetzung. Der sozioökonomische Ansatz in diesem Projekt zielt auf einen schrittweisen Abbau des Zielkonflikts zwischen Naturschutz und Landwirtschaft bei gleichzeitiger Berücksichtigung der ökonomischen Machbarkeit und damit insgesamt auf eine Verbesserung der Naturschutz- und Umweltleistungen der Landwirtschaft.

1.2 Zielstellung

Das Projekt versucht, ökologisch besonders vorteilhafte Biogaspfade zu identifizieren und potenzielle Konfliktfelder aus den vorhandenen Informationen heraus zu beschreiben. Die Chancen für ökologische Leistungen, die sich aus dem Energiepflanzenanbau ergeben, sind aus dem Angebot an unterschiedlichen und neuen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren ableitbar. Das Projekt will neue Anbauverfahren des Energiepflanzenanbaus identifizieren, um Alternativen zu den wenigen bisher angebauten Fruchtarten (insbesondere Mais) aufzuzeigen. Damit soll die Fruchtartenvielfalt in der Landschaft erhöht werden. Anhand von szenariengestützten Modellierungsläufen werden Entwicklungen abgeschätzt. Diese bilden die Grundlage für die Erarbeitung von Vorschlägen und Handlungsempfehlungen, die zu ökologischen Optimierungen beim weiteren Ausbau der Bioenergieerzeugung in der Landwirtschaft führen sollen.

Ziel war es, einen Beitrag zur Entwicklung von Biomasse-Konzepten zu leisten, welche über die bisher verbreiteten maisorientierten Anbaukonzepte hinausgehen. Im Projektverlauf waren keine direkten empirischen Untersuchungen vorgesehen. Vielmehr sollten bei den Landwirten bereits vorhandene Erfahrungen zu energieertragreichen und arbeits-/betriebswirtschaftlich sinnvollen Fruchtfolgen abgefragt und auf verschiedenen Arbeitstreffen in Kooperation bzw. Diskussion u. a. mit Vertretern der Unteren Naturschutzbehörde (UNB) hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen analysiert werden.

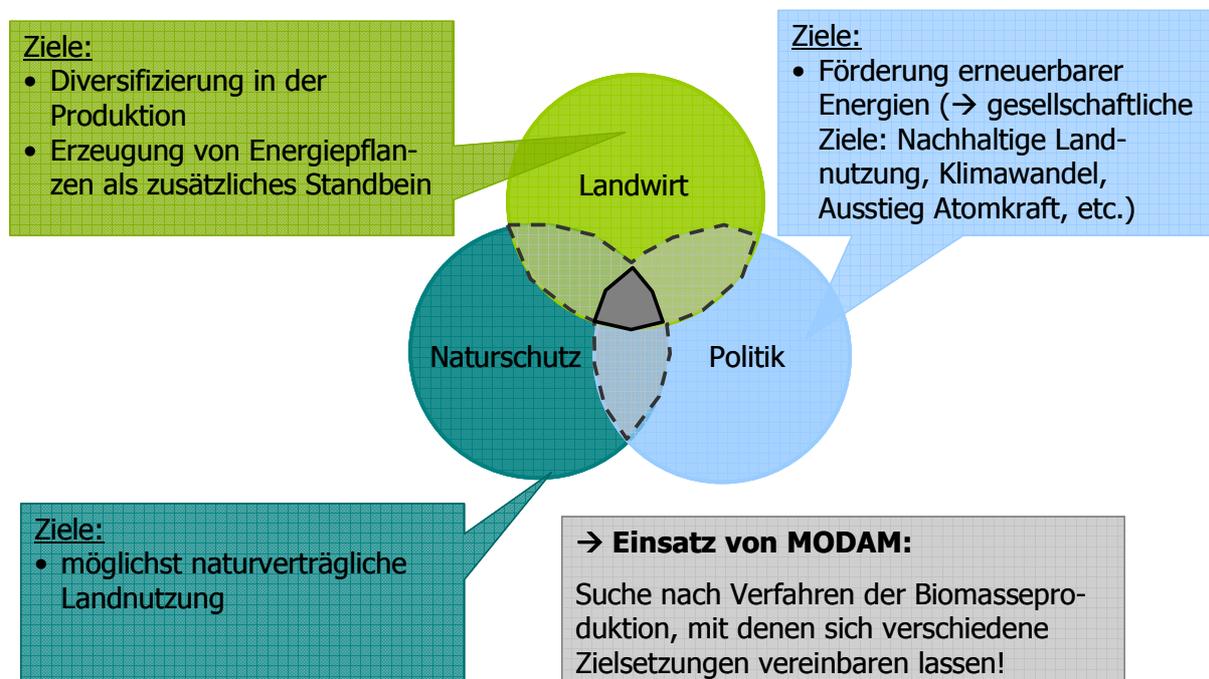


Abb. 1-1: Gliederung der Zielstellung

1.3 Rahmenbedingungen

Die Option einer Energiebereitstellung aus Biomasse bietet vor dem Hintergrund verschiedener Argumentationslinien so viele Vorteile, dass sie in der hiesigen und auch internationalen Diskussion in absehbarer Zeit nicht an Bedeutung verlieren wird. Aktuell zu nennen ist der mögliche Beitrag zum Klimaschutz durch Reduktion der CO₂-Emissionen sowie die Sicherung der Energieversorgung angesichts fossiler Ressourcenverknappung, angesichts des seit Jahrzehnten stark angestiegenen Energieverbrauchs und der Einschätzung, dass sich diese Entwicklung fortsetzen wird.

1.3.1 Aktuelle Nutzung von Biomasse und Energiepflanzenanbau für Biogas

2006 erbrachte die Nutzung von Biomasse 71 % der gesamten Endenergie aus erneuerbaren Energien und 5,7 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland. Auf dem Wärmemarkt lieferte Biomasse – überwiegend Holz – 94 % der Wärme aus regenerativen Energien und 5,4 % des gesamten Wärmeenergieverbrauchs. Über 16 TWh Strom wurden aus festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern bereitgestellt. Dies sind 19,2 % des Stroms aus erneuerbaren Energien und 2,5 % des gesamten Stromverbrauchs (Deutschland 520 TWh; 2005). Festbrennstoffe stellen insgesamt den größten Teil an biogenen Energieträgern dar. Aus Biomasse gewonnenes Biogas wird überwiegend zur Produktion von Strom in dezentralen Anlagen (BHKW) eingesetzt, wobei die hierbei anfallende Wärme nur selten genutzt wird. Steigende Flächenopportunitätskosten infolge höherer Nahrungsmittelpreise lassen in Zukunft eine verstärkte Nutzung von Biogas über das Erdgasnetz erwarten.

Aus folgender Abbildung (Anteile der verschiedenen Energieträger zur Stromerzeugung) kann der hohe Biogasanteil an der Stromerzeugung aus Biomasse abgeleitet werden. Er lag 2006 bei ca. 41 %. Die Verstromung von Biogas hat aufgrund der Regelungen des EEG stark zugenommen und sich von rd. 2,8 Mrd. kWh (2005) auf rd. 5,4 Mrd. kWh im Jahr 2006 nahezu verdoppelt (BMU 2007a: BMU KI III 1 Daten EE 2006 Stand: 21. Februar 2007).

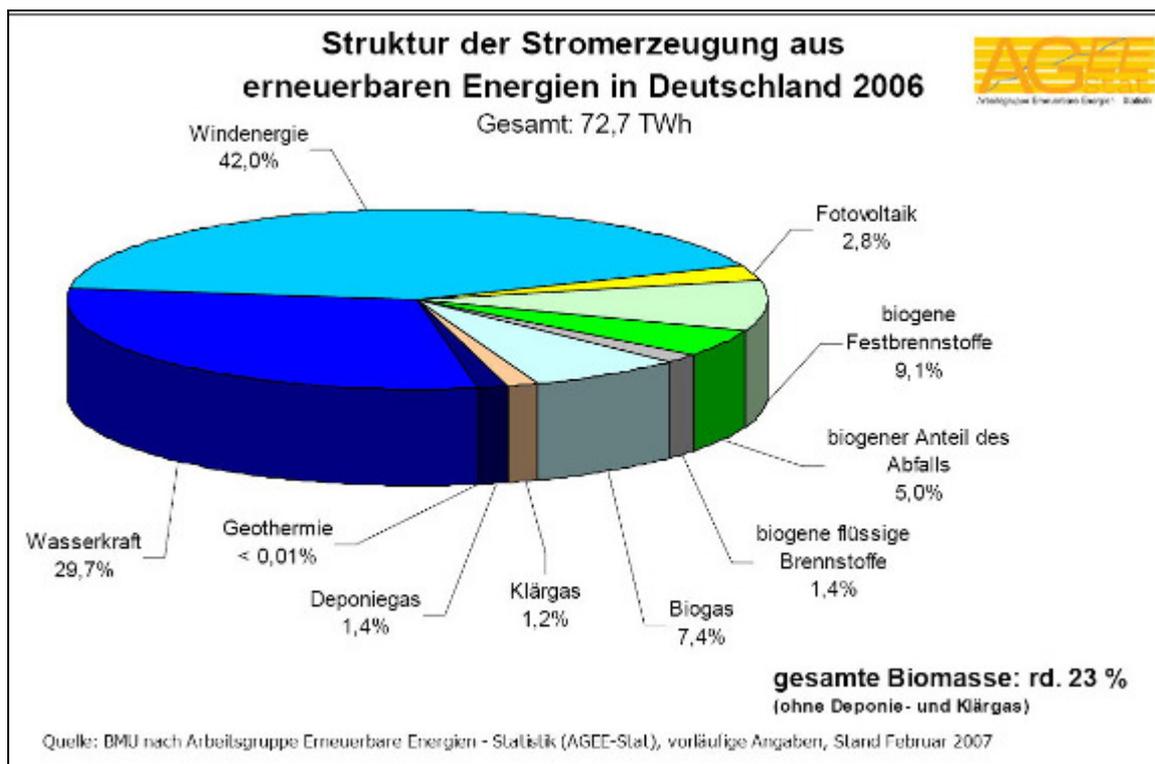


Abb. 1-2: Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2006
Quelle: BMU 2007a

Die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) hat für das Jahr 2007 bundesweit einen Anbauumfang von mehr als 2 Mio. ha nachwachsender Rohstoffe ermittelt. Dies sind fast 17 % der Ackerfläche in Deutschland. Rund 1,75 Mio. ha dienen dem Anbau von Energiepflanzen für die Treibstoff- und Biogasproduktion. Die Hauptanteile davon entfallen auf den Rapsanbau mit ca. 1,1 Mio. ha und den Maisanbau mit ca. 500.000 ha.

In Brandenburg waren laut Energieatlas (iFUS 2006) 45 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 23 MW in Betrieb (Stand Nov. 2006).

Auf ca. 62.000 ha wurden 2006 in Brandenburg Energiepflanzen mit Energiepflanzenbeihilfe angebaut. Dies entsprach ca. 4,6 % der Ackerfläche Brandenburgs. Auf dem Großteil der Flächen wurde 00-Winterraps geerntet, seit der Novellierung des EEG im Jahr 2005 zunehmend auch Winterroggen und Silomais (Konitzki et al. 2006, BLE 2007). Den so erfassten Energiepflanzen hinzugerechnet werden muss Biomasse, deren Anbau über die Stilllegungsprämie gefördert wird, die aber nicht als Energiepflanze deklariert ist, obwohl sie zu einem bestimmten Anteil energetischen Zwecken dient. Die Gesamtstilllegungsfläche in Brandenburg betrug 2006 ca. 17.000 ha. Auch hier nahm mit 84 % der Winterraps den größten Teil der Fläche ein. Auf 5 % dieser Fläche wurde Silomais zur energetischen Nutzung in Biogasanlagen angebaut.

Für Brandenburg im Jahre 2006 wurde eine Fläche von ca. 14.000 ha der Biogasproduktion zugerechnet. Silomais war mit 62 % der Fläche die Hauptkulturart (BLE 2007). Maissilage ist aufgrund der einfachen Handhabung, des vergleichsweise günstigen Preises und des Ernteertrags das am häufigsten verwendete Substrat für die Biogasproduktion. Kaltschmitt et al. 2006 gehen davon aus, dass der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe im Prozess der Biogasproduktion bis 2030 steigen wird.

Tab. 1-1: Energiepflanzenanbauflächen in Brandenburg

Kulturen	2004	2005	2006
Anbau auf stillgelegten Flächen (ha)	14.025	16.887	16.824
Öllein	20	61	94
00-Raps	7.426	9.639	14.044
Erucaraps	6.290	5.651	333
Sonnenblumen	271	1.077	717
schnell wachsende Gehölze	-	116	-
Pestwurz	18	30	16
Roggen (Wi)	-	44	90
Weizen (Wi)	-	140	515
Silomais	-	74	880
Körnermais	-	43	45
Sudangras	-	12	-
Anbau mit Energiepflanzenbeihilfe (ha)	27.522	59.579	61.824
00-Raps	10.618	23.233	29.265
Roggen	16.796	33.126	17.135
Roggen-GP	54	232	1169
Triticale	-	187	2.509
Triticale-GP	-	47	188
Hafer-GP	-	198	263
Weizen (Wi)	-	814	1.545
Silomais	54	1.742	8.552

Quelle: Konitzki et al. 2006, BLE 2007

1.3.2 Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Biogaspfades

Bei weiterhin steigenden Ölpreisen, deren Niveau eine energetische Verwertung von Biomasse allein schon aufgrund der Energiegehalte in die Wirtschaftlichkeit bringt, befindet sich das Feld der Biogaserzeugung in der Phase der Marktdurchdringung und Etablierung. Das anfangs bestehende hohe unternehmerische Risiko bei Einführung neuer Technologien und erheblichen Investitionen wird zunehmend abgelöst durch die allgemeine Unsicherheit auf den Märkten. Schwer zu berechnende Opportunitätskosten der Fläche bei steigenden (bzw. schwankenden) Agrarmarktpreisen sind ebenso zu berücksichtigen wie nicht mehr zum Bodenkauf zur Verfügung stehendes Kapital bei Betrieben mit hohem Pachtanteil. Größere Technologiesprünge sind stärker bei Biogasdirekteinspeisung und Trockenfermentationsanlagen zu erwarten als bei der Nassfermentation, wo Betreiber- und Nutzungskonzepte (Wärme, Spitzenlast-Strom) zunehmend die Wirtschaftlichkeit bestimmen. Politische Faktoren – wie Instrumente der Agrarpolitik und -förderung bzw. Energiepolitik und -förderung – gewinnen in dieser Situation durch ihre lenkende und stabilisierende Wirkung einen starken Einfluss.

Die Agrarpolitik stärkt den Anbau von Energiepflanzen durch

- ➔ Option zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen;
- ➔ Einführung der Energiepflanzenprämie (45 €/ha, limitiert auf 1,5 Mio. ha in der EU), um den Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Nicht-Stilllegungsflächen wirtschaftlicher zu machen;

- Agrarinvestitionsförderungsprogramm zur Förderung von u. a. Biogas- und Biomassefeuerungsanlagen, Umrüstungen von Traktoren auf Pflanzenöl sowie Spezialmaschinen und Geräten für nachwachsende Rohstoffe im Non-Food-Bereich;
- verringerte Agrardieselsteuerbefreiung, (Biotreibstoff als Alternative zum Agrardiesel lohnenswert);
- die Pflicht zur Stilllegung. Diese ist jedoch für das Anbaujahr 2007/2008 ausgesetzt, deshalb steht voraussichtlich weniger Fläche z. B. für Kurzumtriebsplantagen (KUP) zur Verfügung

Die wichtigsten Energieförderpolitiken sind:

- EEG (2000; Novellierung 2004) und BiomasseV vom 21.06.2001 (BGBl. I S. 1234), geändert am 9.8.2005 (BGBl. I S. 2419), Novelliert im Juni 2008 für Beginn 2009;
- MAP (Marktanreizprogramm) vom 12. Jan. 2007, veränd. am 25. Juli 2007, veränd. am 1. August 2007;
- Biokraftstoffquotengesetz vom 18. Dez. 2006 (BGBl. I S. 3180, 2007) (= Änderung des EnergieStG 2006, des StromsteuerG 1999, 2006, des BImmissionsschutzG 2002, 2006, des MineralöldataenG 1988, 2006);
- Energiesteuergesetz vom 15.7.2006 (BGBl. I S. 1534), geändert am 18.12.2006 (BGBl. I S. 3180).

Im Kabinettsbeschluss von Meseberg im Juli 2007 (BMU 2007b) wurden Anteile der erneuerbaren Energien, wie sie zum Energieverbrauch in Deutschland beitragen sollen, als Ziele der Bundesregierung bekräftigt. Für die einzelnen Verbrauchssektoren Strom, Wärme und Kraftstoff wurde folgende Aufteilung vorgenommen:

Tab. 1-2: Anteil EE in den Verbrauchssektoren

	2010	2020
Strom	12,50 %	27 %
Wärme		14 %
Kraftstoff	6,75 %	17 %

Quelle: IFEU 2007, BMU 2007b

Die erstrebten Anteile sind dabei nur zu erreichen, wenn der Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor weiterhin so dynamisch wie in den letzten Jahren verläuft. Die weitgehende Ausschöpfung der Kapazitäten der Wasserkraft und der günstigsten Windkraftstandorte an Land lassen eine Verlagerung der Ausbauswerpunkte v.a. auf die Biomassenutzung in Biogasanlagen und der Windenergie in Off-Shore-Anlagen erwarten.

1.3.3 Standortcharakterisierung

Standortabgrenzung für Verfahren der Pflanzenproduktion

Die Produktionsverfahren des Ackerbaues werden in Brandenburg zur Charakterisierung der natürlichen Standortbedingungen generell nach Landbaugebieten differenziert ausgewiesen (s. Tabelle 1, Tabelle 2, Abbildung 1).

Tab. 1-3: Charakterisierung der Landbaugebiete im Land Brandenburg. Quelle: Datensammlung für die Betriebsplanung des LVLFB-Brandenburg 2005

LBG	Ackerzahl	Charakterisierung der Böden für die landwirtschaftliche Nutzung
I	>45	Weizen- Zuckerrüben- fähig
II	36...45	Gersten- Weizen- Zuckerrüben- fähig
III	29...35	Roggen- Kartoffel- ,bedingt Gersten- Raps- und Weizen- fähig
IV	23...28	Roggen- Kartoffel- und z.T. Mais- fähig
V	<23	Grenzstandorte der lw. Nutzung, für Roggen(Lupine, Seradella) geeignet

Ertragsschätzungen bedürfen der Berücksichtigung von Standortbedingungen. Diese können für einzelne Landbauklassen zusammengefasst werden, wie sie von Behörden z. B. zur Formulierung von Aufwandsmengenempfehlungen oder der Einteilung der Betriebe nach Wirtschaftskraft gebraucht werden.

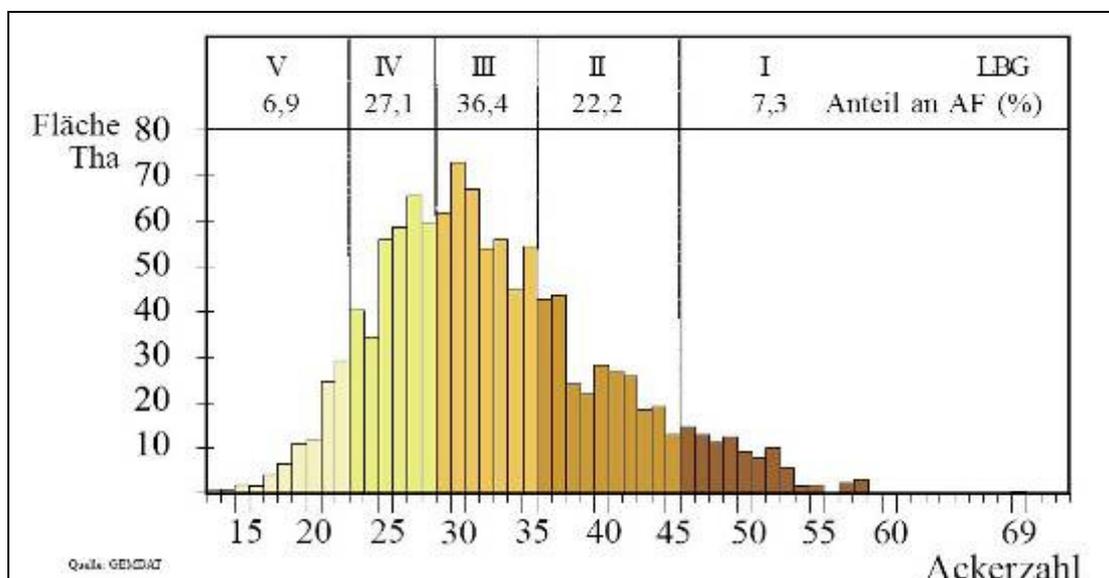


Abb. 1-3: Verteilung der Ackerflächen in den Landbaugebieten (gemeindebezogen).

Quelle: Datensammlung für die Betriebsplanung des LVLFB-Brandenburg, 2005

Da wenig andere adäquate Maßstäbe zum großräumigen Vergleich von Bodenqualitäten zur Verfügung stehen, greift auch das im Projekt zur Verwendung kommende Modell MODAM (s.u.) für Ertragsschätzungen auf das relativ einfache System der Flächendifferenzierung über Bodenwertzahlen (BWZ) oder auch Ackerzahlen (AZ) zurück. Die BWZ liegen der sehr alten Einstufung nach Reichsbodenschätzung zugrunde (welche hauptsächlich in den 30er Jahren durchgeführt wurde) und dienen als Steuerbemessungsgrundlage.

Auch um die Übertragbarkeit der auf einem Betrieb ermittelten Ergebnisse auf andere Betriebe zu verbessern, ist es sinnvoll die Ergebnisse an bestimmte Standortvoraussetzungen zu koppeln. Mit Hilfe der einfachen, überall vorliegenden Ackerzahlen (AZ) bzw. Bodenwertzahlen (BWZ), kann eine Einschätzung der Ertragskraft der Flächen vorgenommen werden. Die Ackerzahl berücksichtigt dabei nicht den Grundwassereinfluss auf den Ertrag. So werden auf grundwasserbeeinflussten Standorten (vor allem Niederungen mit Ackerzahlen < 35 (LBG III–V) deutlich höhere und auch sicherere

Erträge erzielt. Die Ertrags- und Kosteneinstufung von Kulturen kann infolge der besseren Bodenwasserverhältnisse abweichen.

Die folgende Abbildung zeigt die auffällig geringen Niederschlags-Jahresmengen in Ostdeutschland.

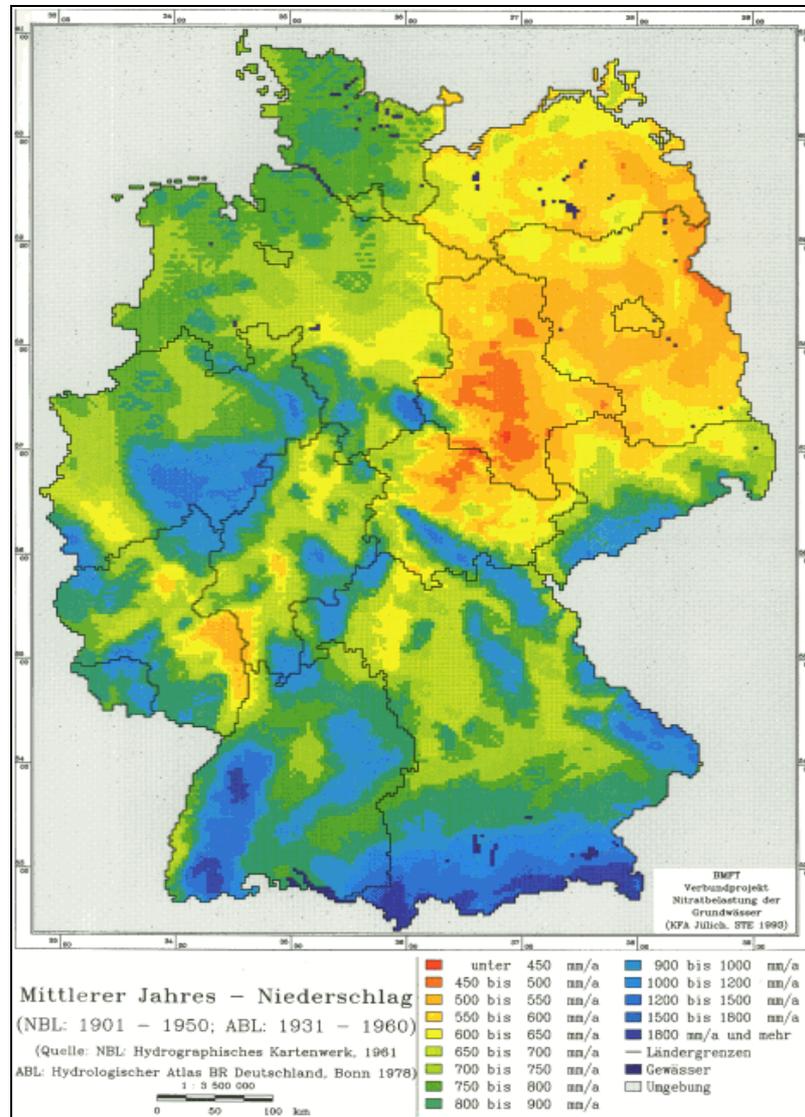


Abb. 1-4: Niederschlagsverteilung in Deutschland. Quelle: Wendland et al. 1993

1.4 Projekt

1.4.1 Forschungsfragen und Lösungsansätze des Projekts:

Naturschutzgerechter Anbau heißt im Projekt zunächst nur die Herausarbeitung von möglichen Konflikten und Synergien zwischen Naturschutz und Energiepflanzen-Anbau. Dabei wird vor allem die Erhaltung des Lebensraumes (Habitatqualität) des Ackers betrachtet. Die wichtige Ausgangsfrage des Projekts lautet:

Welche Win-Win-Situationen der Landwirtschaft mit dem Naturschutz können sich aus der Einführung von Biogasanlagen ergeben?

Durch Modellrechnungen mit neuen Anbauverfahren soll untersucht werden, ob sich durch den Energiepflanzenanbau mögliche Vorteile für den Naturraum wie eine erhöhte Biodiversität durch Kulturartendiversifizierung ergeben und welche Änderungen von Produktionsverfahren wie zu bewerten sind sowie welche wirtschaftlichen Folgen mit der Entwicklung neuer Produktionsverfahren (bzw. Sorten, Kulturarten, Fruchtfolgen) verbunden sind.

1.4.2 Projektstruktur

Das Projekt setzt an der Vermittlung zwischen naturschutzfachlichen Interessen einerseits und den Interessen der Betriebe andererseits an. Die Zusammenarbeit des Instituts für Sozioökonomie¹ (ZALF) mit der Akteursgruppe „Landwirtschaftliche Praxisbetriebe“ verfolgte zwei Ziele:

- Entwicklung, Kontrolle und Validierung von Energiepflanzen-Anbausystemen für das Modell MODAM.
- Herausarbeiten von Chancen und Risiken des Energiepflanzen-Anbaus für den Naturschutz aus Sicht der Landwirtschaft.

Zusätzlich sollte die Zusammenarbeit mit den Betrieben die Entwicklung angepasster Produktionsweisen gewährleisten und die Akzeptanz der zu entwickelnden Maßnahmen und Instrumente erhöhen. Dabei ging es immer auch um die Identifikation neuer Technologien der Energiepflanzenerzeugung zur Überwindung des Zielkonflikts zwischen landwirtschaftlicher Produktion und Naturschutz.

Die Einbindung der naturschutzfachlichen Aspekte erfolgt über die Mitarbeit des Instituts für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie² (ZALF) am Modell und über Expertenworkshops und Fachgespräche in verschiedenen Phasen des Projekts.

Für die naturschutzfachliche Beratung und die landwirtschaftliche Umsetzung werden die Untere Naturschutzbehörde (UNB, vertreten durch Frau Witte) sowie Vertreter regionaler Landschaftspflegeverbände (z. B. LPV Mittlere Oder e.V., Herr Schiwietz) und Landschaftsplanungsbüros (z. B. Büro Ökologische Gutachten und Landschaftsplanung, Frau Hemeier) in das Projekt mit einbezogen. Die externen Experten standen dem Projekt bei der Bewertung von Verfahren des Energiepflanzenanbaus sowie der Entwicklung von Algorithmen für die Einbindung von Zielarten in das Modell beratend zur Seite. Zudem sind sie neben den Untersuchungsbetrieben Teil der Anwender und Nutzer der von dem Projekt erstellten – und von ihnen mitgestalteten – Informationen und Instrumente.

Die Landschaftspflegeverbände haben eine wesentliche Aufgabe bei der Moderation von Naturschutzanforderungen an die Landwirte. Der LPV Mittlere Oder arbeitet an einem Projekt an der Schnittstelle von FFH-Gebieten und Landwirtschaft. Der LPV Spree-Neiße ist Projektträger eines Interim-Vorhabens mit Polen zu Energiepflanzen (schnellwachsende Hölzer).

1.4.3 Arbeitsprogramm

Das Vorgehen lässt sich gliedern in

¹ Institut für Sozioökonomie, Leiter Prof. Dr. Klaus Müller, Mitarbeiter am Projekt: Dr. Peter Zander, Dr. Götz Uckert, Dipl.-Ing. Johannes Schuler

² Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, Leiter: Dr. Armin Werner, Mitarbeiter am Projekt: Johannes Hufnagel, Dr. Michael Glemnitz, Claudia Sattler

- a) Ermittlung des Ist-Zustands (inkl. Änderungen durch Energiepflanzenanbau) auf drei beteiligten Praxis-Betrieben.
- b) Erörterung relevanter Anbauverfahren und naturschutzfachlicher Ziele mit den Akteuren.
- c) Prototyping: Abgestimmte Szenarien wurden mit dem Modellsystem MODAM durchgerechnet und erneut in breiterem Rahmen diskutiert
- d) Vorstellung von Alternativen und deren Bedingungen.
- e) Erarbeitung von Empfehlungen zur Ausgestaltung des Biomasseanbaus für Biogasanlagen und zur Information der Fachkreise.

Folgende Abbildung gibt einen Überblick über Ablauf und Arbeitsschritte des Projekts.

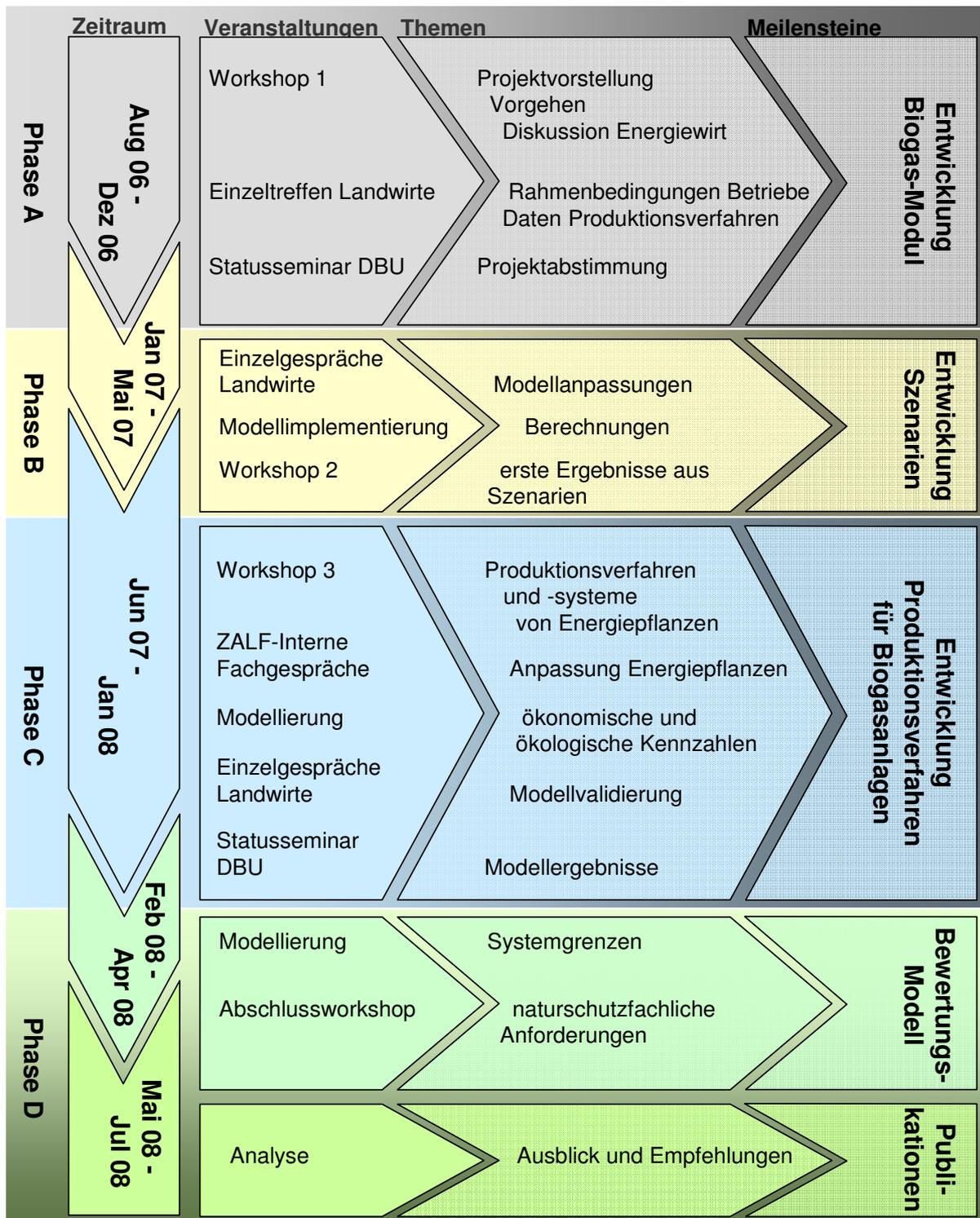


Abb. 1-5: Modellierungs- und Projektphasen (Beschreibung s. Kap. 2.8.5)

2 Material und Methoden

Das Projekt wendet einen Methodenmix aus Modellrechnungen mit dem Modell MODAM und Experteneinschätzungen an, um die durch Aufnahme des Betriebszweigs „Biogasanlage“ in die Betriebe entstehenden, potenziellen Konflikte zwischen Naturschutz und Landwirtschaft zu identifizieren.

2.1 Die Praxisbetriebe

Die drei Untersuchungsbetriebe befinden sich in den Ämtern Schlaubetal und Brieskow-Finkenheerd des Landkreises Oder-Spree sowie im Amt Seelow-Land, Landkreis Märkisch-Oderland. Beide Landkreise gehören zum nördlichen Teil Brandenburgs. Die Untersuchungsbetriebe vereinigen die für alle Fragestellungen des Projekts relevanten Produktionsverfahren und Standorte (Energiepflanzen, Niederungsflächen, Grenzertragsstandorte, Grünland, Milchvieh, Mutterkuhhaltung etc.), so dass eine Verallgemeinerbarkeit der Untersuchungsergebnisse erreicht werden kann. Die Flächen liegen zum Teil in naturschutzfachlich interessanten Gebieten (FFH, SPA, GSG) oder grenzen an diese an. Die Auswahl weniger Beispielbetriebe einer Region erleichtert die Abstimmungsarbeit wesentlich. Infolge der Kooperation des Projekts mit flächenstarken Agrargenossenschaften, der Bauerngesellschaft (GbR) und Einzelunternehmen werden sowohl standort- als auch betriebsstrukturspezifische Aspekte abgebildet.

Tab. 2-1: Praxisbetriebe

	Kieselwitz (Ki)	Ziltendorfer N. (Zi)	Dolgelin (Do)
Region	Schlaubetal	Ziltendorfer Niederung	Seelow-Land (Dolgelin)
Betriebsfläche	ca. 1.200 ha (inkl. GL) Sandstandorte AZ<20	ca. 3.800 ha	ca. 300 ha
Tierhaltung	> 300 Milchkühe	> 1.000 Milchkühe	keine Tierhaltung
Flächen in Schutzgebieten	Naturpark Schlaubetal (z.Z. stillgelegt)	FFH-, SPA-Gebiete (verpachtet an Mutterkuhbetrieb)	angrenzend an FFH-Gebiet
Energiepflanzenanbau	Vertragsanbau	wie Futterbau	versch. PV, u. a. extensivierte Nutzung von „Roggennachwuchs“
Anbau	konventionell	keine Extensivierung	„normal“
Biogasanlage	nein	seit 2006	seit 2002

2.1.1 Ziltendorfer Niederung

Der Betrieb³ repräsentiert Praxisbetriebe auf intensiven Standorten mit speziellen Nutzungsformen für Niederungsstandorte, die u. a. zeitliche Einschränkungen bei den Bewirtschaftungsmaßnahmen beinhalten. Die Region ist durch geringe Niederschläge (< 450) mm gekennzeichnet.

³ Bauerngesellschaft Ziltendorfer Niederung GbR, Herr Werner Reincke (Geschäftsführer), Hauptstr. 1c, 15295 Wiesenau

Die gesamten Flächen sowie der Betriebsstandort des Betriebes liegen in der Ziltendorfer Niederung. Der Betrieb besitzt ausgedehnte Flächen in FFH- und SPA-Gebieten (FFH 215, Mittlere Oder). Der überwiegende Teil der Flächen in diesen Gebieten wurde bereits extensiviert. Aus Gründen der Prämienberechtigung (Mutterkuhprämie) ist das landwirtschaftliche Unternehmen in zwei Betriebe getrennt worden, die jedoch gemeinsam verwaltet werden. Produktionsschwerpunkte des einen Unternehmens sind die Milchviehhaltung und der Ackerbau, dem anderen sind die Mutterkühe sowie die Mast der Fleischrinder zugeordnet. Als Milchkühe werden Holstein-Friesian-Kreuzungen mit einer durchschnittlichen Leistung von 10.000 kg pro Jahr gehalten. Ein Großteil der Fläche wird für die Futterproduktion (Getreide, Silomais, Silage) genutzt. Außerdem werden Winterraps und Zuckerrüben, für die der Betrieb ein Kontingent von 15.000 t besitzt, angebaut. Die 300 Mutterkühe weiden mit der Nachzucht vorwiegend auf Dauergrünland.

Der Betrieb hat den Bau der Biogasanlage im März 2006 fertiggestellt, die Abnahme der Biogasanlage erfolgte im Mai 2006. Eine UVP-Vorstudie wurde erstellt, ein weiteres Gutachten war aufgrund der bereits bestehenden baulichen Anlagen auf dem Betriebsgelände nicht erforderlich. Der Erlös wird mit 15,9 ct/kWh veranschlagt (Mischkalkulation aus EEG Abstufung nach BHKW-Leistung). Der Betriebszweig „Energiewirtschaft“ (Tier, Boden, Pflanze) trägt wesentlich zum Einkommen der ca. 70 Familien des Betriebes bei. Durch den Betrieb fließen ca. 350.000 € Pacht/a in die Region. Das Ziel der Betriebsleitung ist ein Anteil der Energieerlöse von einem Drittel. Die Abwärme aus dem BHKW wird nur zu geringen Anteilen zur Stallheizung benötigt. Hier hatte der Betrieb schon in andere Lösungen investiert (Wärmetauscher bei der Milchkühlung etc.). Der EEG-KWK-Bonus von 2 ct kann daher nicht in Anspruch genommen werden. Kosten der Silomaisproduktion liegen im Betrieb bei ca. 25 €/t. Als Personalkosten für den Betrieb wird ein halber Manntag veranschlagt (= 20.000 €/a). Zu den täglichen Arbeiten gehören die zweimalige Befüllung mit NawaRo sowie eine „ständige“ Kontrolle der relevanten Parameter (Temperatur, Pumpen, Rührwerke usw.; inkl. Alarmverbindung über Mobiltelefon). Bisher verwendete Substrate in der Biogasanlage: Gülle, Stallmist und 60–80 ha Mais (ausschließlich). Die Erhöhung des Maisanbauumfangs erfolgte bisher nur im Zusammenhang mit einer Reduzierung des Druschmaises (Körnermais wird durch Getreidefutter ersetzt) und mit einer Koppelung des Mais-Anbaus an Winterzwischenfrüchte wie z.B. Getreide-Ganzpflanzensilage.

Andere von dem Projekt erarbeitete und zu erarbeitende Fruchtfolgen (alternative Systeme) müssen sich an der Wirtschaftlichkeit von Mais messen lassen.

2.1.2 Dolgeln

Der landwirtschaftliche Betrieb in Dolgeln, einem Angerdorf am Rande des Oderbruchs, das früher zur Komturei Lietzen gehörte, betreibt seit 2002 eine Biogasanlage. Durch die Teilnahme an Programmen zur schonenden Bodenbewirtschaftung besitzt der Betriebsleiter⁴ große Erfahrungen in partiell extensivierten Produktionsverfahren (z. B. pfluglos seit 1992). Der Betrieb bewirtschaftet ca. 250 ha Ackerland. Für die Biogasanlage werden ca. 150 ha benötigt, aufgeteilt auf jeweils ca. 50 ha Roggen-GPS, 50 ha Mais-GPS und 50 ha Winterroggen, der als Roggenschrot der Anlage zugeführt wird. Bei entsprechenden Preisen

⁴ Herr Martin Schulze, OT Dolgeln, Ausbau 8, 15306 Lindenhof

(niedrige Qualitäten, Ausschussware) wird auch Roggen zugekauft. Auf 80 ha werden andere Kulturen angebaut (Weizen u. a., wobei Raps als NawaRo/Energiepflanze auch als Flächenstilllegung auf den Flächen rotiert). 10–20 ha werden nicht bewirtschaftet (langfristige Flächenstilllegung). Der Betrieb grenzt an ein Landschaftsschutzgebiet. Nur ca. 1 ha Fläche liegt direkt innerhalb des FFH-Gebiets und wird im Herbst gemulcht. Der Betrieb nimmt zurzeit an keinen Maßnahmen teil (AUM, Vertragsnaturschutz, etc.). Der Substrateinsatz der 250-kW-Biogasanlage liegt bei 15 t/Tag \Rightarrow 5475 t/Jahr.

2.1.3 Kieselwitz

Der Standort Kieselwitz⁵ wurde innerhalb des Projekts zur Repräsentation von Praxisbetrieben ausgewählt, die Grenzertragsstandorte bewirtschaften. Entscheidend war auch seine Einbindung in den Naturpark Schlaubetal. Für die Flächen des Betriebs Kieselwitz in und am Naturpark Schlaubetal sind die Landschaftsrahmenpläne Oder-Neiße und Oder-Spree relevant.

Der Betrieb besitzt noch keine Biogasanlage, betreibt jedoch Energiepflanzenanbau über Anbauverträge wie z. B. für Energie-Roggen. Mit einem benachbarten Landwirt plant der Betriebsleiter die Errichtung einer Gemeinschaftsanlage. Er ist an Informationen zur Risikoeinschätzung bei der Umstellung interessiert: Welche Fruchtfolgen kommen überhaupt in Frage und welche bringen auf dem schwierigen Standort möglichst gute Erträge? Ob für Biogas oder Tiere produziert wird, spielt eine geringere Rolle. Misserfolge und Experimente sollen vermieden werden. Es wird befürchtet, dass durch die Klimaänderung die Sommertrockenheit weiter zunimmt und Sommerkulturen demzufolge nicht mehr anbauwürdig sind. Dieses Problem einer nicht ausreichenden Wasserversorgung verschärft die ökonomischen Einschränkungen bei der Auswahl. Viele aus ökologischer Sicht vorteilhafte Energiepflanzen-Anbauverfahren (Zwischenfrüchte, Sommerungen etc.) bieten nur bedingt eine ausreichende Ertragssicherheit, um mit ihnen die Beschickung der Biogasanlage zu planen.

Die Regionalvermarktung z. B. in Form der Direktvermarktung bietet die Möglichkeit, eine höhere Wertschöpfung zu erreichen. Der Hofladen der Agrargenossenschaft Kieselwitz mit eigener Fleischerei bildet somit eine der Grundlagen des Betriebs. Über den Ladentisch geht Fleisch von Tieren, die auf dem Betrieb geboren, gemästet und geschlachtet wurden. Weitere Standbeine des Unternehmens sind der Feldbau, die Schweinehaltung und die Milchproduktion. Der Landwirtschaftsbetrieb hat 18 Beschäftigte.

Laut Betriebsleiter bleibt es Betriebsziel, mittelfristig die Milchproduktion zu erhalten (Quotenhöhe bei 120–140 Kühen: 1.200.000 l/a). Die niedrigen Milchpreise führen im Moment jedoch zu derartigen Defiziten, dass die Milchproduktion nur aufgrund ihres Beitrags zur Deckung der Gemeinkosten betrieben wird, ohne eine langfristige Perspektive der Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

⁵ Agrargenossenschaft Kieselwitz e.G., Hr. Riccardo Fischer (Vorsitzender), LPG Weg 7, 15890 Kieselwitz

2.2 Akteursgestützte Modellierung

2.2.1 Ablauf der Zusammenarbeit mit den Akteuren Landwirtschaft, wissenschaftliche Experten und Naturschutzvertreter

Die Methodik des Projekts sieht vor, durch die aktorsgestützte Herausarbeitung von Änderungen bzw. Änderungsmöglichkeiten der landwirtschaftlichen Nutzung im Zusammenhang mit dem Energiepflanzenanbau, zu Abschätzungen der sich hieraus ergebenden Auswirkungen auf den Naturschutz zu gelangen. Die Aufnahme des Ist-Zustands (bzw. die Entwicklung) auf den Betrieben wurde durch die Zusammenarbeit mit weiteren Experten und Handelnden begleitet.

Entsprechend der Validierungsaufgabe im Projekt wurden zwischen den verschiedenen Fachgesprächen und Workshops in Einzelgesprächen die Modellannahmen (Parameter, Koeffizienten etc.) und neu gerechneten Szenarien kritisch mit den Anforderungen und Anmerkungen seitens der Experten und Praxisbetriebe abgeglichen und anschließend überarbeitet.

Tab. 2-2: Zeitlicher Ablauf der Kooperationstermine und der Einbindung der Akteure (Experten, Praxisbetriebe etc.)

Datum	Veranstaltung (Veranstaltungsort)	Thema, Hintergrund
21.02.2006	Kooperationsgespräch der Projekte „Biomasse und Naturschutz“ und „SUNREG II“ (IUP, Leibniz Universität Hannover)	Kooperationsförderung DBU
12.04.2006	Treffen Landschaftspflegeverband Oder-Spree, Cottbus	Besichtigung von Biogasprojekten
20.06.2006	Treffen UNB Landkreis Oder-Spree (Fr. Witte und Hr. Ittermann), Beeskow	Naturschutzfachliche Änderungen durch Biogasanlagen
19.06.2006 16.08.2006 06.12.2006	Besichtigung des Betriebes und der Biogasanlage, Dolgelin	Datenerhebung/Modellierungsgrundlagen
21.06.2006 19.12.2006	Besichtigung des Betriebes in Kieselwitz	Datenerhebung/Modellierungsgrundlagen
15.06.2006 07.07.2006 05.12.2006 21.12.2006	Besichtigung des Betriebes und der Biogasanlage in Ziltendorf	Datenerhebung/Modellierungsgrundlagen
29.08.2006	Workshop 1: Arbeitstreffen am ZALF: „Fachgespräch zu Energiepflanzen-Fruchtfolgen“, Müncheberg	Akteursbeteiligung Absprache Projektvorgehen
16.10.2006	Treffen mit CoberaLand GmbH	Zugang zu den Ackerschlagkarteien der Betriebe
13.12.2006	1. Statusseminar in der Geschäftsstelle der DBU, Osnabrück	„Biomasse und Naturschutz“, Zwischenergebnisse, Projektkoordination
Validierungszyklus 1	Einzelgespräche mit den Landwirten und weiteren Akteuren	Modellanpassungen, Validierung der Modellergebnisse
23.05.2007	Workshop 2: Arbeitstreffen am ZALF, „Fachgespräch Modellszenarien“, Müncheberg	Thema: „Die Betriebe im Modell, Szenarien zum Energiepflanzenanbau“
Validierungszyklus 2	Einzelgespräche mit den Landwirten und weiteren Akteuren	Modellanpassungen, Validierung der Modellergebnisse
04.07.2007	Workshop 3: Arbeitstreffen in Ziltendorf „Fachgespräch neue Produktionsverfahren für Energiepflanzen“	- Vorstellung der neu gerechneten Szenarien (Biogasanlagen, Preisänderungen etc.), - Validierung/Verbesserung der Modellergebnisse und - Anpassung von weiteren Energiepflanzenanbauverfahren an die Betriebe
29.11.2007	2. Statusseminar am Zentrum für Umweltkommunikation der DBU, Osnabrück	„Biomasse und Naturschutz“, Projektergebnisse und Koordination
Validierungszyklus 3	Einzelgespräche mit den Landwirten und weiteren Akteuren	Modellanpassungen, Validierung der Modellergebnisse
16.04.2008	Abschluss-Workshop am ZALF	Thema: „Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen“

2.2.1.1 Übergreifende Zielstellungen der Akteursbeteiligung:

Die Umsetzungs- und Anwendungsbezogenheit der Akteursbeteiligung begründet sich durch folgende Aspekte:

1. Skalenübergang

Neben den Möglichkeiten, die durch das Modellsystem MODAM bestehen, einen größeren Raumbezug herzustellen (z. B. durch Übertragung und Anpassung der aggregierten Daten an andere Standortbedingungen) kann auch die Akteursbeteiligung einen Beitrag zum Skalenübergang von Betriebs- auf Regional- bzw. Landschaftsebene leisten.

Durch frühzeitiges Einbeziehen der Ziele und Interessen der am Prozess der wachsenden regenerativen Energieerzeugung (speziell Biomasse für Biogasanlagen) beteiligten Akteursgruppen können Inkompatibilitäten und Widersprüche divergierender Gruppen und Ziele aufgezeigt und ggf. aufgelöst werden. Der Austausch- und Diskussionsprozess insgesamt kann als eine Methode zur konstruktiven Überwindung von Konflikten angesehen werden. Infolge der genauen und transparenten Dokumentation der Methoden und Ziele und ihre Einbindung in die Modellierung der Betriebe und der berechneten Szenarien können die Systemgrenzen deutlich aufgezeigt werden. Dies ist eine wesentliche Grundlage für die Übertragung der Ergebnisse auf andere Regionen oder Bereiche.

2. Akzeptanz

Hierfür ist ein Prozess aus Lernen und Aufklärung, Austausch von Erfahrungen (Vermittlung der Standpunkte zum gegenseitigen Hineinversetzen) sowie des Auslotens von Unvereinbarkeiten und möglichen Win-Win-Situationen notwendig. Die Akzeptanz der im Projekt entwickelten Empfehlungen und damit ihre Anwendung/Umsetzung auf Betriebesebene hängt davon ab, wie stark Interessen der Gruppen in Deckung gebracht oder ob sogar mögliche Synergieeffekte berücksichtigt werden konnten. Unter der Voraussetzung eines vernünftigen Konsenses kann dabei die Ausweitung des Kreises der Beteiligten auch eine größere Akzeptanz bzw. Übertragbarkeit schaffen. Jedoch muss für einen funktionierenden Beteiligungsprozess eine gute Mischung aus Verantwortlichen und Entscheidungsträgern gefunden werden, da sich sonst dieser stärker in Richtung einer Informationsveranstaltung verschiebt.

2.2.1.2 Einbindung der Unteren Naturschutzbehörde (UNB)

Ein wesentlicher Partner für die Fragestellungen des Projekts wurde in der UNB Landkreis Oder-Spree⁶ gesehen.

Zu den Aufgaben der Unteren Naturschutzbehörde gehören unter anderen

- die Erstellung und Fortschreibung des Landschaftsrahmenplanes (LRP) und Prüfung der Landschaftspläne (LP),
- die Mitwirkung im Baugenehmigungsverfahren, Bauleitplanverfahren, Planfeststellungsverfahren, Genehmigungsverfahren nach dem Wasserrecht und nach dem Bundesimmissionsschutzrecht,
- die Überwachung der Natur- und Landschaftsschutzgebiete (NSG und LSG).

⁶ Umweltamt Landkreis Oder-Spree, Derzernat III, Rathenastr. 13, 15848 Beeskow

Landschaftsrahmenpläne

Der Landschaftsrahmenplan stellt die Ziele und Maßnahmen des Naturschutzes, der Landschaftspflege und der Erholungsplanung flächendeckend dar und bildet den Rahmen für die Arbeit der Naturschutzbehörden auf regionaler Ebene. Die Ziele und konkreten Vorschläge des Landschaftsrahmenplans werden mit anderen Planungen und Nutzungsinteressen abgestimmt und ausgiebig mit den Bürgern diskutiert. *Für Behörden ist der Landschaftsrahmenplan verbindlich*, für den privaten Grundstücksbesitzer oder Pächter hat er empfehlenden und orientierenden Charakter.

Der Landschaftsrahmenplan Oder-Spree ist vorhanden. Er wurde zusammen mit dem Landschaftsplan für die Ziltendorfer Niederung (gute Qualität) und für das Schlaubetal (Qualität zu oberflächlich) dem DBU-Projekt ausgehändigt. Für das Schlaubetal ist der für Naturparke notwendige Pflege- und Entwicklungsplan in guter Qualität zu erhalten. Dieser ist auch über ein PEPGIS abzufragen.

Landwirtschaft im Naturpark Schlaubetal

Die Betriebe unterschiedlicher Struktur bewirtschaften im Naturpark Schlaubetal einen Flächenanteil von ca. 16,5 %. Damit nimmt die Landwirtschaft einen geringeren Raum ein als in anderen Großschutzgebieten Brandenburgs. Der Waldanteil im Landbaugebiet liegt bei ca. 50 %, da sich die schlechten, sandigen Böden nur bedingt zum Ackerbau und nur in den feuchteren Niederungen zur Grünlandnutzung eignen. Der Flächenanteil des Grünlands ist entsprechend gering (< 5 %, s. Abb. 8). Dennoch hat die Landwirtschaft das Landschaftsbild, Kultur und Siedlungsstruktur der Region entscheidend geprägt. Hauptsächlich werden Roggen, Kartoffeln, Hülsenfrüchte, Ölfrüchte und Ackerfutter angebaut. Innerhalb der Tierhaltung hat die Mutterkuhhaltung den größten Stellenwert.

Die im Naturpark angestrebte naturverträgliche Landwirtschaft auf der ganzen Fläche bedeutet die Minimierung des Stoff- und Energieeintrags in die Umwelt unter möglichst vollständiger Schließung von Kreisläufen, den Erhalt einer harmonischen Kulturlandschaft und der genetischen Vielfalt sowie eine artgerechte Tierhaltung. Wichtige Instrumente zur Umsetzung dieser Ziele sind der Vertragsnaturschutz und die Regionalvermarktung. Wichtigste Partner sind die im Naturpark wirtschaftenden Betriebe wie z. B. die Agrargenossenschaft Kieselwitz und der Landschaftspflegeverband.

Genehmigungsverfahren für Biogasanlagen und Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

Bei der UNB laufen aktuell eine ganze Reihe Genehmigungsverfahren für Biogasanlagen nach BImSchV ein. Zusätzlich zu den ca. sieben bereits installierten Anlagen befinden sich ca. neun im Antragsstadium.

Für die einzelnen Projekte müssen folgende Unterscheidungen getroffen werden:

- Handelt es sich bei der Baumaßnahme Biogasanlage um einen genehmigungsbedürftigen Eingriff nach FFH?
Entscheidend hierfür sind:
 - die Lage der Biogasanlage bzw. Nähe zu einem FFH-Gebiet,
 - die Emissionen (Größe, kW),
 - bereits vorhandene Genehmigungen durch Ställe, Silos oder Güllelagerungsbehälter
- Beeinträchtigt die verbundene Bodennutzung ein relevantes Gebiet?
- Liegen prioritäre Arten und Lebensraumtypen vor?

Im Außenbereich gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 6 BauGB n.F. werden Biogasanlagen im räumlich-funktionalen Zusammenhang mit der Hofstelle eines landwirtschaftlich Betriebs als privilegierte Vorhaben eingeführt. Bei diesen greift u.U. der für Kostenaufstellungen wichtige Sachverhalt der eintreffenden Rückbaupflicht⁷: Für im Außenbereich privilegierte Vorhaben wird nach § 35 Abs. 5 BauGB n.F. „nach dauerhafter Aufgabe der zulässigen Nutzung“ eine Rückbaupflicht normiert.

Entsprechend der Liste „UVP-pflichtiger Vorhaben“ im Gesetz zur Umsetzung der UVP-Änderungsrichtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz vom 27.07.2001 ist zu prüfen, ob eine UVP erforderlich ist (Anhang A 4)⁸:

- Anlagen zur biologischen Behandlung von nicht besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, auf die die Vorschriften des KrW-/AbfG Anwendung finden, mit einer Durchsatzleistung von 50 t Einsatzstoff oder mehr je Tag bedürfen einer allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls
- Anlagen mit 10 t bis weniger als 50 t Einsatzstoffen der vorgenannten Einsatzstoffe je Tag bedürfen einer standortbezogenen Vorprüfung des Einzelfalls. (Zu diesen gehören die Anlagen in Dolgelin.)
- Verbrennungsmotoranlagen zur Erzeugung von Strom, Dampf, Warmwasser, Prozesswärme oder erhitztem Dampf mit einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW bis weniger als 50 MW beim Einsatz von Biogas bedürfen einer standortbezogenen Vorprüfung des Einzelfalls.
- Darüber hinaus ist zu prüfen, ob eine UVP erforderlich ist, wenn die Anlage als Nebenanlage einer anderen UVP-pflichtigen Anlage betrieben wird. So sind z. B. die Errichtung und der Betrieb bestimmter Intensivtierhaltungen UVP-pflichtig bzw. bedürfen sie einer Vorprüfung des Einzelfalls.

Beispiele für UVP und Biogasanlagen:

- Umweltverträglichkeitsprüfung für das Vorhaben Errichtung und Betrieb einer Biogasanlage in 17291 Nordwestuckermark
- Vorprüfung zur Feststellung der UVP-Pflicht für das Vorhaben Neubau der Biogasanlage in 15858 Friedland/OT Leibnitz
- Vorprüfung zur Feststellung der UVP-Pflicht für das Vorhaben Errichtung und Betrieb einer Biogasanlage in 16918 Freyenstein
- Vorprüfung zur Feststellung der UVP-Pflicht für das Vorhaben Errichtung und Betrieb einer Verbrennungsmotorenanlage zur Erzeugung von Strom unter Einsatz von Biogas, einschließlich Errichtung und Betrieb einer Biogasanlage in 14776 Brandenburg an der Havel/OT Gollwitz

2.2.1.3 Ableitung naturschutzfachlicher Anforderungen

Für eine betriebsgenaue Betrachtung boten sich die gebietsspezifischen Landschaftspläne an, um sich über Entwicklungsmöglichkeiten und Ziele in diesen Naturräumen zu verständigen. Dabei kann die Frage nach der angestrebten Landschaftsentwicklung in Ansätzen genutzt werden, um Entwicklungspfade daraus abzuleiten.

⁷ 1. Über die Rückbaukosten der Biogasanlagen wird im Zuge der Neuverhandlung des EEG im Bundestag 2007 entschieden.

⁸ Aus: http://www.muf-rlp.de/uploads/tx_RBDDownloadSystem/Biogasanlagen_Handbuch_03.pdf

Vertreter der Landschaftspflegeverbände und der unteren Naturschutzbehörde äußerten während des ersten Workshops den Bedarf zur Untersuchung der Produktionsoptimierung für spezielle Habitats. Diese Aufgabe wurde von dem Projekt in allgemeine Zielvorgaben übersetzt.

Der FFH-Prozess in den Untersuchungsgebieten ist weitgehend abgeschlossen. Die **Lebensraumtypen**⁹ der für das Projekt relevanten FFH-Gebiete bei Dolgelin (397, Lietzen/Döbberin) und bei Ziltendorf (215, mittlere Oder) bilden den Hintergrund für die Abschätzung möglicher negativer Folgen durch einen verstärkten Energiepflanzen-Anbau. Als Ansatzpunkt für die Diskussion bietet sich das SPA-Gebiet in der Ziltendorfer Niederung an. Generell gilt es deshalb, Alternativen zu Mais zu finden, da dessen vornehmlicher Anbau nach bisherigen Einschätzungen in Natura-2000-Gebieten der Bewahrung des Erhaltungszustands der Gebiete entgegensteht.

Anforderungen und Ziele aus der Landesplanung

Im Folgenden werden aus dem Landschaftsprogramm Brandenburg (Länderebene, 1994) und dem Landschaftsrahmenprogramm des Landkreises Oder-Spree (Kreisebene, 1998) und aus den Landschaftsplänen der Gemeinden Ziltendorf und Wiesenau (Amtsebene, 1998) die naturschutzfachlichen Anforderungen dargestellt und, soweit erforderlich, für die Untersuchungsgebiete abgeleitet.

Der **Landschaftsrahmenplan** stellt flächendeckend die Ziele und Maßnahmen des Naturschutzes, der Landschaftspflege und der Erholungsplanung dar. Er ist der Rahmen für die Arbeit der Naturschutzbehörden auf regionaler Ebene. Die Ziele und konkreten Vorschläge des Landschaftsrahmenplans werden mit anderen Planungen und Nutzungsinteressen abgestimmt und ausgiebig mit den Bürgern diskutiert. Für Behörden ist der Landschaftsrahmenplan verbindlich, für den privaten Grundstücksbesitzer oder Pächter hat er empfehlenden und orientierenden Charakter. Für den Naturpark Schlaubetal sind die Landschaftsrahmenpläne Oder-Neiße und Oder-Spree relevant.

Auswertungen aus dem **Landschaftsprogramm**¹⁰ vom Land Brandenburg zu Entwicklungszielen und Handlungsschwerpunkte zur nachhaltigen Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes:

Anmerkungen und Ziele für das Gebiet:

Bauerngesellschaft Ziltendorfer Niederung:

- Entwicklung der Ergänzungsräume für einen Feuchtbiotopverbund (Jedoch höhere Anforderungen in der Neuzeller Niederung: Hier sollen großräumige Niedermoore und Auen entwickelt werden.)
- Verbesserung der Flächen für Wiesenbrüter: Grundwasser- und Überschwemmungsverhältnisse, extensiver Grünlandnutzung, Störungsarmut)

⁹ Quellen: Zeitschrift Naturschutz und Landespflege (des Landes Brandenburg) 2002, Jahrgang 11, Heft 1_2: Katalog der natürlichen Lebensräume und Arten der Anhänge I und II der FFH-Richtlinie in Brandenburg – 36 Lebensraumtypen. Natura 2000 CD der BfN: FFH-Gebiete und Lebensraumtypen.

¹⁰ Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg. Bearbeiter: Planungsgruppe Ökologie und Umwelt. Bearbeitungsstand 11/1993, aktualisiert 1994.

Agrargenossenschaft Kieselwitz: (Direkt innerhalb der Gebiete der Handlungsschwerpunkte):

- Erhalt großflächiger, störungsarmer Landschaftsräume,
- Erhalt und Entwicklung einer natur- und ressourcenschonenden Bodennutzung.
- Als spezifisches Entwicklungsziel wird die Abstimmung von Erholungsnutzung mit den Schutz-, Pflege- und Entwicklungszielen genannt. Deutlich wird hierdurch die gegenüber dem Tourismus relativ geringe Bedeutung der ertragsarmen Landwirtschaft in diesem Gebiet (Waldanteil ca. 50 %, Bodenpunkte ~ 20).

Betriebsflächen des **Betriebes Dolgeln** grenzen nur an einige Naturschutz- und FFH-Gebiete an. Für die betriebseigenen Flächen stehen keine gesonderten Entwicklungsziele an.

Für die Ableitung von naturschutzrelevanten Flächen des Betriebes Ziltendorf konnten die Landschaftspläne von Wiesenau und Ziltendorf herangezogen werden. Die im Landschaftsplan aufgeführten Feucht und Frischwiesen, die aufgrund ihrer Schutzwürdigkeit einen möglichen Nutzungskonflikt ergeben könnten, werden ackerbaulich nicht genutzt. Die zeigt die Anpassung des Betriebs an Umwelanforderungen: Naturschutzfachlich interessante Grünlandflächen der Bauerngesellschaft sind an einen Mutterkuhbetrieb verpachtet.

Der Landschaftsplan für das Untersuchungsgebiet des Betriebes Kieselwitz ist zur Ableitung von naturschutzfachlichen Zielen für das Projekt weniger geeignet (Witte 2006, mündl. Mitteilung). Der Pflege- und Entwicklungsplan für den Naturpark Schlaubetal soll im Folgenden kurz dargestellt werden:

Die projektrelevanten Ergebnisse der Kartenauswertungen werden in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tab. 2-3: Naturschutzfachliche Anforderungen an die Landesplanung aus dem Landschaftsprogramm Brandenburg

Ziele/Gebiete	Bauerngesellschaft Ziltendorfer Niederung	Agrargenossenschaft Kieselwitz	Betrieb Martin Schulze
Kernflächen in Betriebsbesitz	Kernflächen des Naturschutzes (Mittlere Oder), ⇒ Mutterkuhbetrieb	Flächen im Naturpark Schlaubetal, ⇒ Stilllegung	Nur angrenzend an Kernflächen des Naturschutzes (Oderbruch)
Karte 2: Entwicklungsziele			
Handlungsschwerpunkte zur nachhaltigen Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes spezifisches Entwicklungsziel	<i>Entwicklung</i> der Ergänzungsräume für einen Feuchtbiotopverbund	<i>Erhalt</i> großflächiger, störungsarmer Landschaftsräume Abstimmung von Erholungsnutzung mit den Schutz-, Pflege- und Entwicklungszielen	
Karte 3.1 Besonderer Schutz von Lebensräumen		Sicherung störungsarmer Räume mit naturnahen Biotopkomplexen als Lebensräume bedrohter Großvogelarten	
Karte 3.2: Boden			
Nachhaltige Sicherung seltener und charakteristischer Bodenbildungen BB Verbesserung/Regeneration von Potenzialen besonders belasteter Böden ***	Schutz überwiegend naturnaher Auenböden Abbau stofflicher Belastungen des Bodens und Vermeidung von Nutzungsrisiken im Bereich der Rieselfelder und landwirtschaftlicher <i>Flächen mit erhöhten Stoffeinträgen in der Vergangenheit</i> (Gülle- bzw. Klärschlamm- ausbringung über das Maß der GfP hinaus bzw. über die Maßgaben der AbfKlärV) hinaus)		Schutz wenig beeinträchtigter und Regeneration degradierter Moorböden
Nachhaltige Sicherung der Potenziale überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzter Böden	Bodenschonende Bewirtschaftung land- und forstwirtschaftlich leistungsfähiger Böden	Bodenschonende Bewirtschaftung überwiegend sorptionsschwacher, durchlässiger Böden	Trifft beides zu

*** Im Landschaftsplan werden Aschespülfelder und Schlammhalden eines ehemaligen Heizkraftwerkes genannt. Wie stark sind landwirtschaftlich genutzte Flächen oder Mast- und Zuchtanlagen des Betriebs „Ziltendorfer Niederung“ davon betroffen?

*Pflege- und Entwicklungsplan Schlaubetal*¹¹

Der Pflege- und Entwicklungsplan (PEP) dient als konkrete Handlungsgrundlage der Naturparkverwaltung. Grundlage ist eine Biotopkartierung zur Erfassung des aktuellen Zustandes der Landschaft. Darauf aufbauend unterbreitet der PEP Vorschläge für eine optimale naturschutzfachliche Entwicklung der Flächen. Er stellt flächenscharfe Entwicklungsziele einschließlich notwendiger Maßnahmen zu ihrer Umsetzung dar. Der PEP wird unter Berücksichtigung der einzelnen Nutzergruppen und Behörden erarbeitet. Die Umsetzung erfolgt durch die Naturparkverwaltung in Zusammenarbeit mit anderen Behörden, Gemeinden, Verbänden und Landnutzern.

Hauptziele von Landschaftsschutzgebieten (LSG) sind die Bewahrung des Landschaftsbildes und die Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes. LSG dienen vorrangig der naturnahen Erholung. Land-, Forst- u. Fischereiwirtschaft sowie Jagd sind im Rahmen der Schutzverordnung ohne wesentliche Einschränkungen möglich. Im Naturpark Schlaubetal sind z.Z. sechs LSG mit einer Gesamtfläche von fast 8.000 ha ausgewiesen. Das Naturschutzgebiet (NSG) Schlaubetal besteht seit 1961 und umfasst nach einer Erweiterung im Jahre 2002 1.504 ha. Kernstück ist das Schlaubetal mit vielen Seen und Mooren sowie natürlichen Buchenwäldern und Traubeneichen-Kiefernmischwäldern.

2.2.2 Die Workshops

2.2.2.1 Workshop 1: „Fachgespräch zu Energiepflanzen-Fruchtfolgen“ am 29.08.06

Auf dem Arbeitstreffen (Workshop 1) wurden von den Landwirten und der UNB die verschiedenen auf den Betrieben durchgeführten Energiepflanzen-Anbauverfahren und Fruchtfolgen diskutiert. Es wurde gezeigt, wie mit dem Betriebsmodell innerhalb des Modellsystems MODAM die ökonomischen wie ökologischen Folgen bestimmter Anbaumaßnahmen berücksichtigt werden können. Dabei wurde deutlich, dass das ZALF die Aufgabe wahrnehmen kann, die UNB in der Bewertung von Fruchtfolgen zu unterstützen.

Aufgrund der wirtschaftlichen Situation wurde von den Betrieben festgestellt, dass zur Herausbildung ökologisch orientierter Fruchtfolgen besondere Rahmenbedingungen erforderlich sind. Die Zusammenarbeit der UNB (und anderen Naturschutzvertretern) mit den Landwirten fordert das Projekt dazu heraus, Lösungswege zu erarbeiten, die dazu führen, maisorientierte Fruchtfolgen „ökologisch aufzubrechen“, ohne ökonomische Sachverhalte zu vernachlässigen.

Eine der Aufgaben des Arbeitstreffens war die Auswahl von Energiepflanzen-Produktionsverfahren und -Fruchtfolgen, um sie im Modell durchzurechnen. Der Workshop wurde mit einer Feldbegehung der Energiepflanzenversuche (u. a. für EVA¹²) am ZALF abgeschlossen.

¹¹ Pflege- und Entwicklungsplan für den Naturpark Schlaubetal – Vorstudie –, Landkreise Oder-Spree, Spree-Neiße und Dahme-Spreewald (in Arbeitsgemeinschaft mit Fa. Luftbild und Planung Potsdam, AVES Berlin und Büro für angewandte biologische und landschaftökologische Untersuchungen (BALU) Berlin 1997) und http://www.grossschutzgebiete.brandenburg.de/np_st/landschaft_08_02.html

¹² EVA – Verbundvorhaben von der FNR (Gödecke 2006)

Zu den Diskussionsthemen auf dem Workshop gehörten:

- Allgemeine Chancen und Risiken des steigenden Energiepflanzenanbaus,
- Modellerklärung und Darstellung:
 - Inhalte und Detailtiefe innerhalb der Modellrechnungen
 - Grundsätzliches Angebot des Projekts an die beteiligten Landwirte: Modell als strategisches Planungsinstrument
 - Identifikation von Konfliktfeldern mit dem Naturschutz,
 - standortökologische Entwicklungspotenziale der Betriebe
 - Quantifizierung der Kosten
- Änderung der Situation auf den Betrieben durch Energiepflanzenanbau:
 - Umgang mit naturschutzfachlich interessanten Flächen,
 - Stilllegungsbewirtschaftung,
 - Art und Intensität der Produktionsverfahren,
 - Gärrückstandsverwertung
- Überschneidungsbereiche von Naturschutz und Landwirtschaft:
 - Abgrenzung „Gute fachliche Praxis“ von Honorierungsleistungen, eigene Einschätzungen der Landwirte, Beteiligung an der Ausgestaltung von Maßnahmen, Vermittelbarkeit von Bewirtschaftungsauflagen, Probleme aufgrund von fehlender Informationsvermittlung oder unvereinbarer Interessenkonflikte
 - Aufgabe der Landwirtschaft für Nahrungsangebot und Lebensraumgestaltung: Diskussion über mögliche naturschutzfachliche Ziele, geeignete Indikatoren und umsetzbare Nutzungskonzepte: z. B. Beschreibung der Ziltendorfer Niederung als Fressplatz für Vögel, da die Nutzungsbeschränkungen bei der Etablierung eines Brutgebiets für bestimmte Vogelarten sich nur schwer mit einem relativ intensiven Ackerbau vereinbaren lassen. Diesbezüglich wäre festzustellen, wie die Nahrungsquantität und -qualität für Vögel verbessert werden kann? Produktionstechnik (PSM, mechanische Bearbeitung, Vernässungszustand) und Bearbeitungszeiträume beeinflussen die Habitatsigenschaften von Flora und Fauna und damit das Angebot an Kulturpflanzen und Kräutern sowie Insekten, Amphibien und kleinen Säugern.

Workshopergebnisse zu Kulturarten, Produktionsverfahren und Fruchtfolgen

Im Folgenden sollen kurz die Kulturarten und Produktionssysteme für Biogasanlagen dargestellt werden, die in dem Fachgespräch von den Landwirten erörtert wurden.

Der Betriebsleiter des **Betriebes in Dolgeln** führte als erste Bedingung des Wirtschaftens an, dass der Anbau „vernünftig“ erfolgen muss, egal ob für Futter oder Biogas. Insgesamt sah er bei Verwendung für Biogas einen etwas größeren Spielraum. Grundkonzept ist Ganzpflanzensilage (Roggen oder Triticale) und Mais. Nach seinen Erfahrungen eignen sich alle kornreichen Kulturen auch für die Biogasproduktion, wie z. B.

- **Mais, Winterroggen, Triticale, Lupine.**
- **Eiweißhaltige Kulturen** werden dagegen als weniger günstig angesehen. Vor allem, weil Schwefel z.T. Probleme im Motor des BHKW bereitet.
- **Sudangras**, das im Betrieb angebaut wurde, litt stark unter der Kälte im Frühjahr (bis Mai) und ist kaum aufgelaufen, stattdessen wurde der Bestand hauptsächlich von
- **Melde** gebildet, die aufgrund ihres energiereichen Samenanteils für die Verwertung in der Biogasanlage ebenso geeignet ist. Bei der Umwidmung der Flächen ist auf die

Bestimmungen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) zu achten. Bei einer Inanspruchnahme der NawaRo-Förderung (45 €/ha) muss auch die angegebene Fruchtart (hier war es Sudangras) geerntet werden.

- **Sonnenblumen** sind als Nachfrucht geeignet, denn ihre Kosten sind gering, Nachbau ist möglich, wird aber eingeschränkt durch den hohen Wasserbedarf. In den Untersuchungsgebieten ist der Boden im Mai häufig zu stark ausgetrocknet, weshalb der Nachbau problematisch ist. Bei ausreichend Regen, wächst sie und erreicht eine gute Bodenbedeckung von hoher Konkurrenzkraft (unterdrückt Unkraut). Läuft sie nicht auf, wird gemulcht.
- **Kartoffeln** haben zu hohe Kosten und Ertrag ist standortbedingt nicht ausreichend, u.U. kann eine Beregnung dies ausgleichen.

Des Weiteren führte der Betriebsleiter an, dass ein Mix an Kulturen notwendig sei, der stark vom Standort abhängig ist. Die Fruchtfolge ist variabel und auf Wasserknappheit abzustimmen. Aufgrund der sehr heterogenen Niederschlagsverteilung auf unterschiedlichen Standorten kann nur sehr kurzfristig über Anbaufolgen entschieden werden. So folgt auf trockenen Standorten dem ersten Fruchtfolgeglied „**Getreide**“ (**Roggen** oder **Triticale** als Ganzpflanzensilage), die **Sonnenblume** als Zweitkultur nur dann, wenn das Klima (Sommertrockenheit) es zulässt. Je nach Witterung kann z. B. die **Sonnenblume** eine gute Wuchsleistung bis Oktober erreichen. Dann bleibt sie stehen und es wird kein Roggen mehr nachgebaut. Bringt die **Sonnenblume** nur geringe Wuchsleistungen, wird früher geschnitten und noch **Roggen** angebaut. Je nach Standort wird mit drei bis vier Kulturen geplant, um gute Erträge zu erhalten. Um diese für den Betrieb wichtige Flexibilität zu erhalten („Kunst in Brandenburg zu überleben“), werden auf 150 ha von 220 ha Energiepflanzen für die Biogasanlage angebaut. Ein Patentrezept gibt es nach Aussage von Herrn Schulze nicht.

Auf dem **Betrieb in Ziltendorf** ist die Flexibilität geringer, da unter höherer Priorität Futter für die Milchkühe gebraucht wird. Es werden daher hauptsächlich Kulturen angebaut, die eine hohe Milchleistung ermöglichen. **Mais** und **Getreide-GPS** stellen ebenfalls das Grundkonzept. Die Fruchtfolge im Betrieb in der Ziltendorfer Niederung besteht aus **Mais**, **Getreide-GPS** und **Futterrüben**.

Es wurde bisher kein Unterschied gemacht, ob die einzelnen Fruchtarten nun als Futter oder für die Biogasanlage produziert werden. Die Qualität ist das entscheidende Kriterium bei beiden Verwendungen. Aufgrund der guten Qualität konnte der zuvor kalkulierte Aufwand für die Anlage unterschritten werden.

Die gemeinsame Grundlage für Futtermittel und Biogasanlage hat auch arbeits- und betriebsorganisatorische Gründe. Silage für die Tiere oder für die Biogasanlage wird aus einem Silo entnommen. Mehrere getrennte Silos bedeuten einen höheren Aufwand für Entnahme, Transport etc., der sich bisher für den Betrieb nicht rechnen würde. Die Ansprüche der Rinderfütterung (es wird ausschließlich Silage gefüttert) erfordern jedoch die zeitgleiche Öffnung mehrerer Silos für Mais, Luzerne, Gras/Futterroggen. Die Anmerkung von Moderatorenmenseite zu Sandwichsilage mit Mischungen, die sich infolge ihrer Gleichförmigkeit für Biogasanlagen anbieten, wurde als organisatorisch schwierig beurteilt.

Der Betriebsleiter betonte jedoch seine Offenheit für alternative Anbauverfahren, wie z. B. **Sonnenblumen**. Bei **Zwischenfrüchten** ist die relativ trockene Lage zu berücksichtigen (Niederschläge z.T. < 550 mm), so dass eine Beregnung erforderlich werden kann. Die tief

wurzelnde **Luzerne** kann auf den Standorten in der Ziltendorfer Niederung das Grundwasser erreichen (Grundwasserspiegel liegt bei 1,50 m). Der Anbau von **Kleegrass** ist mit hohen Kosten (erforderliche Beregnung) verbunden. **Luzerne** ist zu bevorzugen, sie erreicht auch ohne Beregnung Erträge von 60–70 dt/ha. Es werden im Betrieb noch weitere Beregnungsanlagen geplant.

Der **Betrieb in Kieselwitz** hat noch keine Biogasanlage, ihn interessiert das Risiko bei einer Umstellung. Folgende Aspekte sind für den Betrieb wichtig:

- Risikoarme und standortgerechte Fruchtfolgen;
- Gute Erträge, unabhängig ob für Biogas oder Tierfütterung;
- Anpassung an die voraussichtliche Klimaänderung: Sommertrockenheit nimmt zu, Sommerkulturen werden noch schwieriger;
- Probleme mit Wasser, aus ökonomischer und aus ökologischer Sicht.

2.2.2.2 Workshop 2: „Fachgespräch Modellszenarien“ am 23.05.07

Diskussionsgegenstand auf diesem Workshop waren Szenarientwicklung, Anpassungen der Parameter und Koeffizienten auf Basis der ersten Modelldurchläufe, veranschlagte und realisierte Biogasausbeuten auf den Betrieben und im Modell, Sensitivitäten für Preise von Marktfrüchten.

Als Modellierungs- und Szenarienanpassungen wurde hinsichtlich der Ausgangsszenarien gemeinsam festgelegt:

- Im „Basis“-Szenario sollte die optimale Biogasausbeute (BGA) angesetzt werden.
- Das „Preis“-Szenario sollte mit einem 150 %igen Niveau auskommen¹³ (vom Modell verwendete Marktpreise lagen somit bei ca. 15-18 € pro dt Getreide)
- Zur Abschätzung einer Vollkostenrechnung sollen zusätzliche Modellierungsdurchgänge mit einer Biogasanlage erfolgen, deren Auslastungsgrad auf 99 % fixiert ist. Das Modelldesign erlaubt im normaler Weise eine stufenlose Führung der Anlagenleistung und dem folgend auch variable Investitionskosten.
- Berechnungen im „Liberalisierungs“-Szenario sollen aufgrund der einsetzenden Marktkräfte auf dem hohen Preisniveau durchgeführt werden, besser noch bei doppeltem Marktpreis. Eine verzögert einsetzende Preiserhöhung der Futtermittel sollte mit berücksichtigt werden. Pachtpreise würden wieder sinken, auch für bessere Standorte.
- STI sollte auf 20 % beschränkt werden, Modell kalkulierte Roggen zu gering, unter Liberalisierungsbedingungen wäre nicht genutzte Fläche Roggen.
- Wintergerste ist für die Betriebsstandorte weniger vorteilhaft als Roggen, besonders schlechte Aufgänge aufgrund eines trockenen Herbstes, einem höheren Wasserbedarfs und der Anfälligkeit im Winter (Schneesimmel und mangelnde Kälteresistenz) sind der Grund für einen geringeren Anbauumfang als in den ersten Kalkulationen. Deshalb wurde das Preisverhältnis Roggen zu Gerste geändert (WRO>WGE).
- Luzerne für Bestückung der Biogasanlage eigentlich zu teuer, wird aber als hochwertiges Tierfutter gebraucht.

¹³ Im Frühjahr 2007 wurden noch moderate Preisanstiege erwartet.

Als Ergebnis/Meilenstein des Workshops 2 „Szenarienentwicklung“ wurden Flächentypen zur Bearbeitung innerhalb des Projekts identifiziert. Für diese Flächen sollten ökologisch angepasste Bewirtschaftungsformen der Energiepflanzenproduktion mit MODAM bewertet werden.

Folgende Grafik zeigt die Betriebsflächen, auf denen sich ökologisch negative Änderungen infolge einer Intensivierung zeigen können. Im Anschluss an die Grafik werden Fragestellungen und Auswahl kurz skizziert.

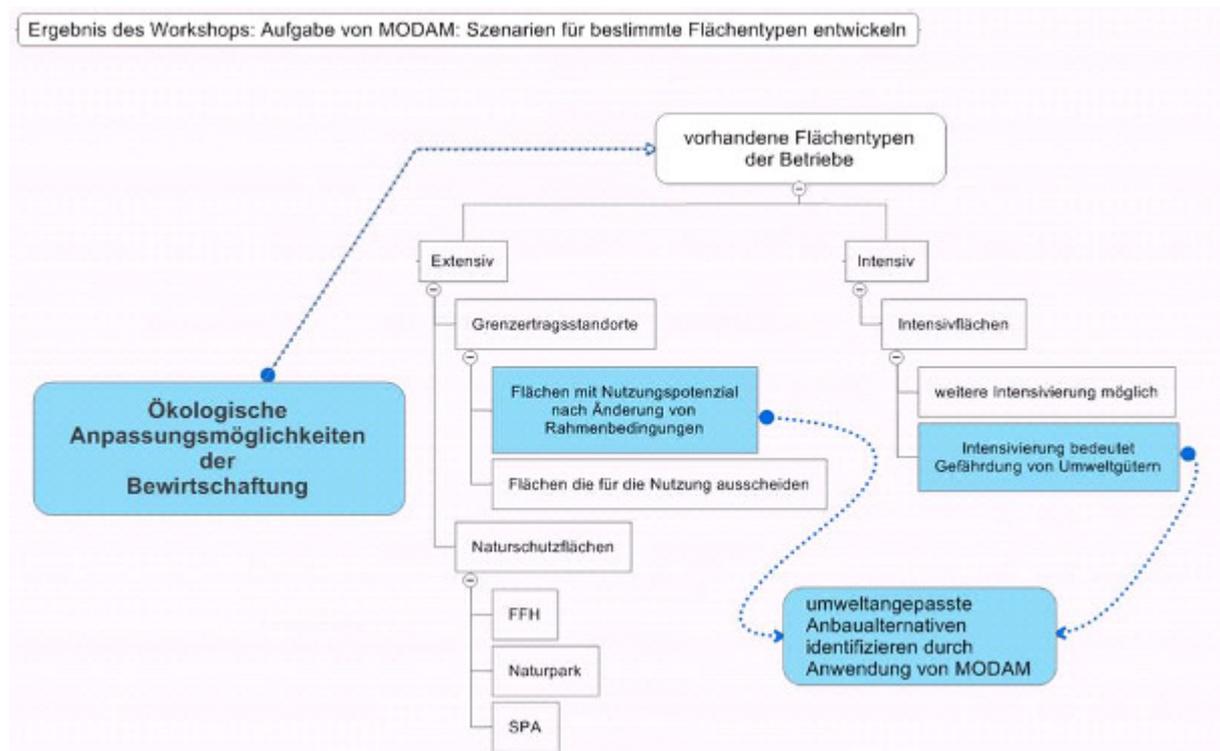


Abb. 2-1: Auswahlprozess relevanter Flächentypen für die Modellierung

Die Unterteilung der Flächentypen erfolgte auf Grundlage der aktuellen Bewirtschaftungsform und der potenziellen Änderung durch die Nutzung von Energiepflanzen.

Als ein für das weitere Vorgehen wesentliches Ergebnis des Workshop 2 konnte festgehalten werden, dass es von den Teilnehmern als sinnvoll erachtet worden ist, Anbaugruppen bzw. Flächentypen in die Szenarien zu integrieren:

1. **Intensivflächen**, bei weiterer Unterteilung nach Ertragsklassen;
2. **Grenzertragsstandorte**, wobei zu fragen ist, ob oder unter welchen Bedingungen eine Intensivierung zu erwarten ist (arbeitswirtschaftliche Gründe, ...);
3. **Bisherige Extensivflächen**, (abhängig von weiteren Rahmenbedingungen) Naturchutzflächen Art.16 etc.

Die besondere Projektausgangslage der engen Zusammenarbeit mit drei Landwirtschaftsbetrieben kann gut für eine betriebsstarke Analyse genutzt werden. Flächentypen können als höchste Aggregierungsstufe auf dem Einzelbetrieb herausgearbeitet werden. Nach Bildung von Ertragsklassen, Anteilen an der Betriebsfläche sowie der Zuordnung von Änderungswahrscheinlichkeiten kann im nächsten Schritt von der

schlagspezifischen Betriebsbetrachtung abstrahiert werden. Es muss jedoch bedacht werden, dass eine höhere Flächenschärfe im Modell nur mit einem erhöhten Arbeitsaufwand erreicht werden kann.

Folgende Fragen und Thesen können die zusätzliche Unterscheidung von Flächentypen: (Intensiv/Extensiv) unterstützen:

Ergeben sich Änderungen durch den Energiepflanzenanbau?

1. *These:* Vorausgesetzt, der Betrieb verfügt über genug Ausweichflächen, ist nur eine geringe Steigerung der Flächenintensität bei Umwidmung von Nahrungs- zu Energiepflanzen zu erwarten, solange der innerbetriebliche Wert der Energiepflanzenverwertung in Biogasanlagen höher ist als Verkauf der Marktfrüchte. Ersatz der geringer entlohnten Flächen durch Energiepflanzen bei gleicher Intensität.

Wann wirkt sich die Flächenkonkurrenz auf die Intensität der Systeme aus?

2. *These:* Bei steigenden Preisen der Marktfrüchte und fest installierter Anlagenleistung führt Mehrbedarf (gegenüber Ausgangslage ohne BA) zu Druck auf Grenzertragsstandorte: Hierdurch steigt die Gesamtintensität.

Welche ökologischen Leistungen können durch Energiepflanzen zu minimalen Kosten erzielt werden?

3. *These:* Es gibt Anbausysteme für Energiepflanzen, die ökonomisch sinnvoll anzubauen sind, aber auch höhere Lebensraumqualitäten beinhalten.

Bereits bestehende Naturschutzflächen der Betriebe in FFH-, SPA- oder Naturparkgebieten mit vertraglichen Bindungen können weniger durch die im Projekt entwickelten Anpassungsstrategien erreicht werden. In der Diskussion anderer Projekte (München, Eiffel etc.) zeigte sich jedoch ein Zusammenhang zwischen Flächenkonkurrenz und der Aufgabe von Umweltmaßnahmen (Teilnehmer an AUM-Programmen erlebten, dass Umweltzahlungen von den gebotenen Pachtzahlungen übertroffen wurden).

Die für naturschutzfachliche Fragestellungen wie Biodiversität und Artenschutz bekanntlich weniger interessanten Intensivflächentypen der Betriebe sollten in den Augen der am Workshop teilnehmenden Betriebs- und Umweltvertreter ebenfalls nicht im Fokus der MODAM-Szenariorechnungen stehen. Einerseits handelt es sich bei diesen Flächen um diejenigen mit der größten ökonomischen Bedeutung für die Betriebe, auf denen eine Nutzungsflexibilität regelmäßig ökologische Gesichtspunkte überlagert. Andererseits ist die Wahrscheinlichkeit einer gravierenden Verschlechterung bei einem Wechsel innerhalb intensiver Anbauverfahren weniger gegeben als zwischen stark extensivierten Verfahren und ihrer Wiederintensivierung. Da hier Regelungs- und Anpassungsmöglichkeiten nur schwer möglich sind, wurde vorgeschlagen, die Auswertung der Szenariorechnungen von vornherein auf die Verschlechterung abiotischer Indikatoren wie Bodenabtrag und N-Überschüsse zu konzentrieren.

2.2.2.3 Workshop 3: Fachgespräch „Neue Energiepflanzen-Produktionsverfahren“ am 04.07.07

- ☉ Validierung der neuartigen Energiepflanzen-Verfahren und der gerechneten Szenarien;
- ☉ Ökologische Anpassungen der Energiepflanzen-Produktionsverfahren;
- ☉ Verminderung/Vermeidung von Umweltbelastungen bei langfristiger Sicherung ökonomischer und weiterer Unternehmensziele.

Die Validierung der im Modell neu aufgenommenen Energiepflanzen-Verfahren wurde zunächst ZALF-intern mit dem Leiter der Energiepflanzenabteilung J. Hufnagel und anschließend mit den Betriebsleitern vorgenommen. Sie diente der Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Folgen bei Änderungen von Produktionsverfahren und Fruchtfolgen. Durch die vorgestellten Modellierungsarbeiten inklusive der modellinhärenten Bewertungen konnten potenzielle Fruchtfolgen durchgerechnet und geplant werden. Innerhalb des kurzen Zeitrahmens des Projekts wurde die Aufgabe stärker in der Verifizierung der Modellannahmen als in der tatsächlichen Implementierung neuer Verfahren gesehen. Die diskutierten Optimierungen bewegten sich deshalb eher innerhalb des oberen Teils der folgenden Grafik (Management-Regelkreis). Die Umsetzung der neu entwickelten und in die Modell-Datenbank eingepflegten Anbausysteme kann auf den Betrieben nur ansatzweise erfolgen. Ebenso verläuft die anschließende Kontrolle und Anpassung auf der Ebene der begleitenden Gespräche.

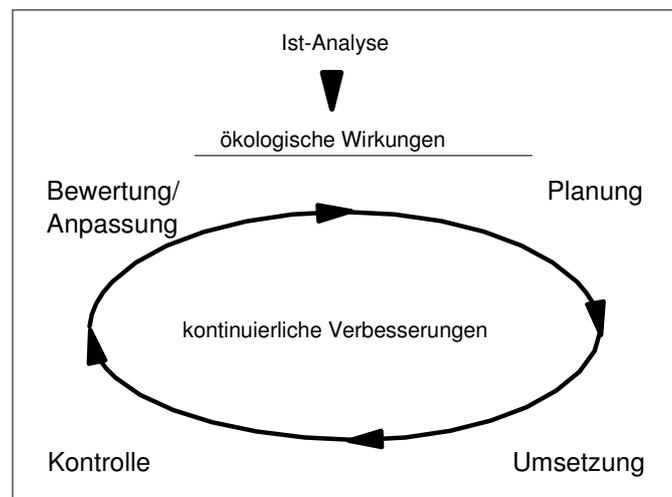


Abb. 2-2: Management-Regelkreis

Quelle: nach FAT Österreich/Erzinger

Die **Ist-Analyse** auf den Betrieben lieferte Aufschluss über folgende umweltrelevante Sachverhalte und Konfliktbereiche:

- Die „Gute fachliche Praxis (GfP), insbesondere
 - Bodenschutz, Erosionsgefährdung, PSM, Düngung
 - naturschutzfachlich interessante Flächen, Konfliktbereiche

Bei den Gesprächen zur **Planung und Umsetzung** wurde vor allem auf das Umweltziel Erhöhung der Biodiversität durch Fruchtfolgegestaltung und Kulturartenspektrum abgezielt. Hierzu ein kurzes Beispiel für diskutierte Umsetzungsschwierigkeiten:

Als Einwand gegen die vom Naturschutz propagierte mosaikartige Bewirtschaftung der Flächen wurden die Eingliederungsschwierigkeiten in Betriebsabläufe angemerkt. Auch wenn Beschickungskonzepte für die Biogasanlage eine sukzessive Ernte nah gelegener Flächen im Frühjahr/Sommer theoretisch möglich erscheinen ließe, wäre hiermit ein hoher Planungsaufwand bei zu geringer Schlagkraft und unflexibleren Arbeitsabläufen verbunden: Managementkonzepte müssten eine schlaginterne zeitliche Staffelung von Arbeitsschritten oder Aberntung für Sandwich-Silagen einbeziehen.

Andere Handlungsempfehlungen aus dem Workshop 3, bezogen auf aktuelle Herausforderungen (Preise, Klima) bei der Biogasproduktion:

- ➔ Bei Preissteigerungen von Marktprodukten gewinnen Anlagenkonzepte mit vollständiger Abwärmenutzung und wesentlicher Reststoffverwertung (Gülle, Stallung) an Bedeutung, Reine Nawaro-Anlagen können die steigenden Opportunitätskosten auf der Fläche (infolge eines annähernd doppelt so hohen Flächenanspruch pro installierter kW-Leistung der BA) schlechter abpuffern.
- ➔ Beim Anbau der Energiepflanzen sind zur Kostensenkung des Substrateinsatzes, die ca. 1/3 der Gesamtkosten ausmachen, flexible Strategien nötig: z. B. entscheidet im Fall einer Winterroggen-Aussaat der rechtzeitige, jedoch klimaabhängige Zeitpunkt der Ganzpflanzensilage-Ernte über eine mögliche Zweitnutzung der Fläche mit Hirse oder Silomais. Sehr wichtig in einem „guten Maisjahr“ ist nach erfolgreicher Silageernte auch eine mögliche Körnernutzung der nicht mehr für Biogas-Substrate benötigten Flächen.

2.2.2.4 „Abschlussworkshop“ am ZALF

Eingeleitet von kurzen Impulsvorträgen wurden die Themen „Ökonomische und ökologische Aspekte beim Anbau von Energiepflanzen für Biogasanlagen“ und „Ansprüche des Naturschutzes – Optionen im Biogasanbau“ in breiter Versammlung diskutiert. Ziel dabei war es, Empfehlungen auf der Grundlage der ökologischen Bewertung durch MODAM zu erarbeiten.

Eines der vielleicht wichtigsten Ergebnisse des Workshops bestand in der allgemeinen Einschätzung der Teilnehmer, dass eine Stärke des Modells in der zeitraumbezogenen Erfassung von Änderungsmöglichkeiten besteht. Die Zusammenfassung längerer Anbauperioden und Fruchtfolgen und die Ex-ante-Abschätzung möglicher Effekte und Entwicklungen infolge bestimmter Rahmenbedingungen lassen sich durch das Modell dabei besser abbilden als eine konkrete Gefährdung im Raum. Hier sind regelmäßig die speziellen Standortbedingungen und regionstypischen Anforderungen ausschlaggebend für mögliche Zielkonflikte. Eine Bewertung und Gewichtung unserer Parameter und Indikatoren muss sich daher regelmäßig an spezielle Aufgabenstellungen anpassen.

2.2.3 Einzeltreffen und Einzelgespräche

Während zahlreicher Hofbesuche und Telefonate wurden die kooperierenden Landwirtschaftsbetriebe in die Projekt- und Modellierungsarbeiten eingebunden. Ziel war, neben der Datenaufnahme von Produktionsverfahren der Betriebe, die besonderen ökonomischen Bedingungen der Biogasproduktion und die damit verbundene Umweltleistungen und -Risiken zu identifizieren und für die Workshops aufzubereiten. In den

verschiedenen Modellierungsphasen wurden in wiederholten Einzeltreffen mit den Betriebsleitern intensive Fachgespräche zu folgenden Themen durchgeführt:

- ☉ Absprache und Datenbereitstellung,
- ☉ Aufnahme von Betriebsverfahren für verschiedenen Standorte, Klärung diverser Sachverhalte aus den Ackerschlagkarteien,
- ☉ Anpassung an Standardverfahren,
- ☉ Bewertung,
- ☉ Validierung des Modellansatzes „Biogasanlage“ sowie der Modellparameter anhand von Szenariorechnungen.

Betriebsverfahren

Für die Berechnung der ökonomischen und ökologischen Optimierungen innerhalb des Betriebsmodells MODAM wurde eine Auswahl der auf den Betrieben durchgeführten Produktionsverfahren (PV) getroffen.

Das Vorgehen kann in folgender Weise untergliedert werden:

- 1) Auswahl und Diskussion derjenigen Produktionsverfahren auf den Kooperationsbetrieben, die für den Energiepflanzeneinsatz in der Biogasanlage bisher angewendet werden oder in Zukunft zur Anwendung vorgesehen sind.
 - a. Im Fall von **Betrieb Dolgelin** sind dies der größte Teil der PV, da der Betrieb die angebauten Kulturarten überwiegend innerbetrieblich in der Biogasanlage verwertet. Nur auf ca. 70 ha des 279 ha Betriebs werden noch Marktfrüchte angebaut. Der Landwirt überlegt, ob er auf den Anbau von Raps als NawaRo zukünftig verzichtet, da der relativ hohe bürokratische Aufwand für NawaRo und steigende Marktpreise andere Marktfrüchte interessanter machen. Als Energiepflanzen werden zurzeit angebaut: Mais, Lupine, Winterroggen, Sonnenblume, Sudangras und Melde.
 - b. Im Fall von **Betrieb Ziltendorf** werden keine gesonderten PV zur Bereitstellung von Biomasse für die Beschickung der Biogasanlage angewendet. Die Substrate werden entsprechend der Futtererzeugung der Milchkühe und Rinder produziert. Es schließt sich die Frage nach einem gesonderten Biomassepfad für die Biogasanlage an: Welche spezielle Fruchtarten (oder neue Sorten) könnten angebaut werden, die weder direkt noch als Silagen für die Fütterung zu verwenden wären? Umgekehrt gibt es auch Futterstoffe, die allein für die Rinder verwendet werden (z. B. die unter Beregnung stehenden). Bisher werden an Energiepflanzen nur Mais, Futterroggen und Luzerne angebaut, bzw. in der Biogasanlage verwendet.
 - c. Im Fall von **Betrieb Kieselwitz**, der noch keine Biogasanlage besitzt, können die unter a. + b. genannten PV für eine erste Optimierungsrechnung verwendet werden, dies jedoch bei Berücksichtigung des z.T. sehr leichten Standortes. (Produktionsverfahren unterscheiden sich voraussichtlich jedoch stärker hinsichtlich der Aufwandsmengen und Erträge, als hinsichtlich der Arbeitsschritte). Für Energiepflanzen in Frage kommen folgende Anbaukulturen: Winterroggen, Mais, Gerste, Feldgras.
- 2) Abfragen der Einschätzungen der Betriebsleiter, um die Übertragbarkeit auf einen größeren Zeit- und Raumausschnitt zu gewährleisten. Es wurden schrittweise Verallgemeinerungen und Vereinfachungen der betriebsspezifischen Daten

vorgenommen sowie Einschätzungen relevanter Entwicklungen der Betreiber zu Systemgrenzen verdichtet, um sie in die Szenarien mit einfließen zu lassen:

- a. Nachhaltige Erträge der eingesetzten PV und Fruchtfolgen.
 - b. Interessante Alternativen zu Mais: z. B. Hirse, Sudangras oder Getreidemischungen? Ertrags- und DB-Schätzungen
 - c. Relevanz und Vorzüglichkeit der verwendeten oder vorstellbaren PV bei verschiedenen Preisentwicklungen
 - d. Kostensenkungs- vs. Ertragsmaximierungsstrategien in den Fruchtfolgen: Diesbezügliche Kalkulationen zum Wechsel der Strategien. Vergleich mit Ergebnissen von MODAM.
 - e. Absicherung klimatischer Risiken bei innerbetrieblich verwerteten Produkten; (erfolgt nicht über Ausgleich von Mindererträgen über Marktpreissteigerungen bei ausgedehnten Missernten).
 - f. Absicherung der Preisunsicherheiten z. B. bei größeren Anlagen oder Gemeinschaftsanlagen auf dem Terminmarkt? Bei welcher Preisentwicklungshöhe (Volatilität) übersteigt der Spekulationsgewinn die Kosten für Optionspreise, Provisionen, Arbeitsaufwand etc.
- 3) Allgemein ist auch nach übergreifenden Betreiberkonzepten, wie z. B. dem Beitrag der Biogasanlage zu Recycling- und Energiekonzepten für den Gesamtbetrieb oder die Region zu fragen:
- a. Welchen (mengenmäßigen und ökonomischen) Anteil an den eingesetzten Substraten haben nicht speziell für die Anlage angebaute Energiepflanzen oder Stoffe?
 - b. Werden andere Reststoffe für die Biogasanlage mit verwendet (z. B. Abfallpartien der Futtersilagen, Stilllegungsaufwüchse etc.)?

Diesbezügliche Einzelheiten der Betreiberkonzepte könnten z. B. über Fragen der Logistik erschlossen werden: Ob bei den Silolagern oder an anderer Stelle spezielle Zwischenlager für den späteren Abtransport zur Biogasanlage angelegt werden (Zwischenlager für Futterausschuss) oder für welche Substrateigenschaften die Einbringtechnik in der Anlage ausgelegt ist. Entscheidende Bedeutung kommt dabei auch der Häcksellänge von rohfaser- und ligninreichen Futterstoffen bei der Ernte zu.

2.3 Das Modell MODAM

Die ökonomische und ökologische Bewertung des neuen Betriebszweiges „Biogas“ wie die der Produktionsverfahren mit energetischer Verwertung (Energiepflanzen) wurde mit Hilfe des Modellsystems MODAM¹⁴ (Kächele 1999, Zander 2003, Schuler & Kächele 2003, Sattler et al. 2005) vorgenommen.

MODAM ist aus mehreren hierarchisch gekoppelten Datenbanken zusammengesetzt. Die hier beschriebenen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren werden ökonomisch und ökologisch analysiert, bis anschließend aus den generierten Daten ein Betriebsmodell erstellt wird. Ein externer Solver gibt das Optimierungsproblem nach seiner Lösung als Ergebnis zur

¹⁴ MODAM = Multi-Objective Decision support system for Agro-ecosystem Management

Auswertung an die Datenbanken zurück. Eine zusätzliche GIS-Kopplung würde die Visualisierung verschiedener Parameter in Kartenform ermöglichen.

2.3.1 Modellstruktur und Datenbanken

2.3.1.1 Überblick

Um effektive Umwelthanpassungen von effizienten Produktionsstrukturen entwickeln zu können, werden Ansätze benötigt, die eine detaillierte sowohl ökonomische als auch ökologische Analyse verschiedener Politikvarianten erlauben. Auf der Basis einer systemanalytischen Betrachtung zur Modellbildung und den Anforderungen an multikriterielle Analysemethoden von Landnutzungsänderungen wurde ein flexibler, hierarchischer Modellaufbau gewählt, der auf bewerteten Produktionsverfahren aufbaut, die einem automatisch generierten Betriebsmodell zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe des Betriebsmodells können dann verschiedenste Szenarien im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Auswirkungen untersucht werden. Die Umsetzung dieses Ansatzes erfordert umfangreiche Datensammlungen, die in einer konsistenten Modellstruktur zusammengeführt, mit Hilfe verschiedener Modellbausteine bewertet und schließlich zu dem betrieblichen Planungsmodell verarbeitet werden können.

Das Modellsystem lässt sich in drei hierarchisch verknüpfte Ebenen gliedern. Auf der ersten, deskriptiven Ebene werden die Produktionsaktivitäten, Standorte und die Ziele der Optimierung beschrieben. Standortsspezifische Anbauverfahren werden in einer Form zusammengestellt oder generiert, welche die ökonomischen und ökologischen Partialanalysen der zweiten Ebene ermöglicht. Die zweite Ebene liefert mittels einer Reihe statisch deterministischer Analysemodule die ökonomischen Kosten und Nutzen und die ökologischen Potenziale und Risiken der Anbauverfahren. Letztere bilden die Basis der ökologischen Nebenziele im Betriebsmodell der dritten Ebene. Das Wissen über die komplexen Zusammenhänge zwischen verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionsweisen und deren Auswirkungen auf Landschaftsfunktionen ist jedoch ebenso wie die Datenbasis nur lückenhaft. Es wurde daher ein Fuzzy-Logik-Ansatz implementiert, der es ermöglicht, auch unsicheres Wissen bei der regionalen, ökologischen Bewertung landwirtschaftlicher Anbauverfahren einzubeziehen (Sattler et al. 2005).

Auf der dritten Ebene, der integrierten Analyse, werden die technischen, ökonomischen und ökologischen Koeffizienten zusammen mit den betrieblichen Kapazitäten an den LP-Generator übergeben, der ein statisches bzw. ein rekursiv dynamisches, gemischt ganzzahliges, lineares Programmierungsmodell erstellt, das ökologische Ziele als Nebenbedingungen beinhaltet. Das statische oder dynamische Betriebsmodell kann daher ökologische und ökonomische Ziele simultan optimieren. Diese Herangehensweise erlaubt neben der Analyse von Preis- und Politikvarianten auch die spielerische Untersuchung, wie höhere Zielerreichungsgrade mit den bestehenden Produktionsalternativen erreicht werden können. So können Trade-off-Funktionen für verschiedene Zielpaare, aber auch pareto-optimale Lösungen ermittelt werden.

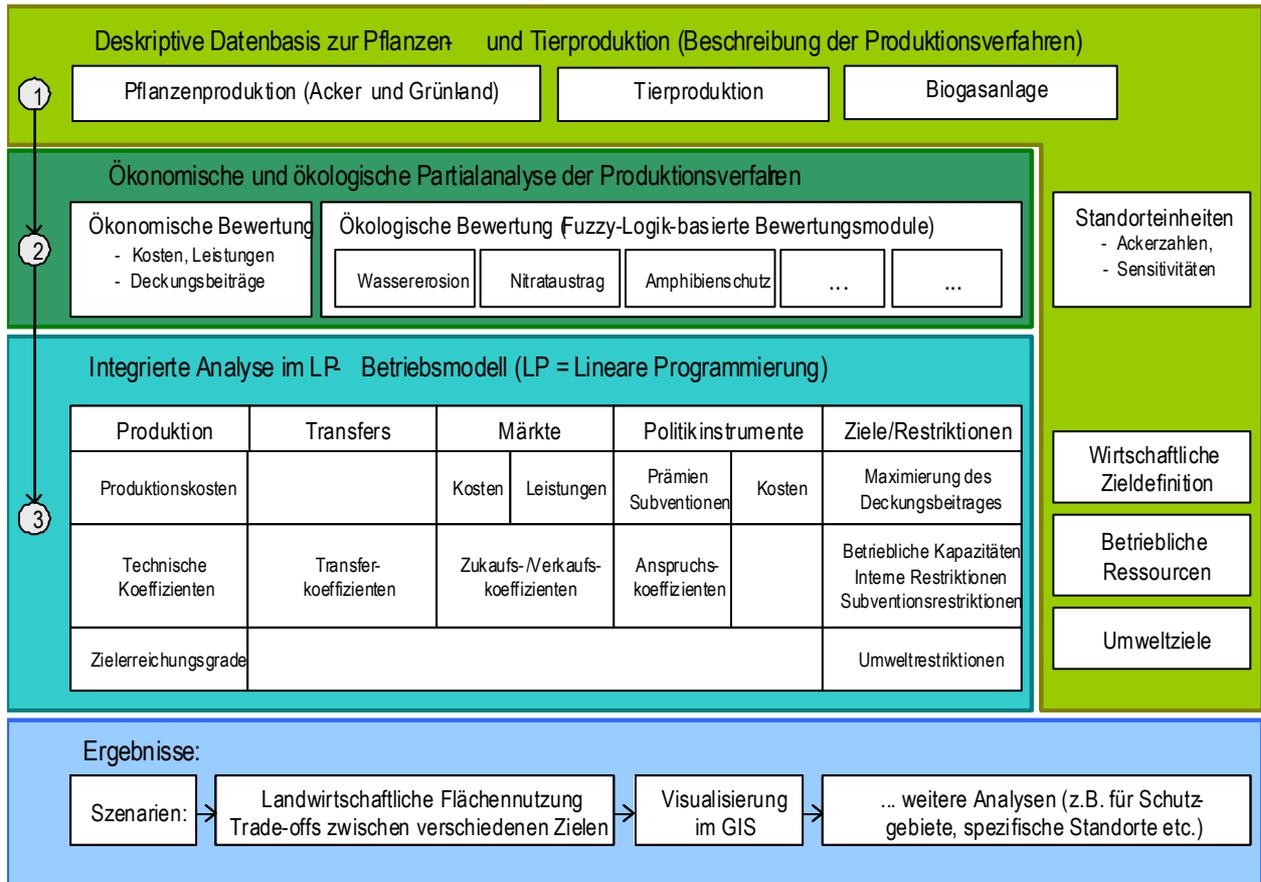


Abb. 2-3: Struktur von MODAM: Dreistufige, integrierte ökonomische und ökologische Analyse der Nachhaltigkeit von Landnutzungssystemen

2.3.1.2 Detaillierte Beschreibung des Modellierungsablaufs

Das Optimierungsproblem in MODAM zielt auf das Maximieren des Gesamtdeckungsbeitrages des Betriebs. Hierbei werden analog zu den Teildeckungsbeitragsberechnungen für einzelne Produktionsverfahren nur die, sich mit der Organisation ändernden, Leistungen und Kosten berücksichtigt.

$$TGM = \sum_{j=1}^J c_j * x_j$$

TGM = total gross margin

c_j = unit gross margin of commodity j produced by technological process j

x_j = quantity of commodity j produced by technological process j

(Schuler & Kächele 2003: 53)

Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit der Parametrisierung, bei der bestimmte Restriktionen oder Parameter, z. B. die aus einem Biogassubstrat erzielbare Methangasausbeute schrittweise geändert werden. Der Betrieb wird gezwungen, jeweils einen höheren Anteil an Substraten in die Biogasanlage zu fahren, wobei die

entsprechenden Auswirkungen auf die Zielfunktion, resultierend aus der notwendigen Anpassung der Betriebsorganisation, sichtbar werden.

Das Optimierungsproblem wird mit Hilfe des externen Solvers „XA“ gelöst, welcher aus den Produktionsmöglichkeiten diejenige Kombination von Produktionsalternativen ermittelt, die zu dem angestrebten Ziel der Deckungsbeitragsmaximierung unter Einhaltung der gegebenen Restriktionen führt (= optimale Betriebsorganisation). Im Anschluss an die Optimierung werden die Ergebnisse in Form des Gesamtdeckungsbeitrags sowie der Anzahl und der Umfang der in der Lösung enthaltenen Aktivitäten in das Datenbanksystem rückimportiert und in Berichten, Ergebnisformularen oder in GIS-Kartenform präsentiert.

Die ökonomische Partialanalyse

Für die ökonomische Partialanalyse der Verfahren wird der Deckungsbeitrag als Differenz aus Erlös und variablen Produktionskosten herangezogen. Die Erlöse ergeben sich aus den zu den aktuellen Marktpreisen bewerteten pflanzlichen und tierischen Erzeugnissen sowie den Prämienansprüchen. Auf der Kostenseite werden in der Pflanzenproduktion Betriebsmittelkosten (z. B. Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmittel), Betriebskosten für eingesetzte Schlepper und Geräte (Treib- und Schmierstoffe), die Kosten für Arbeitskräfte sowie die Zins- und Pachtkosten berücksichtigt. Bei den Tierproduktionsverfahren bestehen die variablen Kosten aus den Kosten für die Bestandsergänzung, den Tierarzt- und Tierhygienekosten, Beiträge für Versicherungen und Verbände sowie Zins-, Arbeits-, Maschinen- und Futterkosten. Die Kostenkalkulation ist u. a. abhängig von den für den Betrieb zugrunde gelegten Hof-Feld-Entfernungen (Transportkosten), Flächengrößen (mögliche Bearbeitungsbreiten, Anzahl Wendemanöver etc.) und den eingesetzten Arbeitsverfahren (Schlepperleistung etc.). Die Fixkosten werden im Pflanzenbau auf die Verfahren angerechnet, da davon ausgegangen wird, dass die Schlepper und Geräte oberhalb ihrer Abschreibungsschwelle genutzt werden. In der Tierhaltung werden die Fixkosten je Stallplatz umgelegt.

Der in MODAM berechnete Deckungsbeitrag dient als ökonomischer Indikator. Insgesamt werden in dieser Untersuchung zwei Deckungsbeitragstypen verwendet. Dabei entspricht der Deckungsbeitrag I (Marktleistung + Prämien – proportionale Spezialkosten (Saatgut, Dünger...)) der oben genannten Definition. Der Deckungsbeitrag II entspricht dem Deckungsbeitrag I abzüglich der Lohnkosten.

Die ökologische Partialanalyse

Die ökologische Partialanalyse dient der Bewertung der Produktionsverfahren hinsichtlich ihrer Umweltwirkung. Die Bewertung erfolgt indikatorenbasiert (z. B. Nitrataustrag ins Grundwasser). Zu jedem Indikator wird ein Umweltqualitätsziel definiert (z. B. Schutz des Grundwassers vor Nitratreinträgen). Ergebnis der Bewertung ist ein sogenannter Zielerreichungsgrad (ZEG). Er gibt die Eignung eines Verfahrens an, ein bestimmtes indikatorbezogenes Umweltqualitätsziel zu erreichen. Der ZEG kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je näher der ZEG an 1 ist, desto höher ist die Eignung des Verfahrens. Eine detaillierte Darstellung der Vorgehensweise für den im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Ansatz zur ökologischen Bewertung erfolgt im Kap. 2.5 und bezieht sich auf die Fragestellung: Wie können pflanzenbauliche Produktionsverfahren hinsichtlich ihrer Wirkung auf ausgewählte abiotische und biotische Indikatoren bewertet werden?

2.3.1.3 Die integrierte Analyse (LP-Betriebsmodell)

Im Betriebsmodell werden die technischen, ökologischen und ökonomischen Daten der Produktionsverfahren zusammengeführt und deren gegenseitige Abhängigkeiten dargestellt. Hierbei werden die potenziell möglichen Produktionsverfahren zu den betrieblichen Ressourcen und Zielen in Beziehung gesetzt. Grundsätzlich muss hierfür in MODAM zunächst der landwirtschaftliche Betrieb beschrieben werden. Der Betrieb wird hierbei als ein offenes System angesehen, welches aus mehreren Betriebszweigen wie Pflanzenbau, Biogasanlage und Tierhaltung bestehen kann. Während der Pflanzenbau für sich allein stehen kann (z. B. reine Ackerbaubetriebe), kann die Tierhaltung nicht ohne pflanzenbauliche Aktivitäten und die Biogasanlage wiederum nicht ohne die beiden realisiert werden, da sie durch verschiedene Restriktionen zwingend an die Pflanzenproduktion bzw. Pflanzen- und Tierproduktion gebunden ist. So müssen bspw. für die anfallenden Wirtschaftsdünger oder Gärreste entsprechende pflanzenbauliche Verfahren mit organischer Düngung vorhanden sein, da ein Verkauf von Wirtschaftsdüngern nicht vorgesehen ist. Auch bei Haltungssystemen mit Einstreu müssen entsprechende Pflanzenproduktionsverfahren mit Strohbergung zur Verfügung stehen. Zusätzlich ist die Tierhaltung über die Fütterung mit dem Pflanzenbau verbunden. Als Futter können nicht-marktfähige Nebenprodukte (Stroh) sowie auf Ackerland oder Dauergrünland erzeugtes Wirtschaftsfutter eingesetzt werden. Der Zukauf von Futter ist ebenfalls möglich. Den Betrieb verlassen die erzeugten marktfähigen pflanzlichen und tierischen Erzeugnisse. Von außen bezieht der Betrieb die diversen Betriebsmittel (z. B. Saatgut) sowie Tiere für die Bestandsergänzung. Weitere Faktoren sind die betriebliche Ausstattung mit den Produktionsfaktoren Arbeit, Land und Kapital sowie die szenariospezifischen agrar-politischen Rahmen- und Standortbedingungen. In MODAM können sowohl einzelne oder mehrere individuelle Betriebe als auch sogenannte Regionshöfe eingerichtet werden, bei denen die gesamte Untersuchungsregion als ein Betrieb interpretiert wird.

Innerhalb der Simulationsläufe gilt die Annahme, dass der Betriebsleiter als unabhängiger Entscheider ökonomisch rational handelt und Gewinnmaximierung für den Betrieb anstrebt wird, um dessen langfristige wirtschaftliche Überlebensfähigkeit zu erreichen und zu sichern. Die speziellen und persönlichen Fähigkeiten des Betriebsleiters sowie dessen Wissensstand über ökologische Zusammenhänge und Umweltrisiken werden nicht berücksichtigt. Die Generierung der LP-Teilmatrizen erfolgt in MS ACCESS. Die Teilmatrizen sind thematisch strukturiert und über Transferzeilen und -spalten miteinander verknüpft. Je nach dem zu untersuchenden Problem können einzelne Matrizen vom MODAM-Nutzer an- oder abgewählt werden. So werden z. B. für einen Ackerbaubetrieb die Matrizen für Tierhaltung und Fütterung deaktiviert. Die Teilmatrizen werden dann an einen externen Solver XA übergeben und zu einer Gesamtmatrix zusammengeführt. Die Lösung erfolgt mittels Linearer Programmierung, einem Verfahren zur Optimierung linearer Zielfunktionen über ein System an linearen Gleichungen und Ungleichungen nach dem Simplexalgorithmus. Der Simplexalgorithmus ist ein bewährtes Verfahren in der linearen Optimierung, da es i. Allg. schneller zu einer Lösung gelangt als andere Verfahren. Es löst ein Problem nach endlich vielen Schritten exakt oder stellt dessen Unlösbarkeit oder Unbeschränktheit fest. Nach Start der Simulation konkurrieren die Produktionsverfahren im LP-Modell um die effizienteste Verwertung der betriebseigenen Produktionsfaktoren (Flächenanspruch, Arbeitszeitbedarf, eingesetztes Kapital für Betriebsmittelkosten etc.). Dem gegenüber steht ihr Erlös durch den Verkauf oder durch die betriebliche Weiternutzung (z. B. als Futter) der erzeugten Produkte. Durch die Auswahl bestimmter Produktionsverfahren können auch Prämien eingelöst

werden. Zusätzlich schränken bestimmte Restriktionen den Lösungsraum ein. Dazu zählen Kontingentierungen (z. B. für Milch oder Zuckerrüben), Fruchtfolgerestriktionen (z. B. phytosanitäre Gründe, chronologische und technologische Machbarkeit) sowie die Restriktionen, die sich durch die Abhängigkeiten zwischen Tier- und Pflanzenproduktion ergeben.

Zielfunktion des Systems ist die Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrags des Betriebes. Zusätzlich können ökologische Zielsetzungen berücksichtigt werden, diese gehen ebenfalls als Restriktionen in den LP-Lauf ein. Aus der Menge aller möglichen Produktionsverfahren werden mit Hilfe des Optimierungsverfahrens diejenigen ausgewählt, welche sich mit den im Betrieb vorhandenen Produktionsressourcen unter den gewählten Rahmenbedingungen zu dem besten Ergebnis führen.

MODAM bildet im Allgemeinen je Simulationslauf ein mittleres Wirtschaftsjahr ab. Dies soll die Rahmenbedingungen widerspiegeln, die sich ebenfalls von Jahr zu Jahr ändern können und auch die kurzfristigen Produktionsentscheidungen vom Landwirt, welche in der Regel für den Verlauf eines Wirtschaftsjahres geplant werden. Zur Abbildung von Fruchtfolgen können jedoch auch mehrere Jahre in Folge simuliert werden. Dazu können zwei Ansätze verwendet werden: der statisch-komparative und der rekursiv-dynamische Ansatz (vgl. Zander 2003: 96). In den Modellierungen dieser Arbeit wurde ausschließlich der statisch-komparative Ansatz verwendet.

2.3.2 Vorhandene Produktionsverfahren und Datenherkunft

Die in MODAM verwendeten Produktionsverfahren werden als sogenannte Standardproduktionsverfahren definiert, welche die gegenwärtig in der Praxis am häufigsten angewendeten Produktionsweisen repräsentieren. Abweichende Produktionsalternativen (wie die neu von den Praxisbetrieben aufgenommenen) sollen dabei die Handlungsspielräume in der Ausgestaltung der Produktion aufzeigen. Die für die Beschreibung der MODAM-Produktionsverfahren notwendigen Daten, wie z. B. die Schätzung der Erträge, basiert zum großen Teil auf Expertenwissen (vgl. Zander 2003). Informationen zur gebräuchlichen Technologie und deren Koeffizienten wurden überwiegend aus den Standarddatentabellen zur Betriebskalkulation des KTBL (u. a. KTBL 2004, 2006) übernommen. Preise werden jährlich nach den Erzeugerpreisstatistiken der ZMP (z. B. ZMP 2006) aktualisiert. Weitere Datenquellen stellen die Futterwerttabellen der DLG (u. a. DLG 1997; DLG 1991) dar. Das zu Beginn des Projekts aktuelle Preisniveau von 2006 wurde jedoch als außergewöhnlich niedrig erachtet, so dass in den Szenarien mit den Preisen von 2004 gerechnet wurde.

Die Beschreibung der pflanzenbaulichen Produktionsverfahren in MODAM umfasst die möglichst differenzierte Darstellung der einzelnen pflanzenbaulichen Maßnahmen, von der Grundbodenbearbeitung, über Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, und mechanische Pflegemaßnahmen bis zur Ernte der Produkte. Dieses erfolgt so detailliert wie möglich, aber dennoch so flexibel wie nötig, um die langjährige Praxis im Mittel der Jahre wiedergeben zu können. Zusätzlich werden die Verfahren nach der Bodenqualität differenziert und definiert. Das Maß für die Bodenqualität bildet dabei die Ackerzahl. Es werden insgesamt vier Ackerzahlklassen unterschieden. Grundsätzlich wird hierbei angenommen, dass Bodenqualität und Anbauintensität positiv korrelieren, d.h., dass bessere Böden intensiver bewirtschaftet und damit höhere Erträge erwirtschaftet werden, auch wenn z. T. auf sehr tonigen Böden infolge unoptimaler Bearbeitungszeitpunkte gegenteilige Effekte auftreten

können. Für Ackerland wurden die Erträge nach einem Ertragsmodell von Roth (1995) und für Grünland nach einem Ansatz von Schalitz (1995) geschätzt. In der Ertragsschätzung für Ackerland werden auch Fruchtfolgeeffekte durch die Vorfrucht mit berücksichtigt. Relevant ist dies insbesondere für die organischen Verfahren, da hier die N-Versorgung nur durch die richtige Abfolge N-fixierender und N-zehrender Kulturen gewährleistet wird (Bachinger & Zander 2003). Der Düngungsbedarf an NPK wird unter Berücksichtigung des Ertragspotenzials und der über die Ernteprodukte entzogenen Nährstoffmengen berechnet. In die Formulierung des Pflanzenschutz geht der klimatisch bedingte Schaderregerdruck mit ein, wobei das Klima in der Form berücksichtigt wird, dass es gemäß der Einteilung Deutschlands in Klimaregionen, hier jeweils bestimmte Jahresdurchschnittstemperaturen und -niederschläge gibt (KTBL 1996).

2.4 Aufbau des Biogasmoduls in MODAM

2.4.1 Modellstruktur Biogasmodul

In Anlehnung an den modularen Aufbau des Modellsystems MODAM werden auch im speziellen Fall einer Biogasanlage deren Ansprüche und Lieferungen in einzelne Teilmodule aufgegliedert. Dabei werden Parallelen zur Tierhaltung genutzt, da auch der Fermenter einer Biogasanlage mit Produkten aus der Pflanzenproduktion versorgt werden muss, die bestimmte Anforderungen bezüglich des Nährstoffgehaltes erfüllen müssen. Bauliche Anlagen sowie Arbeitsverfahren (Beschickung, Reststofflagerung), die für die Biogasproduktion notwendig sind, werden den einzelnen Kategorien der Tierhaltung zugeordnet. Der Fermenter wird analog zu den Tiergruppen in den jeweiligen Tabellen definiert (Leistung, Kosten, Nährstoffansprüche). Die Verwertungsmöglichkeiten des erzeugten Biogases können sowohl die Verstromung in einem separaten BHKW als auch den Direktverkauf als Biogas umfassen.

Einen Überblick über den Verlauf von In- und Outputs gibt folgende Abbildung.

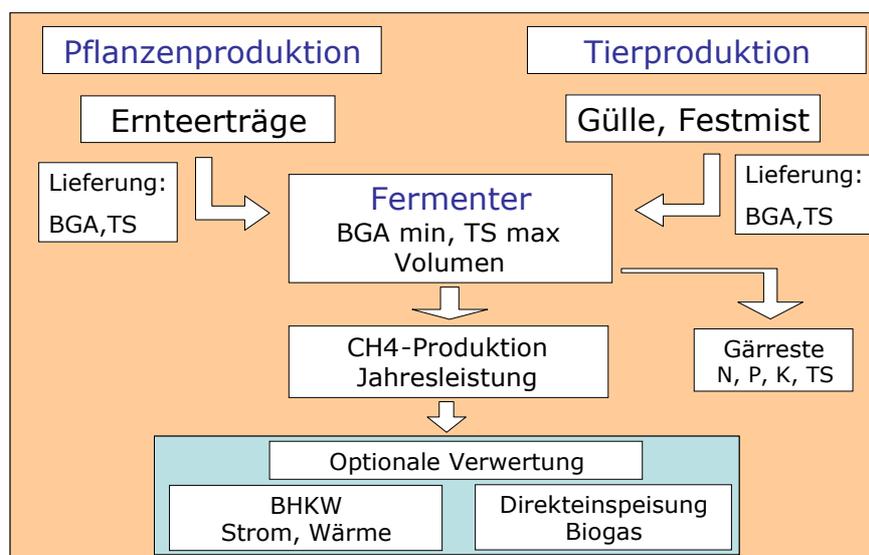


Abb. 2-4: Aufbau des Biogasmoduls

Für alle in einer Biogasanlage verwertbaren Ernteprodukte (Vorauswahl möglich) werden auf der Basis einer Schätzgleichung die Biogausbeuten berechnet, die je Einheit des Ernteproduktes produziert werden können. Das Betriebsmodell kann dabei auswählen, welche Kulturarten überhaupt angebaut werden und welche Verwendung die Ernteprodukte finden. Diese können sowohl als Marktfrucht verkauft werden, als auch innerbetrieblich in der Tierfütterung oder in der Biogasanlage als Substrat Verwendung finden. Dabei spielt die ökonomisch optimale Faktorverwertung die entscheidende Rolle, die durch das Lineare Optimierungsmodell gelenkt wird. Auf diese Weise lassen sich ökonomisch optimale Gärsubstratzusammenstellungen simulieren, die nicht alleine auf maximaler Gasausbeute beruhen, sondern auch betriebliche oder naturschutzrelevante Restriktionen berücksichtigen.

2.4.2 Die Biogausbeute der Produktionsverfahren

Vorgehensweise:

1. Biogausbeute aus Inhaltsstoffen von Fruchtarten berechnen
 - a. DLG-Futterwerttabellen
 - b. Faktoren für Inhaltsstoffe
 - c. Input-Mengen der Anlage
 - d. Mix- der Substrate
2. Flexibilität des Systems einschätzen
 - a. Grenzen (infolge der Anlagekonzeption, Flächenausstattung etc.)
 - b. Ertragsentwicklung (Züchtungsfortschritt, Klimawandel etc.)
 - c. Faktorentlohnung (Personalkosten, Eigenkapitalverzinsung etc.)
 - d. Opportunitätskosten (Preisentwicklung auf dem Agrarmarkt etc.)

Um die Leistung der unterschiedlichen Biomassepfade und Produktionsverfahren miteinander vergleichen zu können, ist es erforderlich, zusätzlich zur Ertragsleistung auch die spezielle Energieleistung der Anbaubiomasse zu kennen. Der als Methanhektarertrag ausgedrückte Leistungsparameter von Energiepflanzenproduktionsverfahren wird entsprechend aus dem Trockenmasseertrag pro Hektar und dem Biogasertrag pro Einheit TM zusammengesetzt. Dem bisherigen Ertragsparameter als Ausgangsgröße für die Wirtschaftlichkeitsberechnung im Modell MODAM wird also noch ein zweiter Parameter – die Biogausbeute in den Fermentern der Biogasanlage (ausgedrückt in m³ Normgas pro kg Substrat) – hinzugefügt und als Methanhektarertrag der Kulturart verdichtet.

Die **Bestimmung der Methanhektarerträge** erfolgt in mehreren Schritten:

1. Massenertrag dt TM/ha (Abziehen Ernteverluste/Siliverluste)
2. Gasausbeute Nm³/t FM (Nm³ – Normkubikmeter unter 1.013 Hektopascal bei 0 °C)
4. Methangehalt % CH₄ (1 m³ CH₄ = 10 kWh)
5. Methanhektarerträgen m³ CH₄/ha (Normvolumenumrechnung)

Die Biogausbeute wird hauptsächlich bestimmt durch **a)** die Ausgangsbiomasse und **b)** ihre Verwertungseffizienz (während des Konversionsverfahrens) in der Anlage. Dies kann analog zur unterschiedlichen Verwertung von Futtermitteln in der Tierernährung modelliert werden.

a) Die in der Biogasanlage eingesetzten Substrate unterscheiden sich in ihren Qualitäten (Inhaltsstoffe und Verdaulichkeiten) und damit auch in der Biogasausbeute. Für die Biogasausbeute der einzelnen Fruchtarten gibt es Faustzahlen (KTBL, ATB).

Tab. 2-4: Richtwerte für Gasausbeuten einiger Gärsubstrate

Substrat und -zustand	TS/davon oTS	Biogasertrag	Methangehalt des Biogases
	(%)	(l/kg oTS)	(%)
Rindergülle, mit Futterresten	8/80	370	55
Rindermist	25/80	450	55
Schweinegülle	6/80	400	60
Getreidekörner Schrot (Roggen, Weizen)	87/98	700	53
Getreide GPS, mittlere Kornanteile	40/94	520	52
Gras, Silage nass und angewelkt	25/88	560	54
Weizenstroh, kurzgehäckselt	86/92	370	51
Grünroggen Blüte, Silage, früher Schnitt	25/88	590	54
Maissilage, Milchreife	22/95	570	52
Maissilage, Teigreife, körnerreich	30/96	600	52
Maissilage, Wachsreife, körnerreich	35/96	600	52
Massenrüben, Zucker-, Futter-	11/88	700	52
Rübenblatt, siliert	18/80	600	54
Zuckerhirse, Sudangras	18/91	550	53
Zuckerrübe, frisch	23/92	700	51

Quelle: KTBL 2005, H. 50: 15

Tab. 2-5: Biogasausbeuten verschiedener Substrate aus Gärtests*.

Substrat und Substratzustand	TS/davon oTS	Biogasertrag	Differenz zu KTBL-Richtwerten
	(%)	(l/kg oTS)	(%)
Rindergülle, Milchvieh	8/80	410	+11
Rindermist	25/85	450	=
Schweinegülle	7/75	420	+5
Getreidekörner Schrot (Roggen)	86/96	870	+24
Getreide GPS, Roggen, Milchreife	33/93	730	+40
Gras, Silage angewelkt	35/91	540	-4
Weizenstroh, kurzgehäckselt	91/92	480	+30
Grünroggen	k. A.	k. A.	
Maissilage, mittelfrühe Sorte, Erntetermin 1	29/96	680	+13
Maissilage, mittelfrühe Sorte, Erntetermin 2	35/97	730	+22
Maissilage, mittelfrühe Sorte, Erntetermin 3	34/96	860	+43
Zuckerrübenpressschnitzel	22/90	840	+20
Sudangras, 1. Schnitt	19/92	760	+38
Sudangras, 2. Schnitt	24/95	810	+47

*Quelle: Biogas in der Landwirtschaft, Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg, B. Linke et al. 2006: 16

Schätzung der Biogasausbeute für die Verfahren:

Um Regressionsgleichungen verwenden zu können, werden die genauen Gehalte bestimmter Inhaltstoffe benötigt. Diese können für die verschiedenen Substrate aus Futtermittelanalysen (z. B. nach Weender-Analyse) zur Verfügung gestellt werden.

Da jedoch auch Qualitätsunterschiede innerhalb der einzelnen Substrate auftreten, die in unmittelbarem Zusammenhang mit den umweltorientierten Anpassungen gemäß unserer Fragestellungen stehen können, sollen die einzelnen Substrate weiter differenziert werden. Hierfür ist es erforderlich, die Unterschiede mit einem Gleichungssystem abzubilden. Die Parameter in der Gleichung werden bestenfalls nach vorliegender Analyse der Substrate von den einzelnen Praxisbetrieben oder aber durch Zu- und Abschläge nach Expertenschätzung spezifiziert. Zu den umweltorientierten Anpassungen zählen z. B. besondere Sorten oder Erntezeitpunkte mit Auswirkungen auf die relative Zusammensetzung der Inhaltstoffe und den Trockenmasseanteil. So steigt bei einem späteren Erntetermin der Rohfaseranteil von Gras- und Getreidearten an.

Zur Abschätzung der Energieleistung unterschiedlicher Kulturarten und Sorten, hat sich die Errechnung des Gesamtenergiegehalts auf der Grundlage der Weender-Analyse¹⁵ durchgesetzt. Sie wurde für Futtermittel entwickelt und liegt in aktuellen Futtermitteltabellen

¹⁵ Naumann & Basler 1993, VDLUFA Methodenbuch Vol. III.

(Rind und Schwein) der DLG vor¹⁶. Anhand umfangreicher Analysen der Inhaltsstoffe sind Faustzahlen der Inhaltsstoffe für unterschiedliche Qualitäten von Fruchtarten ermittelt worden.

Eine Abschätzung der Biogasausbeuten der in MODAM vorhandenen Ernteprodukte erfolgt anhand einer linearen Regressionsrechnung auf der Grundlage von Daten zu Substraten, deren Biogasertrag mithilfe von Gärtests am ATB in Potsdam ermittelt wurde. Die Verwendung dieses Datenmaterials erschien infolge der größeren regionalen Übereinstimmung mit den auf den Untersuchungsbetrieben verwendeten Substraten vorteilhaft.

Die Biogasausbeuten werden mit Hilfe der Angabe über die umsetzbare Energie (ME) und folgender Gleichung geschätzt:

$$\text{BGA [m}^3\text{/kg oTS]} = 0,0442 \cdot \text{ME} + 0,2918$$

Tab. 2-6: Statistische Koeffizienten der Regressionsanalyse zur Biogasausbeute

Coefficients:				
	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.2918	0.1899	15.367	0.1526
ME	0.0442	0.0180	24.594	0.0317

b) Das Zahlenwerk, das der Bestimmung der richtigen Futterration der Tiere dient (beim Rind vor allem zur Milchproduktion), soll zudem Bilanzierungen des In- und Outputs zulassen. Hierfür ist der tierische Metabolismus mit zu berücksichtigen, so dass zusätzliche Verdaulichkeitskonzepte an die Energieberechnung der Ausgangssubstrate angeschlossen wurden. Auf die Energieproduktion in Biogasanlagen sind diese DLG-Verdaulichkeitskonzepte zwar nicht direkt übertragbar, sie können jedoch für eine Abschätzung der Nettoenergie als Vorlage genommen werden. Hieraus können dann Aussagen zur Effizienz der Biomasseverwertung in der Biogasanlage gemacht werden.

Folgende Abbildungen verdeutlichen die unterschiedlichen Berechnungskonzepte und notwendigen Anpassungen der Energieabschläge/-verluste für Fermenter/Bakterienkulturen und Blockheizkraftwerke (BHKW).

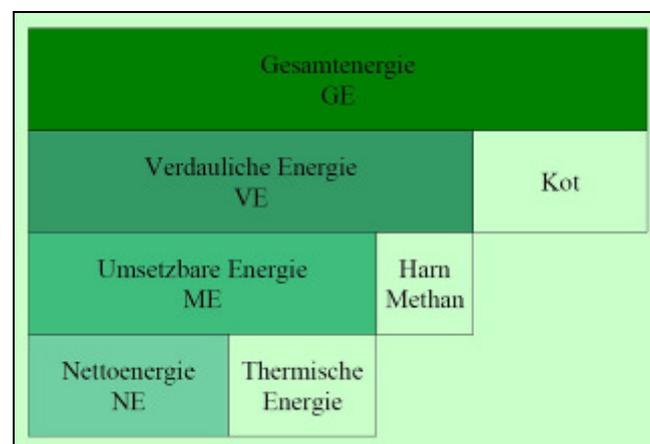


Abb. 2-5: Von der Gesamtenergie zur Nettoenergie. Konzept für Rinder etc.

Quelle: nach Kirchgeßner 1998

¹⁶ Eine Auswahl von biogasrelevanten Kulturen ist im Anhang angefügt.

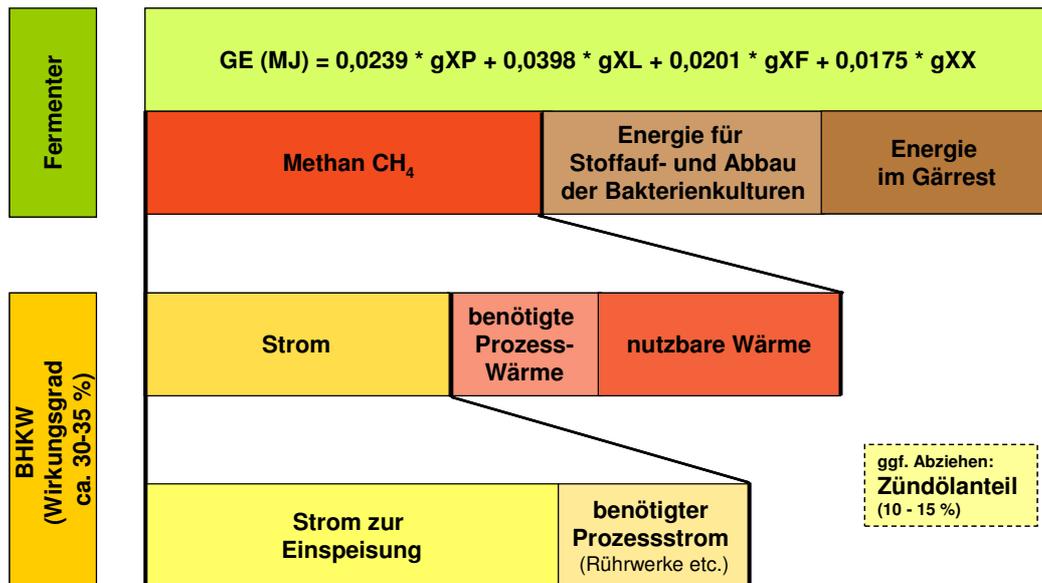


Abb. 2-6: Vom Substratgesamtennergiegehalt zur Stromabgabe in der Biogasanlage. Gesamtenergie (GE) laut DLG-Futterwerttabelle aus Substrat (Gülle, Biomasse, Kofermente) Gehaltsbestimmung der Rohnährstoffe mittels Weender-Analyse: XP: Rohprotein, XL: Rohfett, XF: Rohfaser, XX: N-freie Extraktstoffe).

Abschließende Plausibilitätsrechnungen durch Gegenüberstellung von:

- tatsächlichem Energieertrag, wie er aus der Abrechnung mit dem Energieversorger (hier *edis*) in € und kWh hervorgeht und durch die Verteilung auf die eingesetzten Substratmengen als kWh/t ausgedrückt werden kann (wichtig ist hier u. a. die Berücksichtigung des Zündölanteils (%)) und
- errechneten Stromerträgen in kWh/t FM, z. B. gemäß der KTBL-Tabellen aus Gärversuchen (Batch-, Reihen-) und Inhaltsstoffrechnungen abgeleiteten Faustzahlen für Methanerträge

Differenzen können folgende Ursache haben:

- Ausfallzeiten der BHKW-Einheit, suboptimale Reaktortemperatur, Beschickungshäufigkeit, Raumbelastung und Verweilzeit usw.
- schwer kalkulierbare Abzüge innerhalb der Prozesskette durch Silo-/Silierverluste, geringere Verdaulichkeiten, Wirkungsgrade der Anlagen usw.

Ziel ist u. a. die ökonomische Bewertung von Energiepflanzen-Produktionsverfahren. Die Leistungen der Produktionsverfahren müssen mit dem Gewinn, den die Biogasanlage insgesamt erzielt, bewertet werden. Zur Überprüfung der Kosten und Leistungen und damit dem innerbetrieblichen Wert von Mais kann folgende Abschätzung gemacht werden:

Grobe Berechnung des Energieertrages von der Biogasanlage in Dolgelin:	
Leistung: 200 kW (BHKW) x 24 Std. = 4.800 kWh x 0,16 ct/kWh =	768 €/Tag
Kosten: pauschale Festkosten	200 €/Tag
Gewinn: für Entlohnung Kapital und Arbeit: 568 € x 365 Tage =	207320 €/Jahr
1 t Maissilage: 220 m ³ Biogas mit 55 % Methan ⇒	121 m ³ Methan
Wirkungsgrad des BHKW: 35 %; 1 m ³ Methan = 10 kWh ⇒	423,5 kWh/t MS
Erlös:	67,76 €/t MS
Maisertrag 9 - 14 t TM/ha ⇒ 3.811,5 - 5.929 kWh/ha ⇒	609,8 - 948,6 €/ha.

2.4.3 Modellierete Leistungsklassen

Für das Modell wurden vier Leistungsklassen an Biogasanlagen vorgegeben. Für die aufgeführten Größenklassen 100, 250, 500 und 1000 kW BHKW wurde die Fermentergröße, Zufuhrmenge oTS, Biogasausbeute und der Erlös entsprechend der zugrundeliegenden Annahmen und Ableitungen abgestuft. Die Abstufungen ergaben sich aus eigenen Untersuchungen, Einschätzungen und Kalkulationen der Betriebe zur Biogasproduktion in Ziltendorf und Dolgeln sowie Ergebnissen aus dem FNR-Biogas-Messprogramm 2005. Die für das Biogasmodul herausgearbeiteten und verwendeten Kennzahlen sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tab. 2-7: Klassifizierung und Spezifizierung der im Modell verwendeten Biogasanlagen

Leistungsklasse (=BHKW-Größe)	Fermenter	Zufuhr/Tag	Biogasmenge	max. Strom- produktion/Jahr	Erlös/kWh
kW	m ³	t oTS/d	m ³ CH ₄ /a	kWh/a	ct/kWh
100	1.100	3,3	255.354	750.000	17,5
250	2.750	8,25	638.385	1.875.000	16,09
500	5.500	16,5	1.276.770	3.750.000	14,98
1000	11.000	33,0	2.553.540	7.500.000	13,19
Annahmen:	bei 11 m ³ /kW *	BR bei 3 kg oTS/m ³ d	bei ~ 0,4 m ³ BGA/kg oTS und 0,53 % CH ₄	bei 7.500 Volllaststunden (ca. 85 % Auslastung)	Mischkalk. laut EEG ohne jährliche Degression
Funktion im Modell	Anspruchs- grundlage der Anlage	Beschickungs- menge als Summe div. Futtermittel bzw. Reststoffe	mindest Lieferung an BHKW für volle Leistung, Voraussetzung ist vorh. Gasspeicher	Puffer für Wartungsarbeiten, Betriebsausfall und geringere Auslastung des BHKW	Errechnung der Leistung

* Mittelwert aus FNR-Messprogramm 2005, vergleichbare Biogasanlagen zu den Betrieben Ziltendorf und Dolgeln (NawaRo-Anlagen).

Aus den 30 Anlagen des FNR-Messprogramms wurden fünf reine NawaRo-Anlagen mit vergleichbarer BHKW-Leistung und Ko-Substratmischung aus unterschiedlichen Gebieten Deutschlands herangezogen. Erkennbare Zusammenhänge mit großen Einfluss auf Kosten und Stromertag der Biogasanlage, wie z. B. leistungsspezifische Investitionen (Investition pro installiertem kW_{el}), BHKW-Volllaststunden, spez. Personalkosten pro installiertem kW_{el} wurden bei der Kennzahlenbildung berücksichtigt.

Tab. 2-8: Investitionsaufwendungen für die im Modell verwendeten Biogasanlagen

Leistungsklasse (=BHKW-Größe)	Fermenter	Investition für Fermenter, Elektro-Heizungstechnik, Ingenieursleistungen	Investition allein für das BHKW
(kW)	(m ³)	(€ ges.)	(€)
100	1.100	307.907	165.796
250	2.750	662.545	356.755
500	5.500	1.031.981	555.682
1000	11.000	1.251.856	674.076
Annahmen	bei 11 m ³ /kW*	exponentielle Regressions- gleichung, ermittelt aus den Vergleichsanlagendaten des FNR - Messprogramms: $y = 475,93 \cdot \text{EXP}(-0,001 \cdot x)$	35 % an der Gesamtinvestition
Funktion im Modell	Anspruchs- grundlage der Anlage	Kosten für Neuanlage, Skalenvorteile	BHKW als Verwertungs- alternative des Biogases gegenüber z. B. Direkt- einspeisung

Die Kennzahlen und Kenngrößen der obigen Tabelle wurden in dem Biogasmodul verwendet und liegen den möglichen Kosten und Ertragspositionen der Berechnungen zugrunde.

2.4.4 Substratmischungsfunktion des Biogasmoduls

Die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage hängt vom Stromerlös ab. Das Blockheizkraftwerk (BHKW) bildet den Kernfaktor der Wirtschaftlichkeit (Leistungsproduzent bei hohem Anschaffungspreis, kurzer Nutzungsdauer, hohem Wartungsaufwand) und muss daher unter Vollast und dies möglichst das ganze Jahr laufen. Das im Faulraum (Fermenter) der Biogasanlage gebildete Biogas muss diesen Methanbedarf decken. Die Konzeption der Biogasanlage ist stark an die Wahl der Substrate angepasst.

Ein Beitrag zur Ökologisierung der Biogasproduktion kann durch eine Substratdiversifizierung erreicht werden. Da Erträge und Inhaltsstoffe je nach Kulturarten und Ernteterminen, aber auch nach Sorten stark schwanken können, sollte das Biogasmodul die Suche nach dem Optimum für die Beschickung der Biogasanlage unterstützen.

Die Beschickung der Biogasanlage mit unterschiedlichen pflanzlichen Substraten wird im Wesentlichen durch die Anlagenkonzeption beschränkt. Zu nennen sind hier zum einen die optimale Biogasausbeute, welche vom BHKW und dem Wunsch nach bestem ökonomischen Ergebnis und zum anderen die maximale Raumbelastung, welche von der Fermentergröße vorgegeben werden. Diese sind durch gegenseitige Bedingtheit gekennzeichnet.

Das Modell beschränkt daher die Zufuhr an organischem Material pro Tag auf diejenige Maximalmengen, bei der ein angesetzter Belastungsgrad der Anlage nicht zu überschritten wird, um eine störungsfreie Arbeit der Rühr- und Pumporgane zu gewährleisten. In Abhängigkeit von der Fermentergröße und Umsetzungsgeschwindigkeit des organischen Materials zu Methan bestimmt die Zufuhrmenge und die Verweildauer des Substrates die

übers Jahr insgesamt erzielbare Gasausbeute (Optimum = obere Grenze/“volle“ Auslastung des BHKW).

In folgenden Abbildungen werden kurz die Konzepte dargestellt, wie die Substrate infolge der Modellierung miteinander entweder als vollkommene (Abb. 2–7) oder unvollkommene (Abb. 2–8) Mischungspartner kombiniert werden können. Die Zusammensetzung der Substrate führt je nach Fermenter- und Anlagenausstattung zu Einsatzbeschränkungen, die insbesondere von Substraten mit hoher Raumbelastung früher erreicht werden. Dabei kann die Zufuhr organischen Materials eines Mischungspartners mit hoher Biogausausbeute, z. B. Getreideschrot, wesentlich besser ausgeglichen werden als eine Zufuhr von verholztem Material mit geringerer Biogausausbeute. Hier müsste ein Material zugesetzt werden, das bei höherem Wasseranteil zusätzlich auch eine höhere Biogausausbeute aufweist, um das Optimum der Anlage zu erreichen.

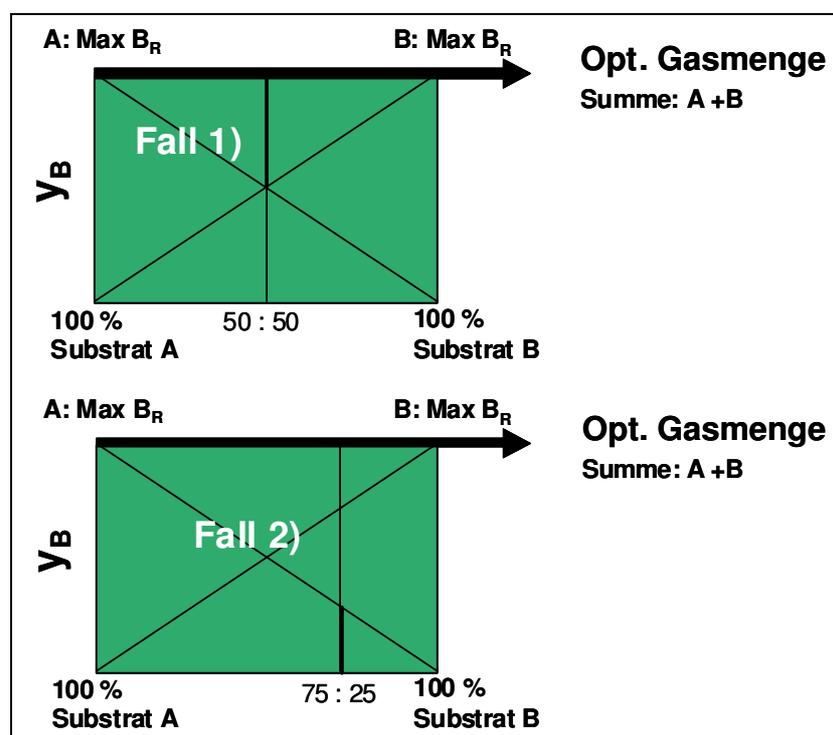


Abb. 2-7: Vollkommene Mischungspartner: Jedes Mischungsverhältnis führt zum Optimum(z. B. Fall 1 oder 2). Mit Y_B = Gasertrag und B_R = Raumbelastung.

Für den Fall von unvollkommenen Mischungspartnern, verlangt die Erzielung des Anlagenoptimums die Zufuhr eines Substrates, welches einen Ausgleich an Gasausbeute und Zusammensetzung (v. a. organisches Material) herbeiführen kann. Substrat C (in Fallbeispiel 3) kann aufgrund seiner hohen Raumbelastung bei 100%iger Verwendung den Biogasbedarf der Biogasanlage nicht voll auslasten. Erst durch die Zumischung von Substrat D, welches eine höhere Gasausbeute bei nur geringer Raumbelastung besitzt, kann das Anlagenoptimum wieder erreicht werden.

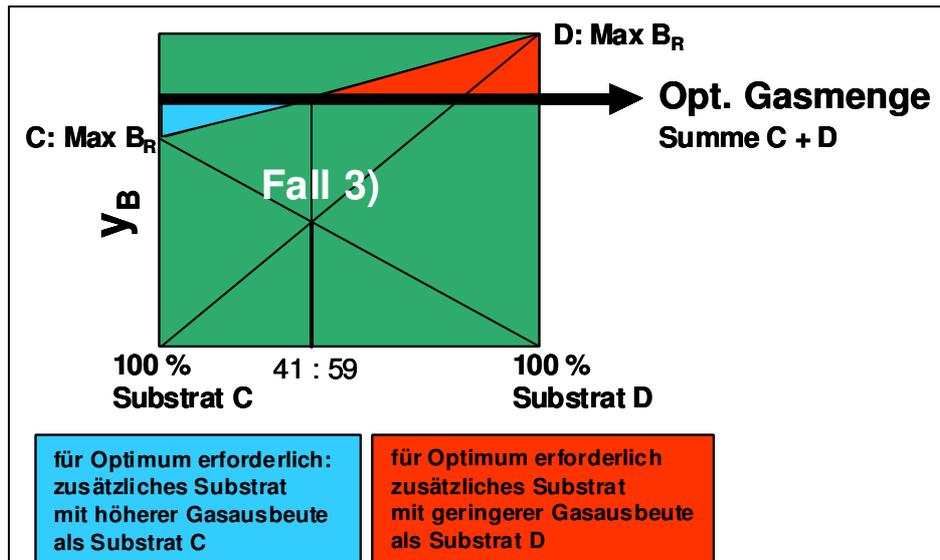


Abb. 2-8: Unvollkommene Mischungspartner: Es gibt nur ein Mischungsverhältnis, das zum Optimum führt. Mit Y_B = Gasertrag und B_R = Raumbelastung.

Bei der Verwertung von mehr als zwei Mischungspartnern werden von dem Biogasmodul die Zufuhrmengen der einzelnen Substrate entsprechend errechnet. Die bei vielen Substraten schnell erreichte Grenze der Übersichtlichkeit deutet auf den Beitrag, den die Modellverwendung zur Findung der optimalen Mischungspartner zu bieten vermag.

In Analogie zur Tierernährung werden im Modell kritische untere Gesamtenergiegehalte der Futterration identifiziert bzw. über die Substratmischung energiearme Inputstoffe durch energiereiche Inputstoffe ausgeglichen.

Die komplexen Verhältnisse erfordern ein weit vorausschauendes Planen bei nur geringen schrittweisen Änderungen in der Praxis. So kommt es im Fermenter in Abhängigkeit von der Futtermischung zur Herausbildung von Bakterienpopulationen mit entsprechend höheren oder geringeren Gasausbeuten. Infolge dessen stellt sich nach Änderungen der Substratzufuhr das neue Produktionsoptimum erst wieder mit einer gewissen Verzögerung ein.

Als Beispiel für die schwierige Abschätzung des optimalen Erntezeitpunkts für eine maximale Gasausbeute sind z. B. Überlegungen zur Sortenwahl im Maisanbau zu nennen: Frühere Sorten (FAO-Reifezahlen¹⁷ niedrig, relativ zum Durchschnitt des Anbaugebiets) bieten größere Ertragssicherheit. Spätere Sorten können in warmen langen Sommern höhere Erträge bringen. Bei der Einschätzung von Maissorten ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass der Gasertrag bei höheren TS-Gehalten als 36 % wieder abnimmt (vgl. Mayer 2005).

¹⁷ Die FAO-Werte sind international gültige Maßzahlen für die Reifezeit der verschiedenen Maissorten. Das Weltsortiment umfasst die FAO-Zahlen von 100 (früh) bis 900 (sehr spät) (Oehmichen 1996).

Durch die Modellierung sollten daher Maximal- und Minimal-Restriktionen entwickelt und eingeführt werden, die bei der Beschickung einer Biogasanlage einzuhalten sind. Die Bedeutung der Restriktion Raumbelastung ergibt sich aus dem Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage:

- Nach dem Bau der Anlage ist der Spielraum des optimalen Substratmix wesentlich eingeschränkt;
- Investitionskosten für den Fermenter hängen stark von der Größe ab (Material, Rührwerke etc.); ebenso laufende Kosten: Abschreibung, Kapitalkosten, Rückstellungen für Rückbau etc.);
- Wesentliche Restriktion für den Substrateinsatz besteht in der Raumbelastung (BR) in [kg/m³*d]. Ihre Überschreitung findet Ausdruck in der Schlammbelastung (BTS); höhere Zulauf- als Ablaufkonzentration;
- Längere Verweilzeiten und kurze Häcksellängen können nur in bestimmten Grenzen Substrate mit ungünstigem Verhältnis von leicht bis schwer abbaubaren Inhaltsstoffen ausgleichen (Pumpfähigkeit, Homogenität).

2.4.5 Beitrag der Fachgespräche zur Modellierung und Entwicklung des Biogasmoduls

Das Konzept der Akteursbeteiligung führte wiederholt zu Anmerkungen seitens der Praxisbetriebe von denen einige im Folgenden kurz skizziert werden sollen.

Aus den ersten Workshops und Fachgesprächen sind vor allem Anregungen hinsichtlich mittelfristig vorzunehmender Modellanpassungen zu nennen, von denen einige jedoch schon in das Modell mit aufgenommen worden sind:

- Bereich Biogasanlage:
 - Abschreibung für Investitionsgüter stärker differenzieren (wurden bisher in zwei Gruppen zu mittleren Abschreibungszeiträumen zusammengefasst);
 - Investitionshöhen anpassen: so sind z. B. beim BHKW (Blockheizkraftwerk) geringere Ersatzinvestition möglich (hier wurde jedoch zu bedenken gegeben, dass bei Zündstrahlaggregaten neue Kerzen ca. 1000,- Euro kosten, wobei hier jedoch nicht an der Qualität gespart werden sollte, da beim Anlagenstillstand von nur anderthalb Tagen Ausfallkosten von bis zu 3000 € entstehen);
 - Kapazitäten der Anlage sollten möglichst flexibel formuliert werden (Zuweisung erfolgt bisher manuell vor Modellstart, da rekursive Zirkel nicht möglich sind);
 - Ausweisung von Kosten der Verstromung und Direkteinspeisung (siehe Ergebnisteil);
 - Wärmeenergie, die bisher nicht genutzt wird, in die Modellrechnungen einpassen (möglich wäre der Ausweis des Umsatzbeitrags bei einem angesetzten Wärmeverkaufspreis, um den theoretisch machbaren Investitionsaufwand in diesem Bereich abzuschätzen).
- Bereich Anbauverfahren:
 - Ertragniveaus der Kulturen kontrollieren (Bedarf ständiger Anpassung);
 - Kostenverhältnis von Wintergerste (WGE) und Winterroggen (WRO) überprüfen:
 - Erfahrungen mit WGE zeigten häufige Ertragsausfälle (in 2 von 5 Jahren) und WRO demgegenüber Anbauvorteile vorweist

(Ansatzpunkt für Risikominimierungsstrategie über Kostenverhältnisse);

- Evtl. Kosten für Etablierung von WGE um Faktor 1,2 heraufsetzen um Auswinterungsschäden zu rechnen.
- Verfahren mit und ohne Bewässerung aufnehmen;
- Extensiv WRO-Dauerkultur-Produktionsverfahren hinzufügen;
- Deckungsbeiträge der betrieblichen Verfahren aufzeigen (s. Ergebnisteil).
- Evtl die speziellen Verfahren der Betriebe auch den anderen Betrieben zur Verfügung stellen (hat sich innerhalb der Modellrechnungszyklen als wenig aussichtsreich herausgestellt, da spezielle Betriebsbedingungen nicht gut übertragbar waren);
- Fruchtfolgerestriktionen überprüfen.
- ➔ Bereich Gülleverwertung
 - Gülle fällt mehr an als bisher eingesetzt, könnte theoretisch stärkeren Beitrag liefern;
 - Teil der Tiere steht auf Stroh, dies ist nicht für Biogasanlagen geeignet;
 - Achtung bei Klauenbad → antibakteriell, gelangt es in die Gülle, werden auch Methanbakterien abgetötet.
- ➔ Bereich Technikanpassung
 - Zentral gerührte Fermenter zeigen im kontinuierlichen Betrieb hervorragende Homogenisierungseigenschaften;
 - Intervallbetrieb bei Rührwerken nicht ausreichend, oft homogenisieren sie nicht stark genug;
 - Methanbakterien haben bevorzugten Temperaturbereich, Schwankung darf nicht mehr als 3° C betragen, Schwankungsbereich liegt bei ihnen um 1° C, (Mesophile Anlage liegen um 38° C.);
 - Anlage wird im Sommer gekühlt.

2.4.6 Modellierung des Wirtschaftsdüngermoduls

Das Biogasmodul enthält Restriktionen zum Einsatz von Substraten und zur Verwertung der anfallenden Reststoffe in Form von Gärresten. Es bietet somit einen Ansatzpunkt zur Berechnung von Massenströmen, die zur Erstellung von Nährstoff- und Humusbilanzen sowie Anbauplänen mit benötigten Mindestansprüchen an Flächen für Substratproduktion und Gärrestausrückführung geeignet sind.

Auf betrieblicher Ebene können so die komplexen Zusammenhänge und die Konsequenzen auf Stoffkreisläufe und sich gegenseitig bedingende Prozesse infolge der Inbetriebnahme einer Biogasanlage abgebildet werden.

Die neu formulierten Produktionsverfahren für Energiepflanzen beinhalten sowohl Systeme, die mit Mineralnährstoffdüngern als auch solche, die ausschließlich mit Gärreststoffen gefahren werden. Unter der Voraussetzung von den auf der Nährstoffbedarfs- und Umsetzungsseite exakt formulierten Produktionsverfahren und entsprechend angepassten (geschätzten!) Nährstoffgehalten der Substrate und Reststoffe kann durch die Modellergebnisse abgeschätzt werden,

- ob die Biogassubstrate und ihre Gärreste innerhalb eines Betriebes in einer Kreislaufwirtschaft geführt werden können (Anbauumfang an Bedarf der Anlage an Substratzufuhr und Reststoffaufkommen angepasst),

- ob und in welcher Höhe ein zusätzlicher Nährstoffimport erforderlich ist (Hohertragssysteme verlangen eine gezieltere Nährstoffzufuhr als es über Wirtschaftsdünger möglich ist),
- welche Energiepflanzen-Verfahren an den Betriebszweig Tierproduktion geknüpft sind (güllebasierte Anlagen haben ein höheres Gärrestaufkommen) und
- wie hoch der Flächenbedarf für die Reststoffausbringung der Biogasanlage anzusetzen (Änderung der Verfahren mit Wirtschaftsdüngerverwertung) ist.

Die in den Verfahren formulierten Ansprüche an Gärreste müssen durch die Biogasanlage gedeckt werden und können so zur Einschränkung des Anbauumfangs führen. Bestimmte Energiepflanzen-Verfahren sind demnach sowohl an verfügbare Flächen als auch an ausreichende Mengen von Gärsubstraten zur Düngung gebunden.

Kalkulationsbeispiel für Planung einer Biogasanlage mit Hilfe der im Modell verwendeten Berechnungsgrundlage:

Anforderungen eines Modellbetriebs (500-kW-Biogasanlage) an die Tierproduktion:

⇒ Bedarf an Gülle bei Fermentervolumen von 5.500 m³

(Ausgang von 40 Tagen Verweildauer ⇒ Faktor 9 ⇒ 49.500 m³ Gülle pro Jahr MAX)

Wieviele Tiere (GV) braucht der Betrieb, um den Fermenter mit Gülle befüllt zu halten?

Um diese Mengen an Güllesubstrat zu erzeugen müssten 3.300 Tiere mit einem jährlichen Gülleanfall von 15 m³/Tier gehalten werden. Die Ausbringung von 40 m³ Gärrest/ha erforderte – bei einer angesetzten Abbaurate der organischen Substanz von ca. 50 % – mit 620 ha also mehr als das Dreifache der hier im Modell angesetzten Fläche.

Wieviel Energie (kWh) wäre daraus zu beziehen?

Die in diesen ca. 50.000 m³ FM Rindergülle mit Futterresten enthaltene Energie¹⁸ könnte ca. 58 % des Betriebs eines 500-kW-BHKW abdecken.

Die Ausbringfläche und Tierbestände würden sich bei einer Verweildauer von 80 Tagen¹⁹ (⇒ Jahresfaktor 4,5) entsprechend dem Volumen der Gärreste von 24.750 m³ halbieren. Jede weitere Reduktion der unter diesen Annahmen getroffenen Fermentationsmengen würde eine weitere Verlängerung der Verweilzeiten und Rezyklierung der Gärreste bedeuten. Anlagenkonzepte mit großem BHKW und einem derartig hohen Energieanteil aus Reststoffen ließen sich demgemäß nur auf sehr flächenstarken Betrieben durchführen.

2.5 Ökologische Bewertung in MODAM

2.5.1 Ausgangsüberlegungen zur ökologischen Bewertung

Die „moderne“ Pflanzenproduktion ist durch den Anbau ertragsstarker Hochleistungssorten weniger Kulturarten auf großen Flächeneinheiten bei sehr großer Bewirtschaftungsintensität, z. B. hinsichtlich Düngung, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung, gekennzeichnet. Dies kann mit negativen Umweltwirkungen verbunden sein (Bastian 2005). Inwieweit dieser

¹⁸ Substrat Rindergülle (relativ hoher Stroh- und Futterrestanteil) 50.000m³ * ca. 13,2 m³ CH₄/t FM * 10 kWh/m³ * 0,33 Wirkungsgrad = 2.178.000 kWh bei 7.500 Std./a)

¹⁹ Günstiger bei Kofermentation pflanzlicher Substrate

Zusammenhang auch auf die Produktion von Energiepflanzen für Biogasanlagen zutrifft, sollte mit Hilfe des ökologischen Moduls im Betriebsmodell MODAM geprüft werden.

Hinsichtlich der Weiterentwicklung von Energiepflanzen-Verfahren war eine der zu beantwortenden Fragen des Projekts, ob sich – und wenn ja, welche – Win-Win-Situationen der Landwirtschaft mit dem Naturschutz aus der Einführung von Biogasanlagen ergeben können. Die gezielte Nutzung der ökologische Bewertung in MODAM setzte daher bei einigen in der Literatur angeführten Vorteilen, die mit dem Energiepflanzenanbau verbunden werden, an und stellte sie in den Mittelpunkt einer kritischen Betrachtung.

Einige Vorteilshypothesen (abgeleitet aus der Literatur und eigenen Untersuchungen):

- Einjährige Energiepflanzen können durch Aufweitung der Fruchtfolge einen Beitrag zur Biodiversität leisten.
- Standortangepasste „robuste“ Arten und Sorten helfen die Anbauintensität zu senken.
- Kulturartenmischungen, Zweinutzungssysteme, Zwischenfrüchte können einen Beitrag zur Verbesserung von Lebensraumfunktionen leisten.
- Mehrjährige Energiepflanzen tragen zur Biotopvernetzung bei.
- Nutzung von Biomasse aus der Landschaftspflege stabilisiert durch einen Kostenbeitrag die Systeme zur Offenhaltung und Pflege naturschutzfachlich interessanter Landschaften (vgl. Thoss 2008).

2.5.2 Ablauf der ökologischen Bewertung in MODAM

Die ökologische Partialanalyse in MODAM dient der Bewertung einzelner Produktionsverfahren hinsichtlich ihrer Umweltwirkung. Die Bewertung erfolgt indikatorenbasiert. Es wurden Indikatoren aus dem abiotischen (z. B. Nitrataustragsrisiko ins Grundwasser) und biotischen Bereich (z. B. Einfluss auf die Habitatqualität der Feldlerche) berücksichtigt. Zu jedem Indikator wird ein Umweltqualitätsziel definiert (z. B. Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen). Ergebnis der Bewertung ist ein sogenannter Zielerreichungsgrad (ZEG). Er gibt die Eignung eines Verfahrens an, ein bestimmtes indikatorbezogenes Umweltqualitätsziel zu erreichen. Der ZEG kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je näher der ZEG an 1 ist, desto höher ist die Eignung des Verfahrens. Eine detaillierte Darstellung der Vorgehensweise findet sich bei Sattler (2008).

Die folgende Abbildung (Abb. 2–9) zeigt die grundsätzliche Vorgehensweise der Bewertung anhand eines Beispielsindikators aus dem biotischen Bereich, der Feldlerche (*Alauda arvensis*).

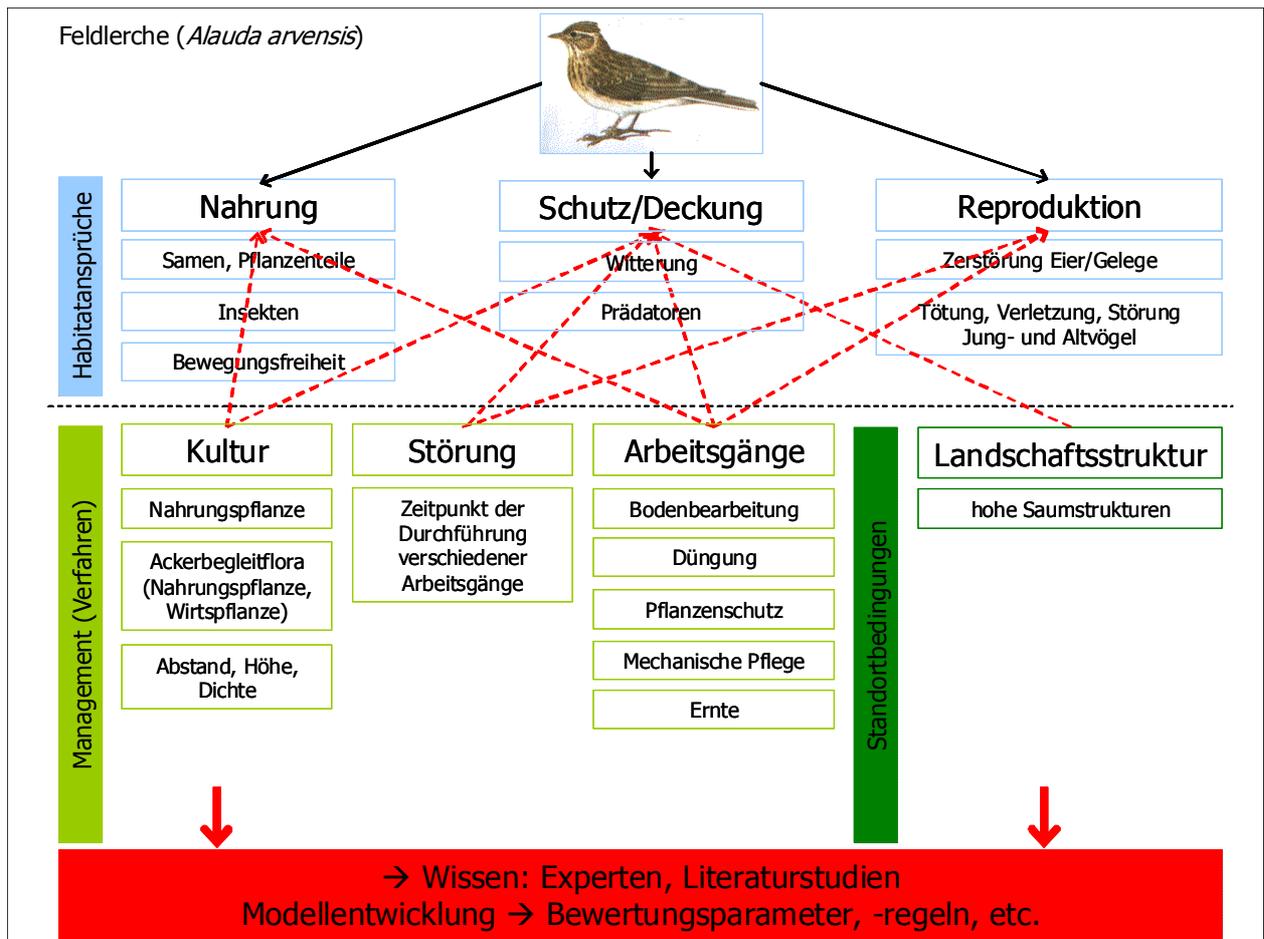


Abb. 2-9: Prinzipielle Vorgehensweise zur Abbildung der Interaktionen zwischen landwirtschaftlicher Landnutzung und den Lebensraumsprüchen der Indikatorarten am Beispiel der Feldlerche (*Alauda arvensis*)

Zunächst werden Informationen zum Indikator gesammelt die entweder aus Literaturstudien stammen oder von Experten abgefragt werden. Im Falle der Feldlerche sind dies zunächst Informationen zu ihren Habitatsprüchen. Auch Angaben zu spezifischen Standortansprüchen einer können in die Bewertung einbezogen werden, so meidet z. B. die Feldlerche hohe Saumstrukturen, da diese häufig als Ansitz von Greifvögeln benutzt werden. Diese Angaben werden den Informationen gegenübergestellt, welche die einzelnen Anbauverfahren zur Produktion der verschiedenen Ackerfrüchte in MODAM beschreiben. Beispielsweise kommt es durch die einzelnen Arbeitsgänge zu Störungen, die mehr oder weniger kritisch für den Indikator sein können, je nachdem um welchen Arbeitsgang es sich handelt und wann dieser auf den Flächen durchgeführt wird. Die Wechselbeziehungen zwischen den relevanten Bewertungsparametern werden dabei in einer Regelbasis über WENN-DANN-Beziehungen zusammengestellt, die den Kern eines indikatorbezogenen Bewertungsmoduls bildet. Beispielsweise WENN sich für ein Verfahren sehr viele als kritisch eingestufte Arbeitsgänge mit den sensiblen Phasen eines Indikators, wie z. B. der Reproduktionsphase überschneiden, DANN wird dieses Verfahren als wenig günstig im Hinblick auf den Indikator eingestuft und erhält einen geringen ZEG zugeteilt.

Die folgende Abbildung (Abb. 2–10) gibt einen Überblick über die bisher in MODAM berücksichtigten abiotischen und biotischen Indikatoren.

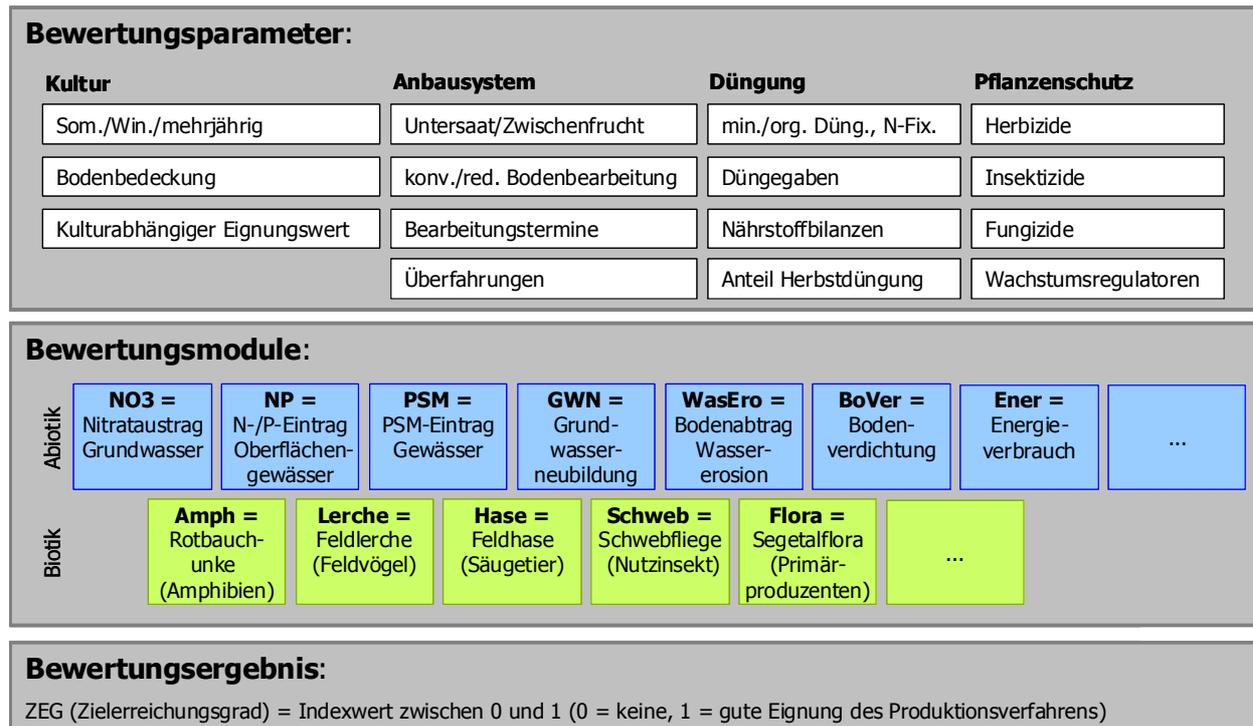


Abb. 2-10: Bewertungsmodule der ökologischen Partialanalyse in MODAM

Jedes in der Datenbasis von MODAM definierte Produktionsverfahren erhält so für jeden der ausgewählten Indikatoren einen Zielerreichungsgrad zugewiesen. Da die ökologische Partialanalyse verfahrensbasiert vorgenommen wird, ohne das der jeweilige betriebliche Kontext betrachtet wird, stehen die Ergebnisse bereits im Vorfeld der Simulation der Szenarienrechnungen zur Verfügung und können als Nebenziele (d.h. neben dem Hauptziel der Gewinnmaximierung des Betriebes) in das LP-Modul von MODAM einbezogen werden. In der Simulation wird dann im Modell eine zugleich möglichst betriebswirtschaftlich günstige, wie auch im Hinblick auf die Umweltnebenziele vorteilhafte, Landnutzung angestrebt.

2.5.3 Aussagekraft der Ergebnisse der ökologischen Bewertung

Die hinter jedem indikatorbezogenen ZEG stehenden quantifizierenden oder qualifizierenden Aussagen und Bewertungen stellen eine starke Aggregation der Einfluss nehmenden Faktoren dar. Sie ermöglichen so eine schnelle Übersicht über mögliche Risikobereiche, welche bei der Änderung von Landnutzungsformen auftreten können. Im Einzelfall können über eine Modellanalyse Ursachen für bestimmte Indikatorausprägungen im Nachhinein zurückverfolgt werden. Hierfür können die Produktionsverfahren im Einzelnen betrachtet und die Bewertung Schritt für Schritt nachvollzogen werden.

Demgegenüber ist es aber auch möglich, einzelne Verfahren in einer bestimmten räumlichen und zeitlichen Abfolge zu Fruchtfolgen zusammenzufügen. Der ZEG der einzelnen Verfahren wird dann, gewichtet nach entsprechenden Flächenanteilen, zu einem fruchtfolgebezogenen ZEG weiterverdichtet.

So kann auch der positive Effekt der Aufweitung der Fruchtfolgen durch Integration einer zusätzlichen Ackerkultur mit einem günstigen Produktionsverfahren gegenüber der zuvor üblichen Fruchtfolge abgebildet werden.

Ob ein infolge wirtschaftlicher Konkurrenzfähigkeit neu eingeführtes Verfahren (win-win) wie z. B. die Zuckerhirse in einer (vielleicht schon maislastigen) Fruchtfolge einen Diversitätsvorteil darstellen kann, hängt daher stark von den weiteren Begebenheiten des Betriebes ab. Wichtig für die Abschätzung der Fruchtfolgewardung aus den ZEG wären u. a. Aussagen über die tatsächliche standörtliche Verteilung und eine Kenntnis von besonders sensiblen Flächen. Die Änderungen der ZEG bieten dementsprechend einen Anhaltspunkt, welche Chancen und Risiken mit einem neuen Verfahren verbunden sein können.

2.6 Bewertung der Verfahren aus Klimaschutzsicht

2.6.1 Energiebilanz

2.6.1.1 Einleitung

Aus Sicht der Energiebilanz (als Indikator für die Gesamtenergieeffizienz eines Systems) sind solche Biomassen zu bevorzugen, die ein weites Verhältnis von Output zu Input bei hohem absolutem Energiegewinn haben²⁰.

Coombs et al. (1985) gaben schon nach den ersten Untersuchungen zur Erzeugung von Energiepflanzen das Ziel in der hohen Nettoenergieproduktion an. Dies erfordert ein anderes Wirtschaften als in großen Teilen der intensiven Landwirtschaft, wo steigende Erträge nur auf Kosten eines immer höheren Energieaufwandes pro erzeugter Produkteinheit erreicht werden. Energiebilanzen, die in der Regel auch die Umwandlungsprozesse in der Wertschöpfungskette mit einbeziehen²¹, haben dementsprechend in der energetischen Biomassenutzung eine große Bedeutung und müssen bei dem Produktivitätsvergleich von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen auf den knappen Flächen berücksichtigt werden. So sind nach Strehler (1992) einige Kulturpflanzen als nachwachsende Rohstoffe für die energetische Verwendung bei einem Verhältnis von Energie-Output:Input zwischen 1:1,2 und 1:3,1 entsprechend ungünstig zu bewerten (RME, Bioethanolproduktion aus Zuckerrüben und -hirse). Die Wichtigkeit, eine energetische Bewertung von Energiepflanzen mit einzubeziehen, verdeutlicht auch beispielhaft das mit 1,1 sehr enge und damit ungünstige O/I-Verhältnis von Raps. Aus Sicht der Energiebilanz erscheint diese Flächennutzung wenig sinnvoll, auch wenn derzeitige Kosten/Leistungsgerüste (unterstützt von der Ölpflanzenprämie) es noch zulassen, Raps auf den Stilllegungsflächen zu produzieren.

Langfristige Konzepte der Verwertung von Energiepflanzen in Biogasanlagen sollten die Zusammenhänge einer umfassenden Bewertung jederzeit im Blick haben. Eine energetische Bilanzierung der Energiepflanzen-Inputstoffe für Biogasanlagen sollte daher immer vorgenommen werden.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass die relative Energiebilanz dabei noch nichts über die Höhe des tatsächlichen Energiegewinns aussagt. Dieser wird von dem erreichbaren Ertragsniveau bestimmt. Hohe Erträge sind größtenteils an Produktionssysteme mit hoher Intensität gekoppelt und von einem hohen N-Düngungsniveau gekennzeichnet. Diese

²⁰ Quelle: Paper ATB (Jahresbericht 2003):

²¹ Insgesamt verbraucht die landwirtschaftliche Urproduktion wenig Energie (zwischen 5 und 15 %), die negativen Ergebnisse (z.B. bei RME und Bioethanol) resultieren vor allem aus der Konversion.

Produktionssysteme mit einem hohen Mineraldüngerinput sind demnach auf ihrer Inputseite und der Kostenentwicklung eng an die N-Düngerherstellung gebunden (Zur Herstellung von 1 kg N wird ca. 1 l Öl²² benötigt.). Die N-Effizienz wird zur zentralen Größe sowohl bei der Energiebilanz, beim Gesamtertrag wie auch beim Kostengerüst. Im Energiepflanzen-Anbau hat der N-Düngereinsatz bei der prozessorientierten Energiebilanz (direkter und indirekter Energieinput: Kraftstoffverbrauch, Saatgut, PSM, Dünger, Investitionsgüter) mit ca. ¼ den größten Anteil. Die Lösung des Dilemmas, gleichzeitig eine Flächen- und Energieeffizienz zu erreichen, ist die Herausforderung, der mit standortspezifischen Konzepten begegnet werden muss.

Bereich der Energiemaßzahlen der pflanzlichen Kosubstratverwendung²³:
CO₂-Bilanz der Biogasproduktion: 80–130 g CO₂ eq kWh⁻¹
Erdgas: 370 g CO₂ eq/kWh oder reine Rindergülle *minus* 600 g CO₂ eq/kWh)
Kumulierter Energieaufwand (Kosubstratproduktion): 0,8–1,5 MJ/kWh
Dies entspricht einem Energie-Output zu Input-Verhältnis (O/I) von 4,5–2,4
(0,22–0,42 pro kWh, bei 0,2778 kWh pro MJ)
O/I-Produktion: ca. 7–17

2.6.1.2 Vorgehen bei der Erstellung des Energiebilanz-Moduls

- ☞ Definition Energiebilanz: Der Quotient aus kumuliertem Energieaufwand und Energieertrag ist als Erntefaktor ein Maß für die Energieeffizienz des Anbauverfahrens. Die Differenz von Energieaufwand und Energieertrag entspricht dem Nettoenergiegewinn (pro Hektar).

Pflanzenbauliche Energiebilanzen stellen den Energieeinsatz eines Anbauverfahrens seinem Energieertrag gegenüber. Der Energieeinsatz berücksichtigt dabei sowohl die direkten wie auch die indirekten Energieaufwendungen der Betriebsmittel. Für jedes Betriebsmittel wird ein kumulierter Energieaufwand (KEA) berechnet, der den direkten und indirekten Energieaufwand in den Produktionsvorketten einbezieht. Für das Beispiel des Dieselkraftstoffs bedeutet dies, dass zum Heizwert des Dieselkraftstoffs von 42,5 MJ/kg noch 6,4 MJ/kg indirekte Energieaufwendungen aus Ölförderung, Weiterverarbeitung und Transport einberechnet werden müssen.

Für alle Betriebsmittel wird der KEA pro Mengeneinheit ermittelt und in die Datenbank von MODAM eingepflegt.

Aus der ökonomischen Bilanzrechnung sind die Mengen der aufgewendeten Betriebsmittel der Anbauverfahren verfügbar. Sie stellen die Sachbilanz eines Anbauverfahrens dar. Aus der Sachbilanz und der energetischen Bewertung der Betriebsmittel anhand der KEA-Parameter wird der Gesamtenergieeinsatz berechnet. Betriebsmittel, die mehr als einem Anbauverfahren zuzuordnen sind (Beispiel: Grunddüngung), müssen in geeigneter Weise auf die Einzelverfahren aufgeteilt werden.

²² Haber-Bosch-Verfahren aus Luft-Stickstoff (Quelle: Finck 1992).

²³ FNR 2005

2.6.1.3 Tiefe der Wertschöpfungskette

Als Bilanzrahmen für die Anbauverfahren gilt der Zeitraum von der Ernte der Vorfrucht bis zur Ernte im zu bilanzierenden Anbauverfahren. Im Einklang mit der gängigen Methodik von Energiebilanzen wird menschliche Arbeitskraft nicht berücksichtigt. Ebenso unberücksichtigt bleiben die Nutzung des Gebäudebestandes und der Infrastruktureinrichtungen. Als Grundregel für die Bilanzierungstiefe in den Energievorketten gilt die „Ein-Schritt-zurück-Regel“. Das bedeutet, dass z. B. der Energieaufwand der Düngerproduktion mit einbezogen wird, nicht aber der Energieaufwand für die Bereitstellung der Produktionsstätten.

Für die Berechnung des Energieertrags sind verschiedene Modelle denkbar. Um die Vergleichbarkeit von eingesetzter und nutzbar gemachter Energie zu gewährleisten, ist es am aussagekräftigsten, den Energieertrag als Menge der produzierten Endenergie (kWh Strom und MJ Heizenergie) anzugeben. Dazu ist an die Energiebilanz des Anbauverfahrens eine Energiebilanz des Konversionsprozesses anzuschließen.

In Fall der Biogasproduktion ist eine Bilanz des vollständigen Konversionsprozesses noch außerhalb der Möglichkeiten. Dagegen kann die im Erntegut enthaltene Energiemenge über die bilanzierten Fruchtarten vergleichbar gemacht werden. Diese Energiemenge wird im Modell als unterer Heizwert²⁴ des Ertrages dargestellt und steht dann den darauf anschließenden Bewertungen zur Verfügung.

2.6.2 Treibhausgasrelevante Emissionen

Die Klimawirkung der Produktionsverfahren bzw. Fruchtfolgen²⁵ kann in die Bewertung durch MODAM mit aufgenommen werden. Bewertungen der Emissionen der Produktionsverfahren sind innerhalb des Projekts jedoch nicht für Handlungsempfehlungen zur Auswahl der Produktionssysteme genutzt worden. Einige Ergebnisse sollen hier dennoch kurz vorgestellt werden, da sie sowohl innerhalb von Entscheidungsprozessen als auch zu generellen Lebenswegvergleichen unterschiedlicher Biomassepfade (Biogas, Bioethanol, Biodiesel) eine Rolle spielen können (s. Tab. 2–9).

Tab. 2-9: Emissionen der verwendeten Produktionsverfahren (Szenarien in Phase C)

Gesamt- emissionen	Treibhausgaspotenziale in CO ₂ -Äquivalenten				
	Ackerzahl	kg CO ₂ /ha	kg CH ₄ /ha	kg N ₂ O/ha	kg/ha
Silomais	25	472	0,31	3,3	1450
Silomais	38	384	0,85	5,1	1907
Winterroggen	25	302	0,21	2,8	1129
Winterroggen	38	298	0,21	2,2	950
Hirse	25	464	0,69	3,7	1594
Hirse	38	659	0,95	5,3	2248

Treibhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten (Umrechnungsfaktoren für CH₄ = 72 und N₂O = 289); eig. Berechnungen

²⁴ Der Heizwert HU (0 %) bildet die Grundlage für die Berechnung des sehr stark vom Wassergehalt (WG) abhängigen Heizwertes (HU (feucht)) mit der Formel:

$$\text{HU (feucht)} = \text{HU (0 \%)} * (100 - \text{WG}) / 100 - 24,4 * \text{WG} \text{ (nach Hartmann und Strehler, 1995)}$$

²⁵ Die Bewertung der Klimawirkungen ist anhand der Defaultwerte in der – derzeit noch nicht gültigen – BiomasseNachhaltigkeitsverordnung möglich. Allerdings bestehen große Zweifel an diesen Defaultwerten.

Herleitung und Methodik der Emissionsbewertung

Die Überprüfung der Klimarelevanz von Anbauverfahren sowie den dabei verwendeten Maschinen und Betriebsmitteln erfolgt aufgrund der Ableitung der klimarelevanten Emissionen. Es gehen folgende Parameter in die Berechnung²⁶ ein:

- Dieserverbrauch der Maschinen;
- Maschinenherstellung, Schlepper und sonstige Geräte und Maschinen;
- Emissionen durch Düngung und PSM;
- Saatgutbereitstellung;
- Emissionen durch Bodenbearbeitung (N₂O)²⁷.

Die Treibhauspotenziale können anhand minimaler und maximaler CO₂-Äquivalente der vorhandenen Produktionsverfahren skaliert und für die Fruchtfolgen gewichtet werden. Düngungsmenge bzw. Anbauintensität sind dabei die Haupteinflussfaktoren auf das Treibhauspotenzial (CO₂-Äquivalente) eines pflanzlichen Anbauverfahrens. Düngemittelherstellung wie Art der Düngemittelapplikation haben eine hohe Bedeutung auf die daraus folgenden biogenen Emissionen. Als Parameter von mittlerer bis geringer Bedeutung werden eingesetzten Maschinen und die damit einhergehenden direkten Emissionen über den Dieserverbrauch bestimmt. Die indirekten Emissionen infolge der Landtechnikherstellung sind als weniger bedeutend einzuschätzen. Die Dominanz der Stickstoffdünger als Determinante in der Schadgasbilanzierung pflanzlicher Anbauverfahren ist auf den sehr energie- und somit schadgasintensiven Herstellungsprozess der Stickstoffdünger (u. a. verglichen mit Phosphor und Kalium) zurückzuführen. Der Einfluss der Standortfaktoren (Boden, Klima) auf die Emissionen ist insgesamt geringer als der der oben genannten Produktionsfaktoren.

2.7 Energiepflanzen-Produktionsverfahren: Entwicklung und Bewertung

Definition von Biomasse für Biogasanlagen: 'Energiepflanzen' sind Nutzpflanzen oder Teile von Pflanzen, die speziell für die energetische Nutzung angebaut werden (Kaltschmitt und Wiese 1993: 129). In dieser Arbeit werden unter Energiepflanzen nur speziell für die Produktion von Energieträgern oder den Transformationsprozess in Biogasanlagen angebaute Kulturpflanzen verstanden.

In Expertengesprächen wurden Energiepflanzen-Produktionsverfahren zum Einsatz in Biogasanlagen formuliert und in die Datenbank eingegeben. Die Verfahren wurden ergänzt und erweitert durch eigene Versuchsergebnisse zum Thema am ZALF sowie durch Einschätzungen aus dem Verbundprojekt „EVA“²⁸ (Erfahrungen und Ergebnisse des EVA-Verbundprojekts – resultierend aus den ersten Versuchsjahren – konnten mit einbezogen

²⁶ Methode der Emissionseinschätzung in MODAM nach Odefey 2007.

²⁷ Unberücksichtigt blieben die CO₂-Fixierung der Pflanzen (keine CO₂-Bilanz) sowie die Diskussion um die allgemeinen N₂O- Verluste aus dem Acker, die verstärkt auf die Energiepflanzen-Produktion zurückgeführt werden (vgl. auch Crutzen et al. 2007).

²⁸ Literatur siehe z.B. www.tll.de/vbp

werden). Die neu entwickelten Verfahren zum Energiepflanzenanbau wurden mit bestehenden Verfahren der Praxisbetriebe verglichen, ergänzt und auf mehreren Arbeitstreffen mit den Landwirten und Wissenschaftlern nach kritischer Bewertung festgelegt.

Energiepflanzen-Produktionsverfahren wurden nur für die unteren Ackerzahlklassen formuliert, da – nach Einschätzung der beteiligten Akteure – die Energiepflanzen-Produktion sich in Brandenburg auf diese Böden beschränkt, auf besseren Böden können sie nicht mit dem Markfruchtanbau konkurrieren (hohe Pachtpreise, Vorrang für anspruchsvollere Kulturarten wie Qualitätsweizen, Raps oder Zuckerrüben).

2.7.1 Entwicklung und Anpassung der MODAM-Datenbank

Die Chancen für ökologische Leistungen, die sich aus dem Energiepflanzenanbau ergeben, sind aus dem Angebot an unterschiedlichen und neuen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren ableitbar. Das Projekt soll neue Anbauverfahren des Energiepflanzenanbaus identifizieren, um Alternativen zu den wenigen bisher angebaute Fruchtarten (insbesondere Mais) aufzuzeigen. Damit soll die Fruchtartenvielfalt in der Landschaft erhöht werden.

2.7.1.1 Aufnahme neuer Energiepflanzen-Produktionsverfahren für den Betriebszweig Biogasanlagen

In die Auswahl, Entwicklung und Anpassung von neuen Produktionsverfahren für den Betriebszweig Biogasanlage/Energiepflanzen wurden einbezogen:

- MODAM-Standardverfahren,
- Betriebsverfahren der Kooperationspartner,
- vorhandene Energiepflanzen-Verfahren (aus Literatur und Forschungsprojekten).

In Zusammenarbeit mit den Betrieben wurde deutlich, dass sowohl alteingeführte Produktionsverfahren als auch neue Verfahren werden, die bereits spezielle Qualitätsanforderungen der Substrate für Biogasanlagen berücksichtigen. Darüber hinaus war ein Ziel des Projekts neue Verfahren mit einer für die Energieproduktion optimalen speziellen Intensität zu identifizieren.

Entsprechend der Projektkonzeption wurde auch hierfür eine akteursgestützte Vorgehensweise angesetzt. Wie in folgender Abbildung verdeutlicht, ging es zunächst um die Identifizierung fehlender Anbauverfahren und ihre Formulierung, um anschließend ihre Verwendbarkeit (Praxistauglichkeit) mit den Betriebsleitern diskutieren zu können. Diese Verfahren wurden dann in die Modelldatenbank eingepflegt und in mehreren Validierungsschritten angepasst. Die einzelnen Validierungsschritte beinhalteten dabei sowohl Szenarienberechnungen als auch Anpassung der Rahmenbedingungen und Modellparameter (Praxisrelevanz der Ergebnisse).

IST-Verf. der Koop.-Betriebe					Standardverfahren in Brandenburg				
Kooperationsbetriebe	vorh. Marktruchtanbauverfahren	vorh. Futtermittelanbauverfahren	vorh. Energiepflanzenanbauverfahren	zusätzl. zu entw. Energiepflanzenanbauverfahren	Wo vorhanden?	Marktruchtanbauverfahren	Futtermittelanbauverfahren	Energiepflanzenanbauverfahren	
B.Zi	X	X	O	O	Bbg.	X	X	O	
B.Ki	X	X	O	O		MODAM	X	X	O
B.Do	X	O	X	O			X	X	O

(X: Verfahren liegen in der Datenbank vor; O: liegen nicht vor)

Abb. 2-11: Vorgehen bei der Einführung Energiepflanzenanbauverfahren in MODAM

2.7.1.2 Abfragen der betrieblichen Produktionsverfahren

Durch die regelmäßige Zusammenarbeit mit der Akteursgruppe „Landwirtschaftsbetriebe“ zur Entwicklung, Kontrolle und Validierung von Energiepflanzen-Anbausystemen für das Modell MODAM zeigte sich, dass die direkte Übernahme der Betriebsverfahren in die Datenbank nicht möglich war. Hauptgrund waren eine tendenzielle Überschätzung der Erträge im langfristigen Mittel sowie eine Unterschätzung der Aufwendungen für die einzelnen Verfahren (im Vergleich mit den statistischen Erhebungen und KTBL-Daten, die die Grundlage der Standardverfahren darstellten). In MODAM wird mit langfristig mittleren Aufwendungen und Erträgen gerechnet, da die betriebliche Optimierung die strategische Entscheidungsfindung simuliert.

2.7.1.3 Entwicklung neuer Anbauverfahren

Zunächst wurde eine Aufstellung neuer Energiepflanzenanbauverfahren in verschiedenen Treffen mit J. Hufnagel (Leiter des Querschnittprojekts Energiepflanzenanbau am ZALF) vorgenommen. Wie die Standardverfahren orientieren sich die neuen Energiepflanzen-Anbauverfahren an der „Guten fachlichen Praxis“. Aufwendungen und Leistungen wurden von Experten geschätzt. Die Düngung erfolgt nach Entzug durch das Erntegut. Aufwandmengen und Ausbringungshäufigkeiten des Pflanzenschutzes wurden an die geringeren Qualitätsansprüche des Erntegutes angepasst.

Von zentraler Bedeutung für die Formulierung der Verfahren war, neben der Auswahl von Kulturarten, die (z. T. neuartige) Stellung der Energiepflanzen in den Anbau- und Fruchtfolgesystemen:

Winterung in Hauptfruchtstellung:

1. Getreide als Ganzpflanzensilage (GPS)
 - a. Winterweizen
 - b. Winterroggen
 - c. Wintergerste
 - d. Wintertriticale

Zweitfrüchte: (Sommerzwischenfrucht)

- i. Sudangras
- ii. Zuckerhirse

Sommerung in Hauptfruchtstellung:

2. Silomais
3. Sonnenblumen
4. Hirse

Zweitfrüchte: (Winterzwischenfrucht)

- i. Getreidearten (a-d)
- ii. Weidelgras
- iii. Landsberger Gemenge
- iv. Klee gras als Untersaat (muss zwei Jahre stehen = Hauptfruchtstellung im nächsten Jahr)

Als weitere Untergliederung wurde in den Anbauverfahren die Düngung (organische und mineralische) und die Bodenbearbeitung variiert²⁹:

- Für die Energiepflanzen-Verfahren wurde regelmäßig die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (als organische Düngegaben der Gärreste) vorgesehen, die in einem Teil der Verfahren mit mineralischen Düngern ergänzt wird, um eine bessere Steuerung der Düngewirkung zu erzielen.
- Als Varianten der Grundbodenbearbeitung wurden Energiepflanzen-Verfahren mit Pflug (wendend) oder pfluglos (nicht wendend) formuliert. Der relativ kostenintensive Arbeitsschritt der wendenden Bodenbearbeitung konnte also gewinnbringend durch spezielle Saatbettbereitungs- und Aussaattechniken ersetzt werden. Das potenziell erhöhte Verunkrautungspotenzial musste dann durch den Einsatz entsprechender Herbizide aufgefangen werden.

²⁹ Die Zusammenstellung von vielen Anbauverfahren mit z. T. sehr ähnlichen Arbeitsverfahren (Variationen des Maschineneinsatzes) berücksichtigt das konkrete Zusammenwirken verschiedener Geräte kombinationen, die als sogenannte Komplexverfahren formuliert werden. Die Komplexverfahren bestehen aus sachkundig zusammengestellten Verfahrensketten, z. B. „Vollautomatisches Kartoffeln legen mit Kippbunker“ in Kombination mit dem passenden Transportverfahren „Pflanzkartoffeln transportieren und übergeben“. Die Komplexverfahren werden den Teilverfahren je nach zugrundeliegender Kultur zugeordnet. Die Teilverfahren stellen abgeschlossene Teilbereiche eines Anbauverfahrens dar, wie z. B.: „Saatbettbereitung“, „Aussaat“, „Ausbringung von Flüssigmist“ oder „Ernte“. Jedem Teilverfahren wird in dem Maßnahmenkatalog eine begrenzte, definierte Zeitspanne sowie ein Produktionsmittel bzw. Ernteprodukt zugeordnet. Die zugehörigen Mengenangaben werden automatisch in der Berechnung mengenabhängiger Arbeitszeiten berücksichtigt bzw. als Aufwand bzw. Leistung des Verfahrens erkannt.

Für folgende Kulturarten wurden Datensätze für verschiedene Standorte erarbeitet:

- Hirse³⁰
- Grasmischungen, Feldbau 1. Nutzungsjahr
- Sonnenblumen
- Silomais
- Triticale
- Wintergerste
- Winterroggen
- Winterweizen
- Zweinutzungskultur aus Winterroggen und Silomais

Als Resultat stehen in der Datenbank eine Reihe von neuen Produktionsverfahren zur Verfügung, die speziell an die Produktion von Biomasse für Biogasanlagen angepasst sind. Aus den 129 zusammengestellten Anbauverfahren wurden die vorzüglichsten ausgewählt (Beschreibung s. Anhang)

2.8 Aufbau der Szenariorechnungen

2.8.1 Ökonomische und ökologische Analyse der betrieblichen Lösungen

Szenarien sind Ansätze, die darstellen sollen, welche Auswirkungen die Realisierung bestimmter Entwicklungen auf die, einen Untersuchungsgegenstand beschreibenden, Variablen hätte. Szenarien treffen aber keine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Entwicklung, insofern sind sie nicht mit Prognosen gleichzusetzen (Kächele 1999: 145 f.), sondern beschreiben mögliche Rahmenbedingungen.

Grundsätzlich erarbeitet das Projekt spezifische Ergebnisse auf Basis einzeln formulierter Betriebe (Standard- und Praxisbetriebe). Durch Extrapolation und breitere Diskussion können jedoch auch auf die regionale und überregionale Ebene angepasste/zugeschnittene Handlungsempfehlungen erarbeitet werden.

Das verwendete Modell generiert Ergebnisse zu den Änderungen der Einkommenssituation von Landwirtschaftsbetrieben, aus denen Aussagen zur Bedeutung der Integration von Biogasanlagen in die Betriebe abgeleitet werden sollen.

Die Basis der ökonomischen und ökologischen Bewertungen bilden dabei die jeweiligen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, die sich unter den vordefinierten Rahmenbedingungen des Modells und der Szenarien als die vorzüglichsten erwiesen. Nur auf Grundlage der Formulierungen dieser Produktionsverfahren sind dann die Auswirkungen der Änderungen der betrieblichen Situation analysierbar. Ihre Entwicklung, Anpassung und Validierung bildete daher ein zentrales Aufgabenfeld des Projekts.

³⁰ Nicht weiter spezifiziert (da erste Annäherung über Expertenschätzungen) werden sollen hier die zur Zeit am häufigsten verwendeten Hirsearten für den Energiepflanzen-Anbau Sorghum bicolor (Zuckerhirse) und Sorghum sudanense (Sudangras).

Die Untersuchungen des Projekts hatten zur Aufgabe, modellhaft die Voraussetzungen für ein mögliches positives Zusammenwirken des Energiepflanzenanbaus mit Naturschutzaspekten auszuweisen. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür stellt das Vorhandensein von Verfahren dar, die sowohl gute ökonomische Ergebnisse als auch positive ökologische Trade-offs erzielen. Um auf die Interpretation der Lösungen der späteren Szenarienanalyse vorzubereiten, wird in den folgenden Kapiteln die Darstellung des Lösungsraums unter besonderer Berücksichtigung möglicher Synergieeffekte vorgenommen.

2.8.2 Lösungsraum des Modellsystems

Die Szenariorechnungen basieren auf den verfügbaren Produktionsverfahren, die damit auch den möglichen Lösungsraum bestimmen. Deshalb wurden zunächst die Produktionsverfahren miteinander verglichen und einer kritischen Würdigung unterzogen. Ein besonderes Augenmerk richtete sich dabei auf die neuen Energiepflanzen-Verfahren zur Herstellung von Substraten für Biogasanlagen. Die spezielle Ausprägung der mit ihnen erzielbaren ökonomischen und ökologischen Kennzahlen waren Bedingung und Voraussetzung für bestimmte Synergieeffekte zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen.

2.8.2.1 Aggregation von ökologischen Indikatoren

Die ZEG der Produktionsverfahren werden dem ökologischen Modul in MODAM nach der letzten Validierungsphase entnommen. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit der folgenden Analyse ökologischer Wirkungen wurde eine Aggregation von Indikatoren vorgenommen.

Die biotischen Indikatoren (Segetalflora, Schwebfliegen, Feldhase, Feldlerche, Amphibien) wurden in Flora und Fauna unterteilt. Hinsichtlich der Fähigkeit der Produktionsmaßnahmen zur Verbesserung der Lebensraum-(Habitat-)qualität von Organismen wird angenommen, dass mit dem Anstieg der Zielerreichungsgrade (ZEG) für diese bestimmten Zeigerindikatoren die Überlebenswahrscheinlichkeit einer Gruppe von Arten ebenfalls ansteigt, womit das Ziel der Erhaltung der „**Biodiversität**“ unterstützt wird.

Die abiotischen Indikatoren wurden hinsichtlich ihrer Fähigkeit, bei hohen Zielerreichungsgraden (ZEG), zur Ressourcenschonung beizutragen, zusammengefasst. Der Betriebsmitteleinsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln wird als „**Intensität**“ beschrieben. Da Wassererosion und Grundwasserneubildung unmittelbar von der zeitlichen und räumlichen Deckung des Schlages mit Pflanzenbewuchs (z. T. Ernterückständen) bestimmt werden und sich komplementär verhalten, wird nur der Einfluss der Produktionsverfahren auf die Wassererosion aufgeführt. Aussagen (Trends) über die Grundwasserneubildung lassen sich zum größten Teil über den Umkehrschluss ableiten.

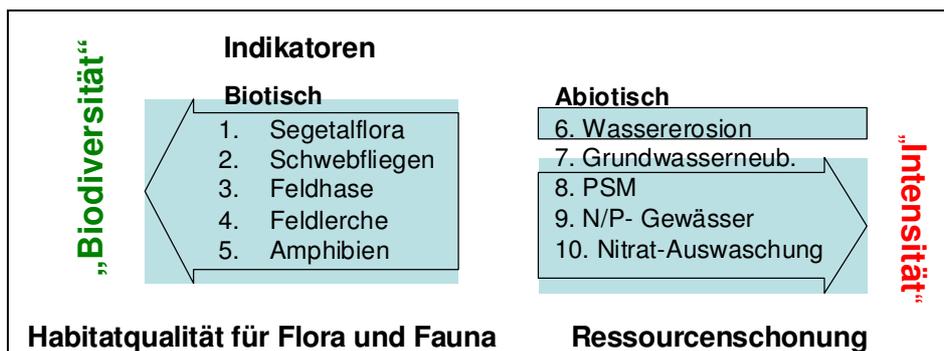


Abb. 2-12: Ökologische Bewertung von Anbauverfahren, Aggregation der Indikatoren

2.8.2.2 Produktionsverfahren und Mehrzieloptimierungssysteme

Zur Abschätzung von Produktionsalternativen werden die Produktionsverfahren unter dem Gesichtspunkt einer Mehrzieloptimierung³¹ betrachtet.

Folgende Tabelle (Tab. 2-10) gibt eine Übersicht über die insgesamt vorhandenen Produktionsverfahren nach Abschluss der Kontroll- und Validierungsarbeiten. Eine Gesamtübersicht aller Verfahren (inkl. der spezifischen Kosten je m³ CH₄) wird in Kapitel 3.2. gegeben.

Tab. 2-10: Anzahl der Produktionsverfahren in der Datenbank; Verfahrensgruppen und Ackerzahlklassen

AZKL	Standard	Energiepflanzen	Do	Ki	Zi	Alle
25	142	61	6	11	5	225
38	142	66	8	17	15	248
50	142	2	1	-	15	160
63	142	-	-	-	7	149
Alle	568	129	15	28	42	782

Die Festlegung ökonomischer und ökologischer Kennzahlenwerte als Zielwerte bestimmt die Anzahl der für eine Mehrzieloptimierung überhaupt zur Verfügung stehenden Produktionsverfahren. Ökonomische Auswahlbedingung für die Verfahren war ein Mindest-CH₄-Ertrag von 2500 m³/ha, um weniger flächeneffiziente Verfahren auszuschließen. Ökologisches Kriterium war ein ZEG der zur **Intensität** aggregierten Indikatoren von > 0,4 sowie ein ZEG der zur **Biodiversität** aggregierten Flora- und Fauna-Werte jeweils > 0,35 (ca. mittlere Werte der ZEG). Formuliert wurden zusätzlich verschärfte Anforderungen zur Eliminierung einer möglichen Verzerrung (hier v.a. Nivellierung) infolge der Aggregation innerhalb der Indikatorgruppe „Intensität“ (für PSM und NO₃: ZEG > 0,35). In folgender Tabelle wird als Ergebnis die Anzahl der „erfolgreichen“ Kombinationen angegeben.

³¹ Mehrziel bedeutet zunächst die Einbeziehung weiterer Ziele neben dem Hauptziel der Gewinnmaximierung. Sie können im ökologischen Bereich liegen (Naturschutzauflagen, geförderte Landschafts- und Tourismusentwicklung) oder im sozialen Bereich (Absicherung des Produktionsstandortes, höherer Arbeitskräftebesatz, neue anspruchsvolle Arbeitsfelder etc.).

Tab. 2-11: Anzahl der Verfahren, die für eine Mehrzieloptimierung* in Frage kommen.

Verfahrensgruppe	Standard	Energiepflanzen	Do	Ki	Zi	Alle
Anzahl möglicher Verfahren	568	129	15	28	42	782
Anforderungen* erfüllt von	14	14	5	3	4	40
entspricht %	2,5	10,9	33,3	10,7	9,5	5,1
verschärfte** Anforderungen	3	13	3	0	4	23
entspricht %	0,5	10,1	20,0	0,0	9,5	2,9

* Mindest-CH₄-Ertrag von 2.500 m³/ha bei ZEG für Intensität > 0,4 und ZEG zur Biodiversität > 0,35.

** Aufhebung der Aggregation in „Intensität“: ZEG für PSM **und** NO₃ > 0,35.

Würden bei den Standardverfahren 50 % das Kriterium eines potenziellen Methan-Mindestertrages von 2.500 m³/ha erfüllen, so sind dies bei den Energiepflanzen-Verfahren 86 %. Der Vergleich der verfügbaren Verfahren zeigt damit ein überdurchschnittlich gutes Abschneiden der neuen Energiepflanzen- sowie der betrieblichen Verfahren gegenüber den Standardverfahren. Dies ist insofern verständlich, da anzunehmen ist, dass bei beiden eine Vorselektierung auf den CH₄-Ertrag stattgefunden hat.

Wird der Ansatz der Mehrzieloptimierung ausgeweitet und die Ansprüche an die Intensität verschärft, indem zusätzlich die Aggregation des Indikators Intensität aufgehoben und die Mindestanforderung auf seine Bestandteile (ZEG für PSM und NO₃ jeweils größer als 0,35) ausgedehnt wird, verschwinden diejenigen Verfahren, die interessante ökologische Werte ausschließlich infolge eines minimalen PSM-Aufwands erreichten, jedoch dabei hohe Mengen an N-Überschüssen aufwiesen (Grasmischungen) oder vice versa (alle Wintergerste und einige Winterroggenverfahren).

Neben der Luzerne (als Standardverfahren) konnten diese erhöhten Anforderungen allein wenige Getreideganzpflanzensilagen aus Winterroggen, Winterweizen und Triticale der Praxisbetriebe und einige der neuen Energiepflanzen-Verfahren erfüllen. Entsprechend gering war die Auswahl an Verfahren, die dem LP noch zur Verfügung standen (Standard: 0,5 %, EP: 10 %, Betriebsverfahren 0-20 %)

2.8.2.3 Methanhektarerträge und ökologische Parameter für die Verfahren

Für einen kurzen Überblick über die hohe Anzahl Anbauverfahren wird eine graphische Darstellungsweise gewählt, die eine schnelle Identifizierung und Herausarbeitung derjenigen Verfahren ermöglicht, die sowohl über interessante Methanhektarerträge als auch über interessante ökologische Werte (ZEG) verfügen.

Ausgangspunkt der Analyse ist die Überführung von Datenbankabfragen zu Produktionsverfahren in ein Koordinatensystem. Auf dessen linker Y-Achse wurden die CH₄-Erträge und auf der rechten Y-Achse die ökologischen Indizes abgetragen. Im obigen Kapitel kann die zur besseren Übersicht verwendete Aggregation der Indikatoren nachvollzogen werden. Die Analyse wurde für eine Auswahl (bessere Standorte AZKI 38) von Energiepflanzen- und Standardverfahren sowie von Praxisverfahren (nur Betrieb Zi) durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen geben infolge der gleichzeitigen Darstellung wesentlicher ökonomischer und ökologischer Parameter der Verfahren – Methanhektarerträge und

aggregierte ZEG – in einer Abbildung eine komprimierte Zusammenfassung der Datenbank und bieten einen Überblick über den möglichen Lösungsraum des Modells.

Als Synergien zwischen ökonomischen und ökologischen Aspekten werden solche Bereiche ausgewiesen, in denen höchste ZEG mit einem noch hohen Niveau CH₄-Erträge zusammentreffen.

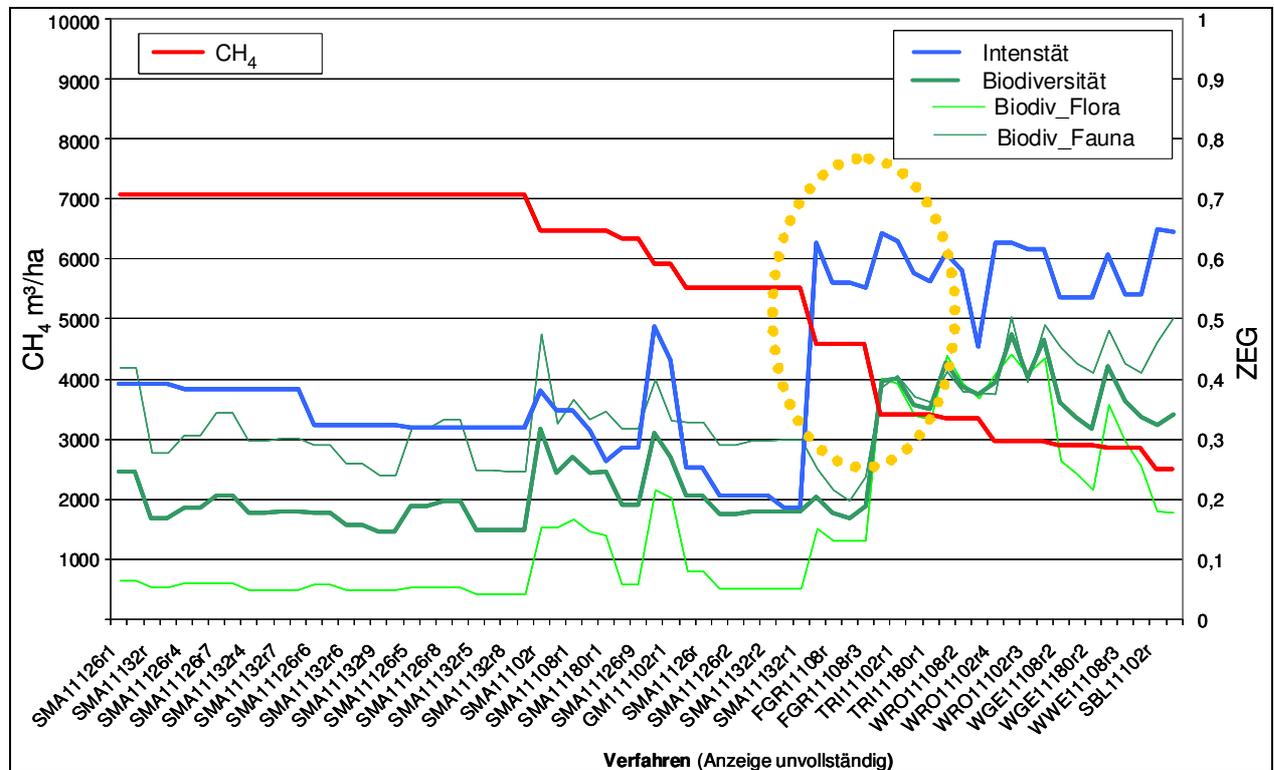


Abb. 2-13: Energiepflanzenverfahren der Standorte AZKI 38: ZEG von Intensität und Biodiversität, Methanhektarerträge (rote Linie = Sortierung: von links nach rechts abnehmend), Bereich gelbe Punkte: PV mit interessanter Kombination

Die modellimplementierte Bewertung der Produktionsverfahren bietet einen Ansatz zur Verfahrenauswahl. Der (gelb) gepunktete Bereich in obiger Abbildung markiert die Verfahren, in denen gleichzeitig relativ hohe ZEG mit relativ hohen Methanhektarerträgen zusammentreffen. Sollte bei der Auswahl der Verfahren ein positives Trade-off in Form einer Verbesserung der Lebensraumbedingungen für bestimmte Zielorganismen gesucht werden, könnten somit Hirsenarten und Getreide-Ganzpflanzensilagen näher auf ihre Eignung untersucht werden. Es zeigt sich, dass mit dem Anbau von Hirsearten, bei einem geringeren Aufwand an PSM und Düngemitteln ein hoher Biogasertrag von 4.500 m³ CH₄/ha realisiert werden kann.

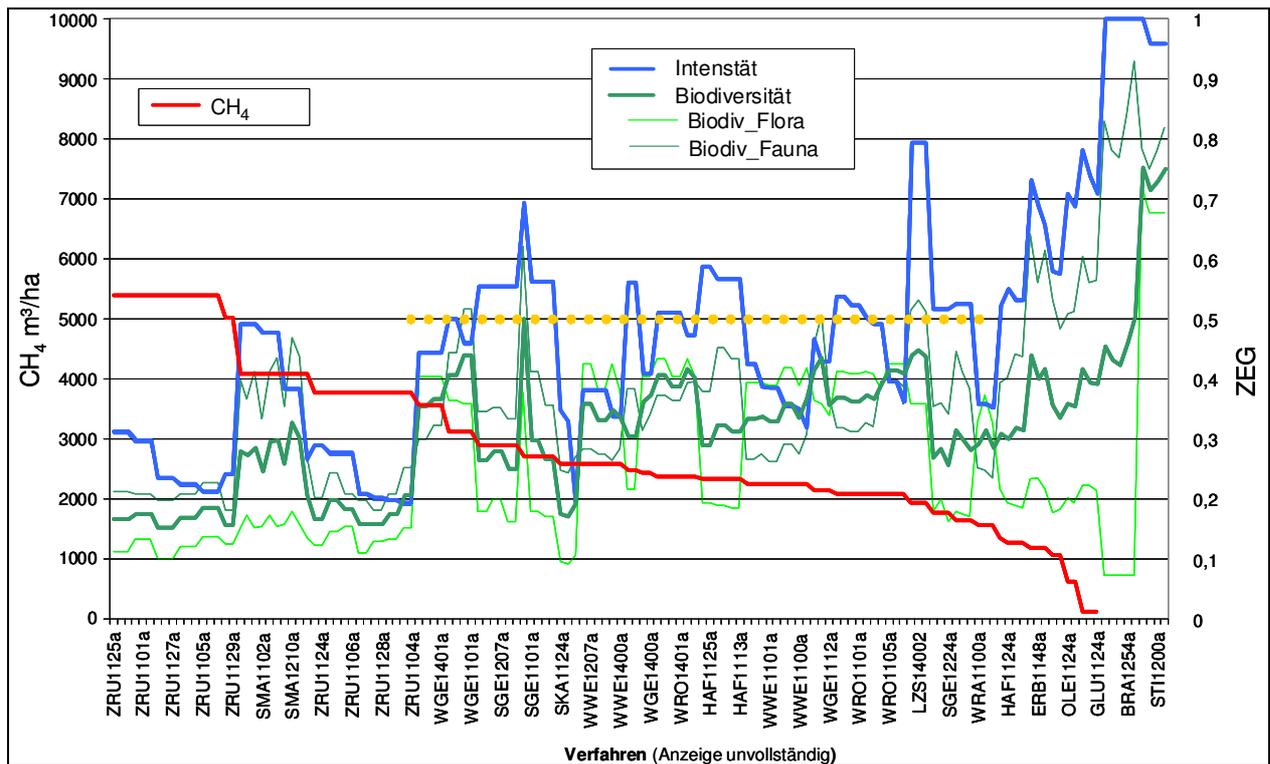


Abb. 2-14: Standardverfahren von Bbg. der Standorte AZKI 38: ZEG von Intensität und Biodiversität, Methanhektarerträge (rote Linie = Sortierung: von links nach rechts abnehmend), Bereich gelbe Punkte: PV mit interessanter Kombination

In der obigen Abbildung verdeutlicht der Bereich oberhalb der gepunkteten (gelben) Linie, dass die Standardverfahren eine große Auswahl ökologisch interessanter Verfahren erlauben. Dabei ist zu erwähnen, dass es sich bei den Getreidearten nicht um Verfahren zur Herstellung von Ganzpflanzensilagen handelt und die meisten dieser Verfahren mit Methanhektarerträgen von ca. 2.500 m³ CH₄/ha deutlich unterhalb derjenigen der Energiepflanzen-Verfahren liegen.

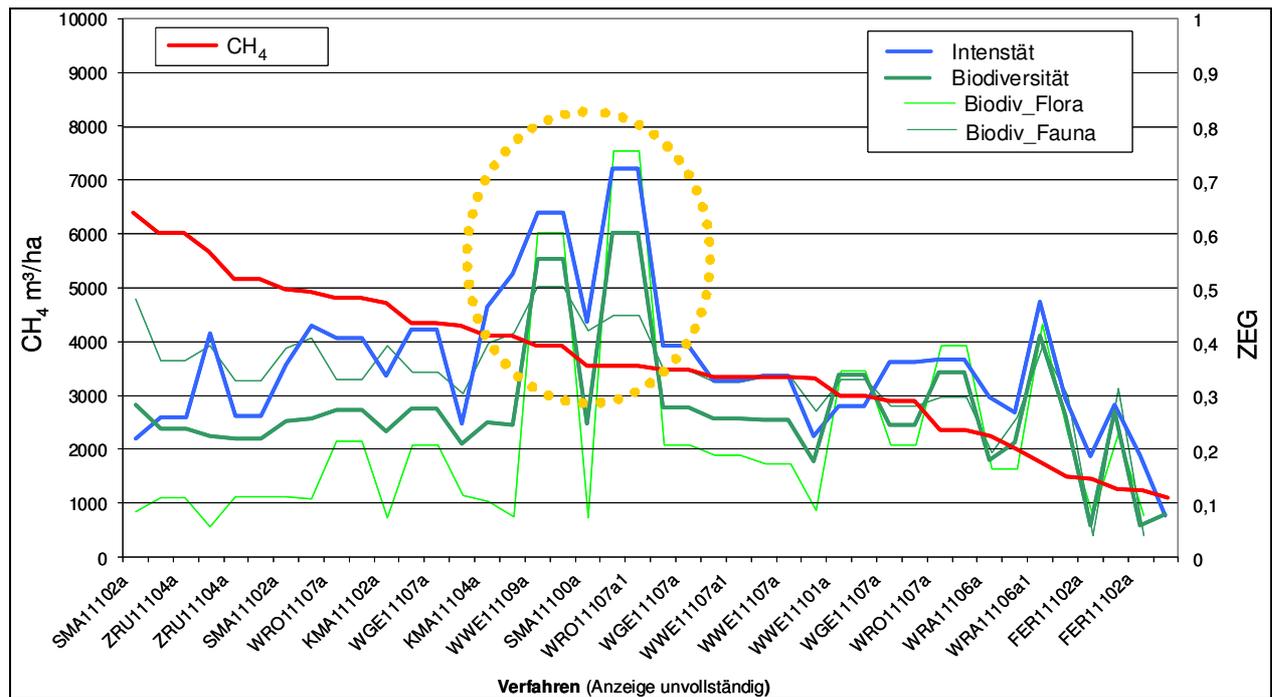


Abb. 2-15: Verfahren des Praxisbetriebes Zi (alle Standorte AZKI 25-63): ZEG von Intensität und Biodiversität, Methanhektarerträge (rote Linie = Sortierung: von links nach rechts abnehmend), Bereich gelbe Punkte: PV mit interessanter Kombination

Eine Analyse der betriebseigenen Verfahren der Praxisbetriebe (hier am Beispiel Zi) zeigte, dass einige Getreideganzpflanzenverfahren gute Methanhektarerträge (3-4.000 m³) bei hohen ökologischen Zielerreichungsgraden aufwiesen. Der dem guten ökologischen Ergebnis zugrunde liegende weitgehende Verzicht auf Pflanzenschutzmittel kann dabei als ein sinnvoller Weg angesehen werden, die ökologischen Wirkungen der Verfahren zu verbessern. Die in der Formulierung der Verfahren angesetzten guten Erträge sind jedoch nicht in allen Anbaujahren und auf allen Standorten realisierbar. Die Praxisverfahren sind daher nur unter Ausnahmen zu einem Vergleich mit den Standardverfahren herangezogen worden, und dies nur unter besonderer Berücksichtigung der speziellen Betriebsbedingungen.

Neben der punktuellen Betrachtung einzelner Verfahren und ihrer ökologischen Wirkungen bietet die modellgestützte Analyse die Möglichkeit, ganze Fruchtfolgen zu bewerten. Damit wird eine zeitraumbezogene Beurteilung möglich. Die modellimmanenten Restriktionen von Fruchtfolgeanteilen und Vorfruchtansprüchen verhindern dabei die Auswahl nicht kompatibler Fruchtfolgeglieder und verbessern das Ergebnis für die Einbindung neuer Energiepflanzen-Produktionsverfahren in die Anbausysteme.

2.8.3 Modellbetriebe in den Modellierungsläufen

In den Modellläufen werden die Szenarioergebnisse für verschiedene Betriebe und Betriebstypen sowie unterschiedliche Rahmenbedingungen abgebildet. Entsprechend der Zielfunktion des linearen Modellierungsmodells wird dabei der Deckungsbeitrag maximiert. Das Ergebnis weist daher die optimale Kombination von Produktionsverfahren eines Betriebes innerhalb der gewählten Betriebsausstattung (Flächen-, Biogasanlagen- und

sonstige Ausstattung) und Rahmenbedingungen (Preise, Prämien, Biogasausbeuten usw.) aus.

Für eine detaillierte Darstellung der Betriebsabläufe und ökonomischen und ökologischen Effekte beim Betreiben einer Biogasanlage im betrieblichen Modell wird die Zuordnung von alten und neuen Produktionsverfahren sowie unterschiedlichen Betriebstypen und verschiedenen Umfängen der Biogasproduktion variiert.

Als Modellbetriebe wurden mittelgroße Betriebe mit einer Betriebsfläche von 200 ha ausgewählt³², die damit über eine ausreichende Fläche verfügen, um eine größere Biogasanlage mit NawaRo oder eine größere Einheit an Tieren zu versorgen. Die Flächenausstattung ist dabei jedoch so knapp dimensioniert, dass ein gleichzeitiges Betreiben beider Betriebszweige – Biogasanlage und Tier-/Milchproduktion – zu Nutzungskonflikten führen muss. Folgende Modellbetriebe wurden formuliert:

Tab. 2-12: Modellbetriebe in den Modellierungsläufen

Bezeichnung	Fläche (ha AF)	Betriebszweige
Modell- Betrieb K0	200	ohne BA und ohne Tier-/Milchproduktion
Modell- Betrieb K1	200	500 kW BA
Modell- Betrieb K2	200	500 kW BA + Tiere: 200 Milchkühe
Modell- Betrieb K3	200	nur Tiere: 200 Milchkühe

Alle Modellbetriebe bewirtschaften je 50 ha innerhalb der vier Ackerzahlklassen (AZKI 25, 38, 50, 63). Die Bereiche der Ackerzahlen sind in Tab. 2-13 angegeben. Den Modellbetrieben standen sowohl Standardproduktionsverfahren als auch die neuen Energiepflanzenverfahren zur Auswahl.

Tab. 2-13: Bodengüte der Betriebe: Verteilung der Flächen auf die Ackerzahlklassen (AZKI)

Betriebe	AZKI	AZ-Bereich	SchlagGr (ha)
K0, K1, K2, K3	25	< 30	50
	38	30-45	50
	50	45-55	50
	63	> 55	50
Do	25	< 30	110
	38	30-45	110
	50	45-55	30
Ki	25	< 30	1.000
	38	30-45	100
Zi	25	< 30	380
	38	30-45	1.160
	50	45-55	1.200

³² Der Brandenburger Durchschnitt liegt bei ca. 194 ha: 6.900 Betriebe bewirtschaften eine Fläche von 1,3 Mio. ha (Amt für Statistik Berlin Brandenburg, 2008)

Die gleichmäßige Verteilung der Fläche auf unterschiedliche Bodengütebereiche, ausgedrückt in Ackerzahlklassen (vgl. Landbauklassen in Brandenburg in Kapitel 1.3.3), dient dazu, die verschiedenen standörtlich angepassten Bewirtschaftungsweisen abzudecken und ihre Besonderheiten vor Augen zu führen. Von den Reaktionen der Modellbetriebe auf die Änderung von Rahmenbedingungen können so Aussagen auch für zu vergleichende Betriebe mit unterschiedlichen standörtlichen Voraussetzungen abgeleitet werden.

2.8.4 Rahmenbedingungen

2.8.4.1 Szenarien für Preisentwicklungen

Eine wichtige Frage, die sich (auch) beim Anbau von Energiepflanzen stellt, ist die nach der Preisentwicklung auf dem Getreidemarkt (Agrarmarkt). Die innerbetriebliche Verwertung des Flächenprodukts „Substrat für die Biogasanlage“ ist wirtschaftlich nur dann sinnvoll, wenn der zu erzielende Markterlös dieser oder einer alternativen Anbaukultur unterhalb des Stromerlöses der über die Biogasanlage „veredelten“ Flächenprodukte liegt.

Sobald der Marktpreis von Getreide über ein bestimmtes Niveau ansteigt, wird die Investition in die Biogasanlage leider unausweichlich zu einer „Sünde der Vergangenheit“. Der Biogasbetrieb kann zwar die Deckung der Variablen- und Fixkosten sowie einen gewissen Gewinn erwirtschaften, es entstehen jedoch Opportunitätskosten der Fläche in Form eines Gewinnverzichtes, z. B. im Vergleich mit dem Verkauf von Weizen.

Entsprechend ist es auch weniger sinnvoll, sich bei steigenden Weizenpreisen mit langfristigen Anbauverträgen an externe (regenerative) Energieerzeuger (wie Bioethanolwerke) zu binden, und dies womöglich noch ohne die Vereinbarung von Zinsgleitklauseln oder sich auf den Terminmärkten abzusichern.

Auf der anderen Seite bietet die eigene Anlage durch die langfristige Planungsgrundlage (EEG bis 2024) eine höhere Sicherheit als eine weithin unsichere Marktentwicklung. Bisher zeigte es sich, dass der, infolge eines postulierten Nachfrageüberhangs (u. a. durch das Bevölkerungswachstum oder eine nachholende Entwicklung von China und Indien) steigende, Preis von Agrarprodukten nicht immer bis an die Erzeuger weitergegeben wurde. Weiter ist es fraglich, ob die positive Preisentwicklung nicht von steigenden Kosten für (industrielle) Betriebsmittel überkompensiert wird, so dass sich die Kostenschere weiter öffnet.

In dieser schwierigen Situation sollten die Szenarien helfen, mögliche Entwicklungen vorstellbar zu machen und eine Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Folgen bieten. Steigende Marktpreise führen einerseits zu Änderungen der Vorzüglichkeit von Produktionsverfahren und ihren Intensitäten. Auf der anderen Seite sind auch bestimmte Flächen unmittelbar betroffen. So können bisher nicht zur Bewirtschaftung lohnende, weil ertragsschwache Standorte, durch das neue Preisgefüge die Gewinnschwelle erreichen.

2.8.4.2 Förderkulisse

Die Entkopplung der Direktzahlungen wandelte die produktionsgebundenen Direktzahlungen in produktionsunabhängige einheitliche Flächenbeiträge. Dies geschah mit dem Ziel, den Widerspruch zwischen produktionsfördernden Subventionen einerseits und den aus ihnen resultierenden Produktionsüberschüssen zu schlichten, aber auch um den Landwirten mehr Flexibilität und Entscheidungsfreiheit zu ermöglichen (BMVEL 2005).

Die Entkopplung der Direktzahlungen ab 1.1.2005 begann mit einem sogenannten Kombinationsmodell. Eine Art Hybrid zwischen den beiden Ursprungsalternativen Regionalmodell und Betriebsmodell, wird es aber im Jahr 2013 in ein reines Regionalmodell münden (MLUR 2004b). Auch nach der Reform bleiben einige Maßnahmen gekoppelt, wie z. B. Prämien für Eiweißpflanzen³³ und Energiepflanzen³⁴, Teile der Stärkekartoffel- und Tabakprämie sowie die Agrarumweltmaßnahmen (Böhme 2005).

Die **beihilfefähige Fläche** schließt die obligatorisch stillzulegende Fläche aus. Für Brandenburg gilt für 2005 ein Flächenstilllegungssatz von 8,73 % (BMVEL 2003b), eine Obergrenze gibt es nicht mehr. Damit könnte sich ein Landwirt bei ungünstigen Marktbedingungen für die vollständige Stilllegung seines Betriebes entscheiden, sofern er sich an die Regelungen im Zusammenhang mit „Cross Compliance“ hält. Für die Stilllegungsflächen erhalten Landwirte nur den regionalen Sockelbeitrag ohne betriebsindividuellen Anspruch.

Die im Projekt gerechneten Szenarien verzichteten auf die Staffelung im Übergang vom Kombinationsmodell (2005) bis zum Regionalmodell (2013). Prämienzahlungen im Modell (s. folgende Tabelle) entsprechen dem Regionalmodell von 2013 und werden auf den für Grünland, Ackerland und Stilllegung in Brandenburg einheitlichen Betrag von 290 €/ha angeglichen.

Tab. 2-14: Agrarförderung Stand 2005-2013 (GAP Reform 2005)

Flächenzahlungen	GAP 2013 Regionalmodell
Ackerkulturen	290 €/ha
Eiweißpflanzen	290 €/ha + 55,57 €/ha ³⁵
Ölsaaten	290 €/ha
Grünland	290 €/ha
Stilllegung	290 €/ha
Stilllegungsausgleichsbedingungen	
Mindestantragsfläche	0,3 ha
Mindeststilllegungsfläche	0,1 ha, mindestens 10 m breit
Stilllegungsminimum	8,73 %
	-
	Produktion von mehr als 92 t Getreide

Da Beihilfen für die Flächen weitgehend unabhängig von Art und Umfang der erzeugten Produkte sind (Ausnahmen: Zuckerrüben, Tabak etc.), können Flächen theoretisch auch

³³ Erbsen, Acker- und Puffbohnen, Süßlupinen, jedoch keine Gemüseerbsen und -bohnen

³⁴ Prämienhöhe 45 €/ha

³⁵ gekoppelte Prämie

ganz aus der Produktion genommen werden, sofern trotz Nichtnutzung der gute landwirtschaftliche und ökologische Zustand der Flächen erhalten bleibt. Innerhalb der vorzunehmenden Modellanpassung werden sowohl die Auswirkungen der Midterm-Review-Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik auf die vom Betrieb bezogenen Direktzahlungen als auch die Maßnahmen im Rahmen des Entwicklungsplans für den ländlichen Raum sowie Förderprogramme auf Länderbasis dargestellt. Die Fördermaßnahmen sind insbesondere in der Herkunft der Finanzmittel zu unterscheiden in Fördergelder der EU (EAGFL), nationale Fördermittel (GAK) sowie Ländermittel (z.B. Vertragsnaturschutz). Zu direkten NCO-Förderprogrammen sind dabei die Agrarumweltmaßnahmen und der Vertragsnaturschutz zu zählen, während durch die Einhaltung der Cross-Compliance-Standards für den Erhalt der entkoppelten Direktzahlungen auch indirekt NCO produziert werden. Im Rahmen des Projektes soll auf (NCO-)Förderinstrumente, die Investitionscharakter haben, wie z.B. die Agrarinvestitionsprogramme der Länder, nicht näher eingegangen werden.

Zur Energiepflanzen-Beihilfe

Die Beihilfe für Energiepflanzen ist eine der neuen gekoppelten Beihilfen. Diese eigenständige Beihilfe von 45 €/ha kann zusätzlich zur einheitlichen Betriebsprämie beantragt werden. Als Energiepflanze können alle landwirtschaftlichen Ausgangserzeugnisse – ausgenommen Zuckerrüben – auf nicht stillgelegten Flächen angebaut werden. Die Beihilfe wird entsprechend gekürzt, wenn die Garantiehöchstfläche von 1,5 Millionen Hektar in der EU überschritten wird. Das entspricht einem Gesamtfördervolumen von 67,5 Mio. € in der EU. In der BRD (2006) sind seit Beginn der Regelung 180.000 ha derartiger Flächen gemeldet worden.

Für die Inanspruchnahme der Energiepflanzen-Beihilfe sind für alle Ausgangserzeugnisse Anbau- und Abnahmeverträge abzuschließen. Ausnahmen wie bei den nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) gibt es nicht. Der Vertrag für Energiepflanzen kann nur mit einem Erstverarbeiter abgeschlossen werden. Ein direkter Abschluss mit einem Aufkäufer (z. B. Landhändler), entsprechend dem Anbau von NawaRo auf Stilllegungsflächen, ist nicht möglich. Im Vertrag für Energiepflanzen sind Angaben zu Ölsaaten, wie voraussichtlicher Ertrag und voraussichtliche Menge an Schrot bei einer Verwendung im Nichtnahrungs- und Nichtfuttermittelsektor, nicht erforderlich. Die Kautions, die für einen Energiepflanzenvertrag vom Erstverarbeiter bei der BLE zu hinterlegen ist, beträgt 60 €/ha. Bei nachwachsenden Rohstoffen liegt der Betrag bei 250 €/ha.

Zu Nachwachsenden Rohstoffe (NawaRo) für Biogas

Durch das EEG wird die Verwendung von NawaRo in Biogasanlagen gefördert. Nach den Beschlüssen zur Reform der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) in der Europäischen Union (EU) ist es auch künftig möglich, auf obligatorisch stillgelegten Flächen nachwachsende Rohstoffe anzubauen. Das bedeutet, dass Ackerflächen, die zur Aktivierung von Stilllegungs-Zahlungsansprüchen (ZA) dienen, auch zum Anbau von NawaRo genutzt werden können (VO (EG) 1782/2003, Art. 51). Bei der Auswahl von NawaRo zum Einsatz in einer Biogasanlage innerhalb der Szenarienrechnungen ist zu bedenken, dass diese zwar auf Stilllegungsflächen angebaut werden dürfen, dann jedoch die Energiepflanzenbeihilfe von 45 € nicht gewährt wird, um eine doppelte Honorierung zusätzlich zum NawaRo-Bonus von 6 ct/kWh im EEG auszuschließen.

2.8.4.3 Annahmen unter dem Lib-Szenario

Im sogenannten Liberalisierungsszenario wurde, um die Aussagefähigkeit auf den Zeitraum nach einer schwer vorhersehbaren Neuregelung der GAP auszudehnen, die Vorzüglichkeiten der Bewirtschaftungsverfahren ohne die Förderungsprämie in Höhe von 290 € ermittelt (Lib-Szenario). Da hiervon auch die Entwicklung der Preise betroffen ist, mussten zusätzlich Annahmen über die Höhe der vermutlichen Marktpreisanhebungen getroffen werden. Zu Beginn des Projekts wurde noch mit einer vorsichtigen Anhebung von 50 % (Faktor 1,5) gerechnet, zum Ende wurde dieser Rahmen allerdings von der Realität eingeholt, so dass mit einem Faktor von 2,0 kalkuliert wurde.

Da an die Verkaufspreise der Marktfrüchte vermutlich eine verzögerte Anhebung der Zukauf- und Betriebsmittelpreise gekoppelt ist (Einschätzungen der Experten und Praktiker), mussten diese Entwicklungen ebenfalls berücksichtigt werden. Detaillierte Berechnungen und Modellierungen zur Marktentwicklungen waren innerhalb des Projektes jedoch nicht vorgesehen.

Die Betriebe wurden in dem Liberalisierungsszenario drei Varianten von Rahmenbedingungsänderungen gerechnet (zu lesen als zeitliche Abstufungsprozesse des Preisanstiegs):

1. Stufe (entspricht so auch dem Ansatz in der Preis-Parametrisierung): Anhebung allein der Marktfruchtpreise. Dieses soll die eher kurzfristigen Änderungen von Marktpreisen abbilden und das Risiko von unvorhersehbaren Preisschwankungen verdeutlichen.
2. Stufe: Auch die Zukaufspreise für Wirtschaftsfutter wurden angehoben. Dies verdeutlicht die folgende Anpassung der Preise auf den Getreidemärkten. Je nach Lagerhaltung der Betriebe trifft es die Kosten der Tierproduktion noch in dieser oder kommender Anbauperiode.
3. Stufe: Auch die Verkaufspreise für tierische Erzeugnisse steigen an (inkl. Milchpreise). Hier wurde zunächst mit einem Preisanstieg nur um das 1,5fache gerechnet.

2.8.5 Entwicklung und Ausgestaltung der Szenarien in den Modellierungsphasen

Untersuchungsgegenstand sind die in den jeweiligen Phasen betrachteten Betriebe. Die Szenarien setzen sich aus den getroffenen Annahmen (Rahmenbedingungen) und den variierten Parametereinstellungen (Modellanpassungen) zusammen. Modellierungsphasen beschreiben ganze Einheiten von Berechnungen, die sowohl verschiedene Stadien des Projektverlaufs als auch Fragenkomplexe abbilden.

Während der ersten Modellentwicklungsphasen wurden die Bedingungen und Eigenschaften der Praxisbetriebe stärker als im späteren Projektverlauf abgebildet, um zunächst eine Diskussionsgrundlage mit den Betrieben zu erarbeiten. Auf dieser Grundlage wurden die Betriebsmodelle weiter angepasst und validiert. Im weiteren Projektverlauf (ab Modellierungsphase C) wurde dann immer weiter von den realen Betrieben abstrahiert, um individuelle Merkmale der Betriebe auszublenden. Dies hatte das Ziel, möglichst vergleichbare Beispielsbetriebe zu bilden, die mittels Szenarienrechnungen mit veränderten Rahmenbedingungen konfrontiert werden und verallgemeinerbare Aussagen abzuleiten, die nicht zu sehr auf reale Betriebe bezogen waren.

2.8.5.1 Überblick über die Szenarien in den Modellierungsphasen

Wechselwirkungen im Betrieb zwischen Betriebszweigen und zugehörigen Produktionsverfahren bestimmen dessen ökonomische und ökologische Leistungen. Eine Substratbereitstellung, die auf den klassischen, intensiven Anbauverfahren basiert, ist bisher weit verbreitet. Da sich aus dieser Tatsache verstärkt durch die Ausdehnung des Anbauumfangs eine potentielle Gefährdung für Umwelt- und Naturschutzziele ergibt, setzten die Berechnungen in den ersten Modellierungsphasen (Phase A + B) bei der alleinigen Verwendung von Standardverfahren in den Betrieben an. Erst im zweiten Schritt (ab Phase C) wurde den Modell-Betrieben dann die Verwendung neuartiger Energiepflanzen-Produktionsverfahren angeboten.

Tab. 2-15: Überblick über die Änderung der Szenarienannahmen in den Modellierungsphasen (X: keine Änderung zur vorigen Phase)

Szenario	Sonst.				
	Basis	Kons	Preis	Lib	
Phase A	ohne BA	-	-	-	-
Phase B	X	-50 %	f = 1,5	X	ohne EP
Phase C	+EP	-50 % + Para	f = 2,0 + Para	X	
Phase D	X	-	-	-	ZEG Restr.

Tab. 2-16: Überblick über die Änderungen der Ausgestaltung der Modellbetriebe in den Modellierungsphasen (leere Zellen: Betriebe nicht vorhanden)

	Betriebe						
	K0	K1	K2	K3	Do	Ki	Zi
Phase A		500 kW			250 kW	100 kW	500 kW
Phase B		500 kW			X	X	X
Phase C	ohne BA	500 kW	500 kW +Tier	Tier	(X)	(X)	Z1 ⇒ 500 kW Z2 ⇒ 1.000 kW Zi ⇒ beide BA
Phase D	Para ZEG	Para ZEG					

2.8.5.2 Erläuterungen Szenarientwicklung

In Phase A: Modulentwicklung und Betriebe

Um die einzelbetrieblichen Änderungen durch die Aufnahme der Energieerzeugung durch eine Biogasanlage zu erfassen, sind in einem Szenario die auf den Praxisbetrieben vorhandenen Biogasanlagen „ausgeschaltet“ worden. Für Betriebsvergleiche stellt dies die Ausgangslage dar, um die ökonomischen und ökologischen Folgen der Investition in den Betriebszweig Biogasanlage herauszuarbeiten. Die Ergebnisse dieser Modellierungsläufe konnten jedoch nicht unmittelbar mit den folgenden Modellierungsphasen verglichen werden, da sie zu einem relativ frühen Stadium des Projekts generiert worden sind und nachher noch größere Änderungen am Biogasmodul vorgenommen wurden. Auf die Darstellung der Ergebnisse wird daher weitgehend verzichtet.

In Phase B: Modelloptimierung, Vergleich von Standard mit Praxisbetrieben, erste Szenarien zu ökologischen Folgen der Aufnahme des Biogasanlagenbetriebs

Auswirkungen der Rahmenbedingungen der Szenarien (s.u.) auf bestehende Anbausysteme: Dabei wird das technische Potenzial voll ausgeschöpft (hohe spezielle Intensität) bei Anwendung der Guten fachlichen Praxis, Cross Compliance (CC) sowie vorhandenen Intensivanbauverfahren (insb. Mais als Energiepflanze).

Zu den vorhandenen Standardverfahren von Brandenburg (aus der Modelldatenbank), wurden die aufgenommenen Verfahren der Betriebe gestellt, wobei die Betriebe nur mit ihren jeweils eigenen Betriebsverfahren gerechnet wurden. Der Einfluss möglicher Produktivitätsverluste, Preis- und Kostenentwicklungen, die verschiedenen Betriebsformen und unterschiedlichen Standortvoraussetzungen kann herausgearbeitet werden.

In dieser Modellierungsphase wurden die vom Projekt gerechneten Szenarien aufgestellt: „Basis“, „Kons“, „Preis“, „Lib“

BASIS:

Ausgangsszenario, Preise und BGA auf „1“ gesetzt.

KONS: („konservative Rechnung“)

Zur Simulation einer Entscheidung unter Unsicherheit wird in diesem Szenario die Biogasausbeute um 50 % vermindert. Die Größe „50 %“ stellt dabei theoretisch die Summe aus mehreren Faktoren dar.

- ☞ Abgebildet werden hierdurch Abweichungen vom Optimum nach unten bei Produktion und Verwertung von Biomasse, die insgesamt für eine geringere Gesamtleistung verantwortlich sein könnten (Kennzahlen: Methanertrag pro Hektar und kWh pro Jahr).
- ☞ Beim Anbau unterliegen die Ertragsleistungen pro Fläche hauptsächlich witterungsbedingten Schwankungen (Verschärfung des Anbaurisikos zusätzlich durch den Klimawandel?). Ertragsminderungen durch Kalamitäten sollen weitgehend durch die Produktionstechnik verhindert werden.
- ☞ Die Biogasausbeute im Fermenter (in der Realität weitgehend eine „Black Box“) und ihre Verwertung/Umwandlung in Strom und Wärme kann infolge suboptimaler Prozessbiologie (z. B. Mikronährstoffmangel, Temperaturschwankungen, fehlende Durchmischung), zu kurzer Verweildauer oder auch technischen Störungen erheblich vermindert werden.

³⁶Das **KONS**-Szenario schätzt demnach das gleichzeitige Auftreten der einzelnen Risiken in seinen wirtschaftlichen Konsequenzen ab.

Forschungsfragen und Ausgangshypothesen von „KONS“:

- Was passiert bei geringeren Biogasausbeuten? Führen diese lediglich zu einer Ausweitung der Flächen für die Biogasproduktion oder ändert sich auch das Anbauspektrum?

³⁶ Die Abnahme der Biogasausbeute könnte z. B. als kombinierter Effekt einer 20 %igen Ertragsabnahme (bei Silomais bedeuteten 20 % z. B. in Höhe von 15 t TM auf 12 t/ha), einer 20 % Abnahme gegenüber der kalkulierten Biogasausbeute (240 m³ statt 300 m³ CH₄/t oTS aus Maissilage) sowie einem Puffer für technische Störungen von 10 % zusammengesetzt sein.

- Die Flächenkonkurrenz und damit die Opportunitätskosten steigen, da die für die Auslastung der Anlage benötigte Energiemenge auf einer insgesamt größeren Fläche bereitgestellt werden muss.
- Welche Auswirkungen haben steigende Flächenkonkurrenzen und damit Opportunitätskosten auf ökonomische und ökologische Kennzahlen?
- Können hieraus Abschätzungen der betrieblichen Änderungen für infolge eines durch Klimawandel verschärften Anbausrisikos getroffen werden? (Zunahme der Pufferflächen, PV-Diversifizierung, aber auch Druck hin zu effizienteren PV).

PREIS (Faktor 1,5):

Folgen steigender Marktpreise auf die Vorzüglichkeit der Produktionsverfahren:

⇒ Vergleich von Szenario **BASIS** mit **PREIS**

Forschungsfragen und Ausgangshypothese von „PREIS“:

- Mit dem Preisanstieg können – infolge der Flächeninanspruchnahme durch die Biogasanlage – Einkommensverluste auftreten.
- Welche Folgen hat ein Anstieg der Preise auf die Vorzüglichkeit der Verfahren?
- Verändert sich das Anbauspektrum oder steigt lediglich der DB?
- Welche Verfahren bringen welche Standorte aufgrund eines Preisanstiegs wieder in die Nutzung?
- Welchen Einfluss hat der Preisanstieg auf den Betrieb einer Biogasanlage?

LIB: (Liberalisierung: einfache Aufhebung der Prämienzahlungen, Preisniveau von Marktfrucht und Zukauf mit Faktor 1,5)

Forschungsfragen von „LIB“:

- Wie stellen sich die Änderungen des **PREIS_1,5**-Szenarios bei Wegfall der Prämien dar?
- Wie schlagen die fehlenden flächengebundenen Zahlungsansprüche auf den verschiedenen Standorten durch?
- Welche Verfahren gewinnen für Grenzertragsstandorte an Bedeutung?
- Können sich Energiepflanzen-Verfahren auf diesen Standorten durchsetzen?

In Phase C: Entwicklung neuer Energiepflanzen-Produktionsverfahren

⇒ Vergleich von Standardverfahren mit neuen Energiepflanzen-Verfahren

In der Modellierungsphase C wurden in einem ersten Schritt erneut die Auswirkungen der Integration von Biogasanlagen in die Betriebe (Szenario Biog_BASIS) und in einem zweiten Schritt die Änderungen durch die Einführung und Entwicklung neuer Energiepflanzen-Anbauverfahren (Szenario Epfl_BASIS) bewertet. Das Biogasmodul sowie die Annahmen zu den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen waren infolge der Validierung nach den Fachgesprächen und Workshops Anpassungsvorgängen unterworfen. Die Preise für den Verkauf von Marktfrüchten wurden im PREIS- und im LIB-Szenario aufgrund sich ändernder Einschätzungen der Akteure auf einen Faktor von 2,0 gegenüber den Preisen von 2004 angehoben. Die Parametrisierungsrechnungen erstreckten sich bis zu dem 4fachen des 2004er Preisniveaus.

Die Praxisbetriebe (Do, Ki, Zi³⁷) wurden in den Szenarien mitgerechnet, aber in der Auswertung nur noch für spezielle Fragestellungen herangezogen, um eine Grundlage für Erläuterungen während der weiteren Validierungsgespräche und Vertiefung der Ergebnisse zu erhalten.

Folgende Tabelle bietet eine detaillierte Aufstellung der Modellbetriebe und mit ihnen gerechneten Szenarien in der Modellierungsphase C.

Tab. 2-17: Überblick über die neu aufgenommenen Modellbetriebe und zusätzlichen Modellierungsrechnungen in Phase C

Szenario	Modellbetriebe	K0 nur Marktfrucht	K1 500 kW Biogasanlage (BA)	K2 500 kW BA + Tier- produktion	K3 Tierprod. (200er Kuhstall)
1) BASIS (Standard PV)		optimierte Biogasausbeute, nur Standardverfahren Brandenburg			
2) BASIS + Energiepflanzen		wie 1) Standard- sowie neue Energiepflanzen-Verfahren			
3) KONS + Energiepflanzen		wie 2), aber BGA bei 0,5 als untere ökonomische Grenze			
4) PREIS 2,0 + Energiepflanzen		wie 2), aber Verkauf Marktfrüchte zu doppelten Preisen			
5) LIB (BASIS + EPFL u. bei Preis 2,0)		wie 4) ohne Flächenprämie und Preisniveau 2,0 für Marktfrüchte, Zukauf Futtermittel, Verkauf Tier			
1. Parametrisierung Biogasausbeute (BGA)		Ergänzung zu „KONS“: Minderung der BGA in 10 %-Schritten gegenüber Optimum) bis 0 % BGA			
2. Parametrisierung Preise		Ergänzung zu „PREIS“: Steigerung der Marktpreise 20 %-Schritten bis 480 % (2004 = 100 %)			

In Phase D: Synthese und Ausblick: Einbindung von speziellen Naturschutzaspekten

In dieser Phase wurden zunächst einige relevante Szenarien ausgewählt, um anschließend ganz gezielt die Kosten umweltorientierter Energiepflanzen-Anbauverfahren bei Erreichung eines Mindest-ZEG auszuweisen. Die Auswahl erfolgte dabei aufgrund von häufig diskutierten Synergieeffekten des Biomasseausbaus.

Ausblick auf kommende Aufgaben und Forschungsfragen

- ☞ Untersuchung der ZEG auf Flächen, die ehemals stillgelegt oder extensiv bewirtschaftet wurden. Verbesserungen/Verschlechterungen?

³⁷ Ziltendorfer Betrieb zusätzlich mit den drei Ausbaustufen der Biogasanlage Z1 = 500 kW, Z2 = 1.000 kW und Zi=1.500 kW, bestehend aus den zwei Anlagengrößen 500 kW und 1.000 kW

3 Ergebnisse

Die Gliederung der Ergebnisse der Modellrechnungen in den kommenden Kapiteln orientiert sich an folgenden Fragestellungen:

1. Welche **Produktionsverfahren** erwiesen sich unter den Rahmenbedingungen des Modells und der jeweiligen Szenarien als die vorzüglichen?
2. Welche **ökologischen Folgen** waren hiermit verbunden (Auswirkungen auf die einzelnen ZEG)?
3. Welche **Landnutzungssysteme** (vor allem Fruchtfolgeanteile) konnten mit diesen Verfahren realisiert werden? Hauptsächlich Darstellung der betriebsspezifischen Szenarioergebnisse. Im Einzelfall wird ein Vergleich der Standorte, „leichte“ (AZ < 30) und „bessere“ Böden (AZ > 30) mit einbezogen.
4. Wie reagieren **ökonomische Kennzahlen** auf die zwei wesentlichen Einflussgrößen Biogasausbeute (\Rightarrow Flächenanspruch der BA) und Marktfruchtpreise (\Rightarrow Konkurrenzfähigkeit Veredelungsproduktion)?

Für Vergleiche und Interpretationen standen die oben detailliert beschriebenen Varianten aus Szenarien und Betrieben zur Verfügung.

3.1 Ergebnisse der ökonomischen Partialanalyse/Verfahrensebene

Bevor die Modelllösungen aus den Szenarioberechnungen vorgestellt werden, geben die folgenden Kapitel einen Überblick über die ökonomischen und ökologischen Kennzahlen der Produktionsverfahren, die auf den Modellbetrieben in den Lösungsraum gewählt wurden.

3.1.1 Darstellung ausgewählter Verfahren

Nach mehreren Modellierungsläufen (1. Datenerhebung, 2. Eingabe, 3. Fehlerkontrolle) stand eine Datenbank mit getesteten, angepassten und validierten Produktionsverfahren zur Verfügung. Für diese Verfahren wurden verschiedene Szenarien gerechnet. Es zeigte sich, dass unter den festgelegten Rahmenbedingungen nur drei der neuen Energiepflanzen-Verfahren in die Lösung kamen. Für beide Standortklassen (AZKI 25 und 38) wurde ein Hirse-Verfahren (in Hauptfrucht-Stellung) ausgewählt. Zusätzlich kamen auf den leichteren Standorten ein Roggen-Ganzpflanzenverfahren und auf den besseren Standorten ein Energiemais zum Einsatz.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendeten Verfahren und zeigt die spezifischen Substratkosten als relevante Kennzahl für den Einsatz der Ernteprodukte in Biogasanlagen.

Tab. 3-1: Übersicht über die Kennzahlen der „spezifischen Substratkosten“ (€/m³ CH₄) der Produktionsverfahren im Lösungsraum aller Szenarien der abschließenden Modellrechnungen auf allen Standorten (detaillierte Beschreibung der Bearbeitungsmaßnahmen im Anhang)

KultPV	Kultur	Boden- bearbeitung	organische Düngung	Ernte- Neben- produkt	AZKI 25	AZKI 38	AZKI 50	AZKI 63
<i>in den Szenarienberechnungen (Phase C, D) verwendete neue Energiepflanzenverfahren</i>								
FGR11108r1	Hirse	pfluglos	Flüssigmist	Nein	0,11	0,10		
SMA11108r1	Silomais	pfluglos	Flüssigmist	Nein		0,11		
WRO11102r3	Winterroggen	pflug	Flüssigmist	Nein	0,22			
<i>in den Szenarienberechnungen (Phase C, D) verwendete Standardverfahren</i>								
SMA1100a	Silomais	pflug	ohne	Nein		0,19		
SMA1206a	Silomais	pfluglos	ohne	Nein		0,18		
SMA1208a	Silomais	pfluglos	Flüssigmist	Nein	0,23	0,17	0,15	0,16
WGE1103a	Wintergerste*	pflug	Flüssigmist	Ja			0,21	0,20
WGE1400a	Wintergerste*	pflug	ohne	Nein				0,26
WRA1206a	Winterraps*	pfluglos	ohne	Nein	0,54	0,38	0,33	0,32
WRO1102a	Winterroggen*	pflug	Flüssigmist	Nein		0,26	0,24	0,25
WRO1103a	Winterroggen*	pflug	Flüssigmist	Ja	0,44	0,30	0,28	
WRO1206a	Winterroggen*	pfluglos	ohne	Nein	0,34	0,26	0,24	0,25
WRO1207a	Winterroggen*	pfluglos	ohne	Ja		0,29		
WWE1102a	Winterweizen*	pflug	Flüssigmist	Nein			0,26	0,24
WWE1206a	Winterweizen*	pfluglos	ohne	Nein		0,28	0,25	0,24
LZG1100a drei Jahre	Luzernegras, Grünfutter	pflug	ohne	Nein	0,33	0,30	0,30	0,30
LZS11001 drei Jahre	Luzernegras, Silage	pflug	ohne	Nein		0,22	0,20	0,19
LZS14002 drei Jahre	Luzernegras, Silage	pflug	ohne	Nein	0,29			0,19
LZS14003 drei Jahre	Luzernegras Silage	pflug	ohne	Nein			0,20	0,19
SBL1100a	Sonnenblumen*	pflug	ohne	Nein				0,54

* nur Körner-/Samenernte

Nur Standardverfahren wurden für die guten bis sehr guten Standorte (AZKI 50 und 63) formuliert (s. Kap. 2.7). Für die unteren Ackerzahlklassen 25 und 38 werden in den beiden folgenden Tabellen noch einmal die zur Herleitung der spezifischen Substratkosten benutzten ökonomischen Kennzahlen und weitere Merkmale der Verfahren aufgelistet.

Tab. 3-2: Kosten, Erträge und Biogaskennzahlen der Produktionsverfahren im Lösungsraum aller Szenarien der abschließenden Modellrechnungen, **AZKI 25**

BetrMt	PV-Kennung Boden- bearbeitung	org. Düng.	AKh	VaKo	GesKo	Ertrag TM	TS	Methan- hektar- ertrag	Methan- ausbeute	spez. Kost
				€	€	dt	%	m ³ CH ₄ / ha	m ³ CH ₄ / kg_oTM	€/ m ³ CH ₄
Energiepflanzen-PV auf 25iger Boden										
Hirse, Silage	FGR11108r1 pfluglos	Ja	8,4	233	357	96	30	3.261	0,34	0,11
Winterroggen, Ganzpflanzensilage	WRO11102r3 Pflug	Ja	7,5	401	483	60	30	2.235	0,37	0,22
Standard-PV auf 25iger Boden										
Luzernegras, Grünfutter	LZG1100a Pflug	ohne	13,2	476	607	47	17	1.846	0,39	0,33
Luzernegras, Silage	LZS14002 Pflug	ohne	5,3	281	378	35	35	1.318	0,38	0,29
Silomais, Silage	SMA1208a pfluglos	Ja	7,6	509	638	68	35	2.742	0,41	0,23
Winterraps	WRA1206a pfluglos	ohne	2,8	348	446	15	88	823	0,57	0,54
Winterroggen	WRO1103a Pflug	Ja	7,2	401	543	26	88	1.240	0,47	0,44
Winterroggen	WRO1206a pfluglos	ohne	3,2	397	502	32	88	1.496	0,47	0,34

Tab. 3-3: Kosten, Erträge und Biogaskennzahlen der Produktionsverfahren im Lösungsraum aller Szenarien der abschließenden Modellrechnungen, **AZKI 38**

BetrMt	PV-Kennung Boden- bearbeitung	org. Düng.	AKh	VaKo	GesKo	Erträge TM	TS	Methan- hektar- ertrag	Methan- aus- beute	spez. Kost
				€	€	dt	%	m ³ CH ₄ / ha	m ³ CH ₄ / kg_oTM	€/m ³ CH ₄
Energiepflanzen-PV auf 38iger Boden										
Hirse, Silage	FGR11108r1 pfluglos	<i>ja</i>	11,5	302	456	135	30	4.586	0,34	0,10
Silomais, Silage	SMA11108r1 pfluglos	<i>ja</i>	17,0	553	718	160	30	6.481	0,41	0,11
Standard-PV auf 38iger Boden										
Luzernegras, Grünfutter	LZG1100a pflug	<i>ohne</i>	18,7	650	826	69	17	2.716	0,39	0,30
Luzernegras, Silage	LZS11001 Pflug	<i>ohne</i>	5,7	322	424	52	35	1.939	0,38	0,22
Speisekartoffel (10 % Futter)	SKA1100 pflug	<i>ohne</i>	15,5	1.625	1.856	58	22	2.576	0,44	0,72
Silomais, Silage	SMA1100a pflug	<i>ohne</i>	7,8	631	759	101	35	4.093	0,41	0,19
Silomais, Silage	SMA1206a pfluglos	<i>ohne</i>	7,1	602	718	101	35	4.093	0,41	0,18
Silomais, Silage	SMA1208a pfluglos	<i>ja</i>	9,1	541	682	101	35	4.093	0,41	0,17
Winterraps	WRA1206a pfluglos	<i>ohne</i>	3,4	486	593	28	88	1.566	0,57	0,38
Winterroggen	WRO1102a pflug	<i>ja</i>	5,8	410	546	44	88	2.082	0,47	0,26
Winterroggen	WRO1103a pflug	<i>ja</i>	8,2	464	623	44	88	2.082	0,47	0,30
Winterroggen	WRO1206a pfluglos	<i>ohne</i>	3,7	493	605	50	88	2.373	0,47	0,26
Winterroggen	WRO1207a pfluglos	<i>ohne</i>	6,3	554	691	50	88	2.373	0,47	0,29
Winterweizen	WWE1206a pfluglos	<i>ohne</i>	3,8	603	708	55	88	2.573	0,47	0,28

Es soll darauf hingewiesen werden, dass die angenommenen, relativ hohen Erträge nur bei guter Wasserversorgung erzielt werden – eine Voraussetzung, die in Brandenburg nicht immer gegeben ist. Zudem stellte sich die Frage, ob der hohe Energieertrag mit den reduzierten und daher kostengünstig formulierten Verfahrensschritten in der Realität durchgesetzt werden kann.

Ökonomische Abschätzungen zu den oben ausgewiesenen Substratkosten lassen erkennen, dass nur die günstigsten Verfahren (< 0,18 €/m³ CH₄) durch die Entlohnung NawaRo-Biogasanlage gedeckt werden können. Hier zu berücksichtigen ist, dass neben den vom Modell aus den Produktionsverfahren abgeleiteten spezifischen Substratkosten zusätzlich die in einem m³ CH₄ enthaltene Energiemenge in kWh sowie der Wirkungsgrad des BHKW

verrechnet und dem von der Größe abhängigen Einspeisungstarif der Anlage gegenübergestellt werden müssen.

Als Beispiel sei hier die Umrechnung der spezifischen Substratkosten von einer Winterroggen-Ganzpflanzensilage angeführt:

- 0,22 €/m³ CH₄ (WRO-GPS)
- bei 10 kWh/m³ CH₄ und einem
- Wirkungsgrad von 33 %

⇒ ergibt eine Leistung von 0,07 €/kWh.

Diese Berechnung bedeutet, dass der NawaRo-Bonus von 0,06 € allein nicht ausreicht, um die Substratkosten zu decken (und dies bei einer optimalen Energieausbeute aus dem Substrat).

Keines der Zweikulturnutzungsverfahren kam bisher in den Lösungsraum. Begründet ist dies mit den hohen Kosten des Verfahrens im Verhältnis des erzielten Ertrages zu dem der anderen Energiepflanzen-Verfahren. Infolge einer nur geringen Kostendifferenz des Zweikulturnutzungsverfahrens gegenüber einem Standardmaisverfahren kann jedoch die Verwendbarkeit im Einzelfall geprüft werden. Dies gilt insbesondere, wenn die Vorteile eines deutlich verbesserten Bodenschutzes in Anspruch genommen werden sollten (s. Abb. 3.4).

Tab. 3-4: Vergleich von Standardverfahren Silomais mit dem Energiepflanzen-Verfahren Silomais in Hauptfruchtstellung sowie dem Zweikulturnutzungsverfahren Silomais/Winterroggen

Bezeichnung KultPV	Verfahren	Ertrag TM	Ertrag FM	Gesamtkosten	Methan hektarertrag	spez. Gasausbeute	spez. Kosten
		dt	dt	€	CH ₄ m ³ /ha	CH ₄ m ³ /kg oTM	€/m ³ CH ₄
SMA1100a	Silomais, Standardverfahren	101	288	759	4.093	0,41	0,19
SMA11102r	Energiepflanzenverfahren Maisilage	160*	533	781	6.480	0,41	0,12
SMA11126r	Ganzpflanzensilage Winterroggen	40	133			0,37	
Zweinutzungsverfahren	Silomais	100	333			0,41	
		140		1.123	5.535		0,20

*Es wurde unterstellt, dass spezielle Energiepflanzen-Sortenzüchtungen zu höher Ertragserwartungen zulassen.

3.1.2 Überlegungen zur Rentabilität von Grenzertragsstandorten

- ☞ Wie wirkt die Inbetriebnahme einer Biogasanlage auf die Nutzung von Grenzertragsstandorten?

Unter den vorhandenen Flächentypen der Betriebe waren für die naturschutzfachlichen Fragestellungen des Projekts besonders diejenigen Flächen interessant, die bisher extensiv oder gar nicht bewirtschaftet wurden (s. a. Kap. 2.2.2.2). Soweit es sich um Grenzertragsstandorte auf Ackerland handelte, war zu klären, welche Änderungen von Rahmenbedingungen zur Verschiebung der Nutzungsform beitragen würden.

Entscheidend für die Aufnahme einer Bewirtschaftung gegenüber der bisher vornehmlich praktizierten Stilllegung war, ob die Flächen eine gewinnbringende Energiepflanzen-Produktion gestatten – also die Entlohnung der Substrate über die Biogasanlage den Betriebserfolg verbessern würden.

Tab. 3-5: DB II (inkl. AK-Kostenansatz und Förderung von 290,- €) als Kriterium der Vorzüglichkeit von Stilllegung oder Energiepflanzenverfahren

Nr.	Verfahren	Kosten (inkl. AK*)	Methan- hektarertrag	Leistung**	DB II
0	Stilllegung	50,- €			240,- €
1a	Silomais (AZK 25) <i>(SMA1208aAZKI25)</i>	640,- €	2.740 m ³ CH ₄	543,- €	193,- €
1b	Silomais (AZK 25) <i>Variante 'Neues EEG'</i>	640,- €	2.740 m ³ CH ₄	633,- €	283,- €
2	Silomais (AZK 38) <i>(SMA1208aAZKI38)</i>	770,- €	4.093 m ³ CH ₄	810,- €	330,- €
3	Roggen-GPS (AZK 25) <i>WRO11108a3AZKI38 (Do)</i>	424,- €	2.720 m ³ CH ₄	538,- €	404,- €
4	Roggen-GPS (AZK 38) <i>WRO11108a3AZKI38 (Do)</i>	473,- €	3.401 m ³ CH ₄	673,- €	490,- €

* 10,- €/AKh ⇒ im DB II berücksichtigt
 ** Leistung = Methanhektarertrag * 10 kWh/m³ CH₄ * 0,33 (Wirkungsgrad) * 6 ct/kWh

Tab. 3.5 zeigt, dass die neuen Energiepflanzen-Verfahren (Nr. 2, 3, 4) infolge der feststehenden Entlohnung durch den EEG-Satz (NawaRo-Bonus: 6 ct/kWh) auf Böden der AZKI 25 und 38 eine Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Stilllegungsverfahren besitzen.

Der Vergleich der effizientesten unter den neu aufgenommenen Energiepflanzen-Anbauverfahren mit dem günstigsten DB-Stilllegungsverfahren zeigt, dass auf den potenziellen Grenzertragsstandorten (AZK 25) eine Vorzüglichkeit nur besteht, wenn

- zusätzlich eine NawaRo-Prämie beantragt wird (Nr. 1a),
- wie geplant, im neuen EEG der NawaRo-Bonus um einen Cent auf 0,7 ct/kWh erhöht wird (Bsp. 1b) oder ein Teil der allgemeinen EEG-Förderung (150 < 500 kW: 9,18 ct/kWh) zusätzlich in Anspruch genommen wird (Nr. 1b),
- die Verfahrenskosten stärker minimiert würden (Nr. 3, Praxisbetrieb Getreide-GPS)

Auf den besseren Standorten (AZKI 38) besteht für Energiepflanzen-Verfahren auch ohne Förderung eine Vorzüglichkeit gegenüber der Stilllegung (Nr. 2, 3 und 4).

3.2 Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Produktionsverfahren

Im Folgenden werden beispielhaft die berechneten Zielerreichungsgrade für einiges der in den Modellläufen wichtigsten – weil ökonomisch erfolgreichen – Produktionsverfahren dargestellt. Für einige Einzelverfahren soll geprüft werden, inwieweit Energiepflanzen einen Beitrag zur naturschutzgerechteren Produktion von Landwirtschaftserzeugnissen leisten können. Dazu wird die unterschiedliche Einschätzung der Verfahren in der Bewertung anhand der Gegenüberstellung einzelner Verfahren zur Nahrungs- (bzw. Futter-)Erzeugung mit solchen zur Energieerzeugung jeweils kurz diskutiert.

3.2.1 Vergleich Getreideproduktion mit Ganzpflanzensilage für Biogasanlagen

Die meisten Änderungen gegenüber der bei den Standardverfahren vorherrschenden Körnerzeugung ergeben sich aufgrund des generell unterschiedlichen Ernteprodukts, welches sich sowohl aus einem früheren Erntezeitpunkt (Reifegrad) als auch aus geringeren Qualitätsanforderungen an das Ernteprodukt hinsichtlich Pilzbefall und Eiweiß- bzw. Kleberanteilen ergibt. Damit verbunden ist ein verändertes Management hinsichtlich eines verringerten PSM-Einsatzes, des Verzichts auf Wachstumsregulatoren sowie auf die 3. Qualitätsdüngung zur Kornfüllung.

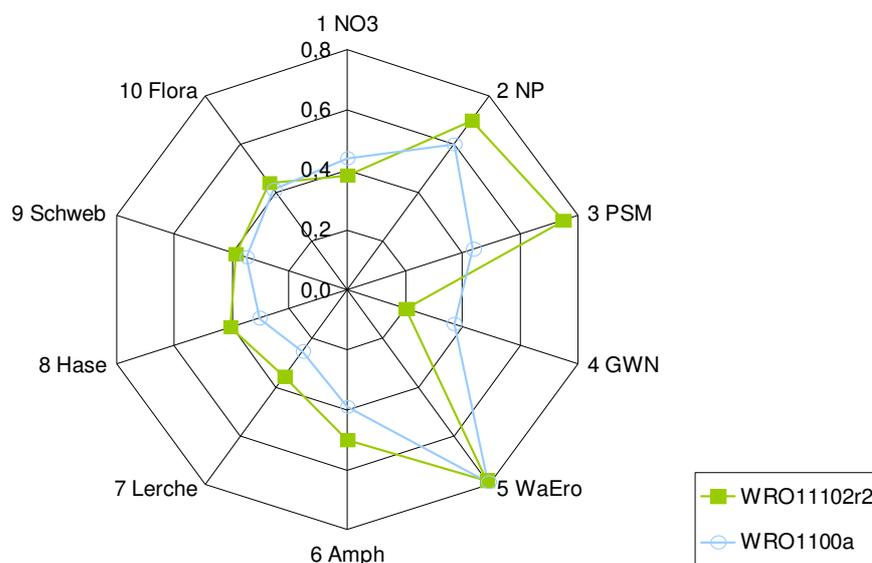


Abb. 3-1: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau von Winterroggen zur Futtermittel- (Ringe) bzw. zur Energiepflanzenproduktion (Kästchen)

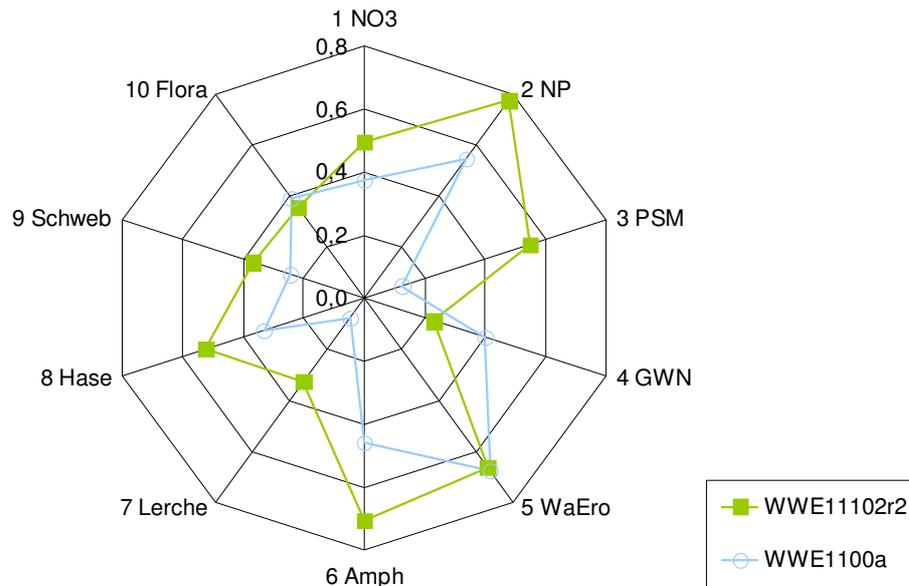


Abb. 3-2: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau von Winterweizen zur Futtermittel- (Ringe) bzw. zur Energiepflanzenproduktion (Kästchen).

3.2.2 Vergleich Sonnenblumenproduktion (Samenernte) mit Sonnenblumenganzpflanzensilage für Biogasanlagen

Insgesamt zeigt der Vergleich zwischen den Verfahren des Anbaus von Sonnenblumen für die Samenernte mit der Ernte als Ganzpflanzensilage für Biogasanlagen nur geringe Unterschiede. Beim Energiepflanzenverfahren werden mit Rückführung der Gärsubstrate etwas höhere Nährstoffmengen ausgebracht. Da aber durch die Ganzpflanzenernte bei dem Energiepflanzenverfahren weniger Erntereste auf der Fläche verbleiben, wird von einem geringeren Nährstoffverlagerungsrisiko über Winter ausgegangen (Indikatoren NO_3 und NP). Aufgrund der höheren Düngung wird aber insbesondere für den Feldhasen eine geringere Eignung des Energiepflanzenverfahrens eingeschätzt, da sich in dichten Beständen keine Ackerbegleitflora etablieren kann, die für den Feldhasen eine wichtige Nahrungsquelle darstellt. Der Feldhase bevorzugt i.d.R. weniger dichte Bestände (vgl. Fuchs & Saacke 2006).

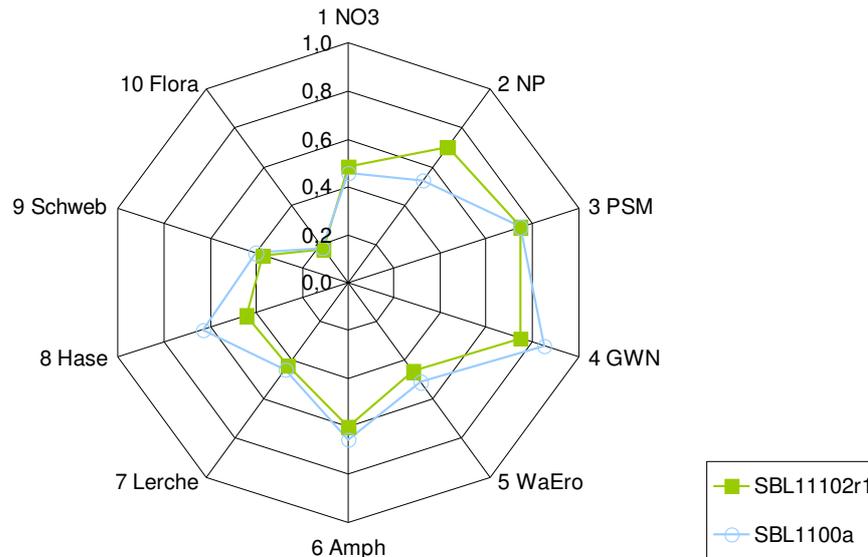


Abb. 3-3: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau von Sonnenblumen zur Futtermittel (Ringe) bzw. zur Energiepflanzenproduktion (Kästchen).

3.2.3 Vergleich herkömmliches Silomaisverfahren mit einem Zweikulturnutzungsverfahren (Winterroggen - Silomais)

Das Zweikulturnutzungsverfahren erhält für Wassererosion, NO_3 und NP eine bessere Bewertung, während das Standardverfahren für die meisten biotischen Ziele besser abschneidet. Dies ist zum größten Teil auf den verringerten Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatz zurückzuführen. Hierzu lassen sich auch bei den übrigen Energiepflanzen-Verfahren potenziell günstigere Einschätzungen hinsichtlich der auf einen Einsatz dieser Mittel sensibel reagierenden Pflanzen und Tiere vermuten. Dieser Vorteil wird bei dem Zweinutzungsverfahren (hier SMA/WRO) aufgrund des insgesamt intensiveren Anbaus (hohes Ertragsziel bei häufigeren Bearbeitungsmaßnahmen) jedoch weitgehend wieder aufgehoben.

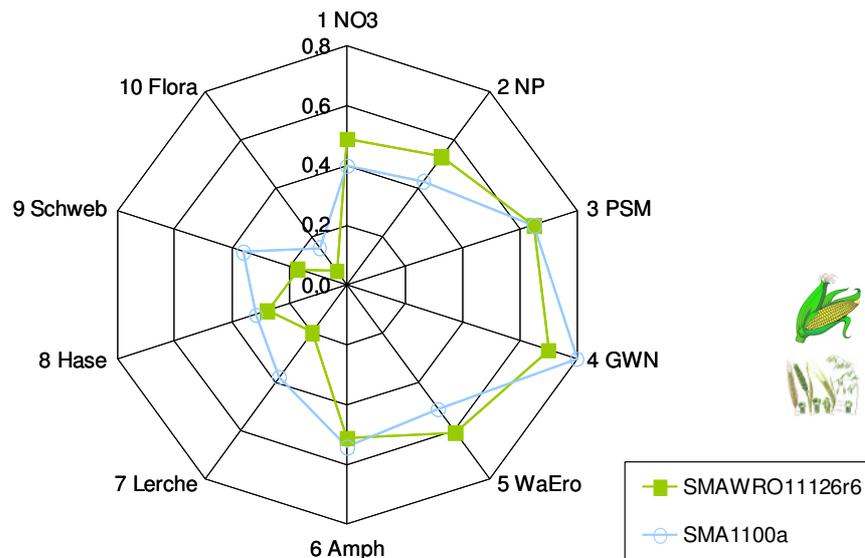


Abb. 3-4: Futtermittel- (Ringe) vs. Energiepflanzenproduktion (Kästchen). Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele beim Anbau eines einfachen Silomaisverfahrens (ohne Vorfrucht) und dem Zweinutzungsverfahren Silomais/Winterroggen.

Zweikulturnutzungsverfahren (hier die Kombination aus Silomais (SMA) und Winterroggen (WRO)) sind daher nur im Hinblick auf die abiotischen Indikatoren als günstiger einzuschätzen. (häufigere Bearbeitungsgänge (s. Tabelle im Anhang)).

Die dichteren Bestände und früheren Mahdzeitpunkte des Zweinutzungsgebietes Grünroggen im Frühjahr haben eine negative Auswirkung

- ➔ auf die Habitatausstattung für Feldlerche und Feldhase, bedingt durch die dichteren Bestände und damit geringe Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen (Ackerbegleitflora und die von ihr lebende Begleitfauna);
- ➔ auf die Habitatausstattung von Amphibien aufgrund der dichteren Bestände, die aufgrund des höheren Raumwiderstands weniger schnell durchwandert werden können;
- ➔ auf die reduzierten Blütenbestände der Begleitflora und entsprechend die Blütenbesucher;
- ➔ auf die insgesamt längeren Bodenbedeckungszeiträume und die Grundwasserneubildung.

Durch den Verbrauch eines großen Anteils der Winterniederschläge durch den Grünroggen stellt die Wasserversorgung auf leichten Standorten bei den Zweinutzungsverfahren eine kritische Größe dar, sofern im Frühjahr nicht ausreichend Niederschläge erfolgen. Eine mögliche Reaktion hierauf kann in einer früheren Silageernte des Grünroggens bestehen, wird jedoch von geringeren Erträgen begleitet und führt daher zu einer Ablehnung durch die Landwirte.

3.2.4 Vergleich Energiepflanzen und Stilllegung

Im Vergleich mit einer reinen Stilllegung, bei der weder Dünge- noch Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden und lediglich eine Pflegemaßnahme stattfindet, mit den verschiedenen Energiepflanzenproduktionsverfahren wird deutlich, dass es – bis auf die infolge einer ständigen Bodenbedeckung sehr geringe Grundwasserneubildung unter Stilllegung – generell zu einer Verschlechterung der Situation für alle betrachteten Indikatoren kommt, sobald Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen angebaut werden.

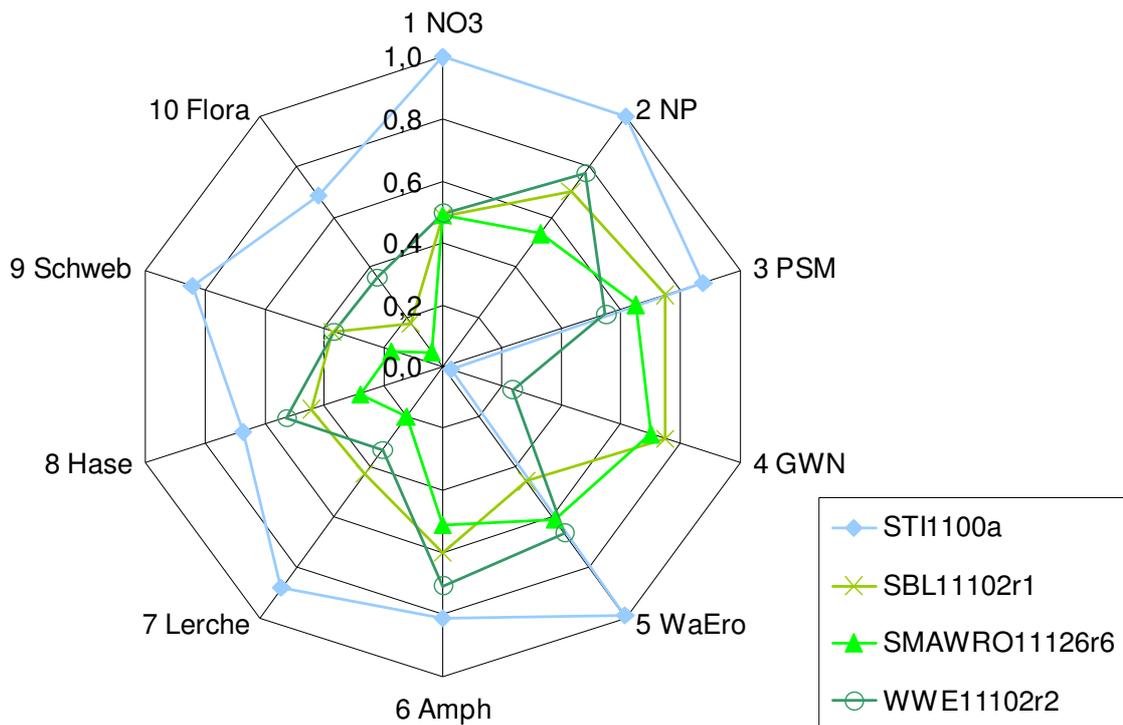


Abb. 3-5: Zielerreichungsgrade der ökologischen Ziele für den Anbau der oben dargestellten Verfahren der Energiepflanzenproduktion im Vergleich mit einer Stilllegung

3.2.5 Fazit Bewertung Energiepflanzen im Vergleich mit Standardverfahren

Im Vergleich eines Anbaus von Nahrungs- gegenüber Energiepflanzen sind zunächst einmal nur wenige generelle Aussagen zu den Änderungen von ökologischen Auswirkungen möglich, da die Effekte je nach Anbaukultur und betrachtetem Einzelverfahren variieren. In der Regel führt jedoch die Tatsache, dass bei Energiepflanzen häufig keine Insektizide und Fungizide eingesetzt werden, zu einer günstigeren Einschätzung der Energiepflanzenverfahren (v. a. im Bereich der hieraus folgenden günstigeren Lebensraumeigenschaften der Biotik).

Inwieweit der Anbau bestimmter Kulturen im Endeffekt zu Chancen oder Risiken der landwirtschaftlichen Produktion führt, hängt jedoch von weiteren Faktoren ab:

- Fruchtfolge³⁸ (übrige Fruchtartenanteile entscheiden, ob mit dem Anbau einer bestimmten Fruchtart eine Auflockerung bzw. Diversifizierung oder aber eine ungewollte Verengung der Fruchtfolge verbunden ist);
- Flächenausstattung (ob die Einführung eines neuen Betriebszweiges – wie der Energiepflanzenproduktion – zu gravierenden Änderungen der Flächennutzung beitragen kann, hängt stark vom erforderlichen Umfang und der übrigen Flächennutzung ab. Verhältnis von Marktfrucht- zu Energiepflanzen- und anderer Veredelungsproduktion.);
- Risiken der Standorte (Das Risiko, das durch die Ausprägung der Indikatorwerte ausgedrückt wird, setzt ein Zusammentreffen mit den jeweiligen Zielorganismen oder Gefährdungsmöglichkeiten von Umweltgütern in dem betrachteten Gebiet voraus.).

3.3 Gesamtbetriebliche Betrachtung: ökonomische und ökologische Analyse der Szenariorechnungen

3.3.1 Ergebnisse der ersten Modellierungsphase (A und B)

3.3.1.1 Modellbetrieb K1

Das **BASIS**-Szenario³⁹ in Abbildung 3-6 zeigt den Deckungsbeitrag von Betrieb K1, hauptsächlich ein Produkt der Biogasanlage und optimierten Biogasausbeuten, Methanhektarerträgen und spezifischen Substratkosten. Zusammen mit der staatlichen Förderung durch das EEG, welches die Stromkonzerne verpflichtet, andere als von ihnen selbst produzierte Energie zu verteilen, bot sich mit Betrieb K1 ein Modell an, das den Betriebszweig Biogas positiv verkörperte.

Der Modellbetrieb K1, ein Betrieb mit einer 500-kW-Biogasanlage, zeigte deutliche Reaktionen auf das **BGA-Minderungs-Szenario KONS**. Infolge der auf 50 % gesunkenen Biogasausbeute musste die gesamte produktive Fläche von 184 ha zur Versorgung der Biogasanlage herangezogen werden. Selbst mit den auf dieser Fläche erzeugten Substraten konnte keine vollständige Auslastung der Biogasanlage erreicht werden. In Zusammenwirkung mit der Folge, dass keine Flächen mehr für den Marktfruchtanbau zur Verfügung standen, mussten erhebliche Verluste (> 50 %) des Deckungsbeitrags getragen werden.

Das **Preisszenario** (preis1_5) zeigte, dass der 1,5-fache Preis **nicht** ausreichte, die Vorzüglichkeit des Betriebszweigs Biogasanlage gegenüber dem Marktfruchtanbau zu verändern⁴⁰. Aus Änderungen der verwendeten Produktionsverfahren ließen sich erste Trends aus den Marktpreissteigerungen ableiten:

³⁸ Die ökologischen Bewertungen im Anschluss an die Szenarioberechnungen (betriebsspezifische Ergebnisse in diesen Kapiteln) beziehen sich auf ganze Anbausysteme bzw. Fruchtfolgen und bieten daher auch eine zeitraumbezogene Perspektive.

³⁹ Szenario, das die Klammer für einen vertikalen Vergleich mit den Szenarien aus der Modellierungsphase C darstellt.

⁴⁰ Zur Kontrolle wurde in einer zusätzlichen Szenarienvariante die Biogasanlage als feste Größe vorgegeben (BAfix).

- Teurere Marktfruchtverfahren mit höheren Naturalerträgen setzten sich – gerade auf besseren Böden – in ihrer Vorzüglichkeit vor eher auf Kostenminimierung ausgerichtete Extensivverfahren (wie z.B. WWE vor WRO);
- Die Stilllegungsfläche wurde auf den Mindestanteil von ca. 8 % zur Aktivierung der Zahlungsansprüche gesenkt;
- Der infolge von Fruchtfolgerestriktionen auf 50 % begrenzte Anbau von Mais führt zur Aufnahme weiterer Verfahren in das Anbauspektrum;
- Weniger flächeneffiziente Verfahren wie „Luzerne“ wurden eingesetzt, weil „Silomais“ allein nicht ausreichte – aufgrund der FF-Restriktion – um die Biogasanlage zu versorgen.

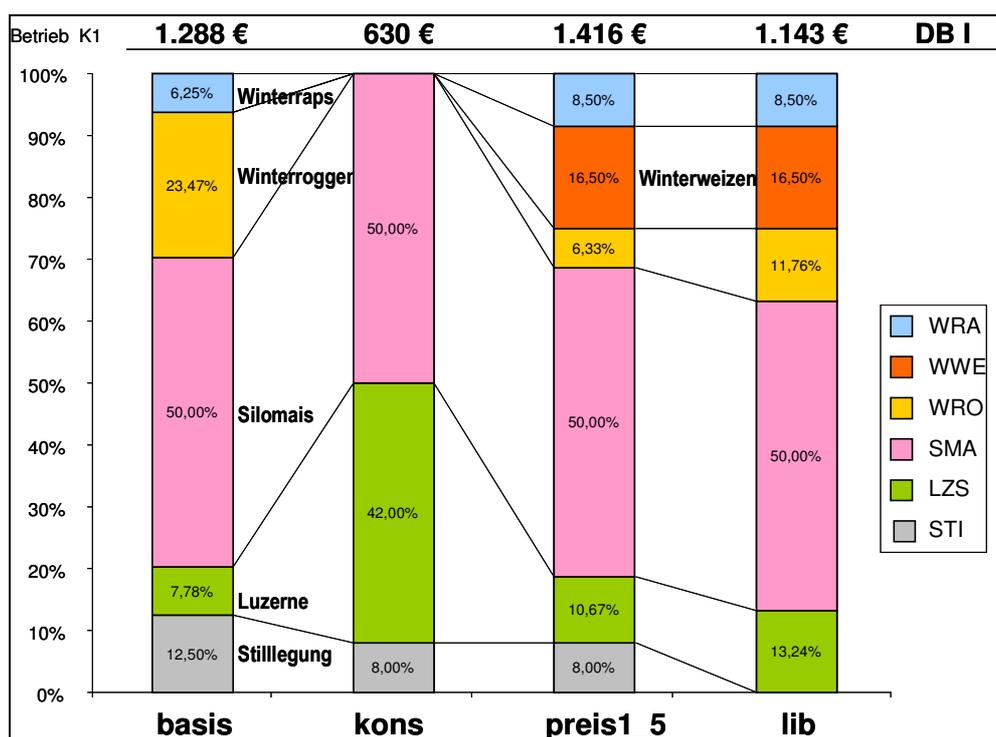


Abb. 3-6: Modellierungsergebnisse Betrieb K1: Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag (DB I) in € pro Hektar

Die für den Betrieb K1 zur Auslastung der Biogasanlage notwendige Ausweitung des Produktionsverfahren „Luzerne“ – infolge der verminderten Biogasausbeute im Szenario KONS – hatte also hinsichtlich der ökologischen Faktoren (s. folgende Tabelle und Abbildung) eine positive Wirkung. Es traten Verbesserungen der Intensitätsindikatoren (NO_3 und PSM) sowie einiger Habitatsigenschaften durch die überjährige Kultur auf. Durch den Ersatz der Anbaufläche von Winterroggen bzw. Stilllegungsflächen durch andere Marktfrüchte (hier Winterweizen, infolge höherer Preise) sanken die ökologischen Leistungen (ausgedrückt in ZEG für Indikatorarten) des Betriebes in den **Szenarien** PREIS und LIB leicht ab.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die vom Modul zur Bewertung der Verfahren errechneten durchschnittlichen Zielerreichungsgrade der Kulturen.

Tab. 3-6: Durchschnittliche Zielerreichungsgrade (ZEG) für die Zielindikatoren einer Kulturartengruppe (Kult) zum Zeitpunkt der Modellierungsphase B

Kult	NO3	NP	PSM	GW	Lerche	Hase	Schweb	Flora
GPS	0,60	0,73	1,00	0,33	0,60	0,53	0,53	0,31
KMA	0,81	0,87	0,75	0,74	0,52	0,59	0,57	0,24
LZS	0,93	0,68	1,00	0,15	0,49	0,66	0,62	0,36
SMA	0,46	0,51	0,65	0,75	0,38	0,38	0,36	0,18
STI	1,00	1,00	0,88	0,03	0,88	0,93	0,84	0,68
TRI	0,46	0,86	0,75	0,36	0,37	0,57	0,44	0,43
WGE	0,38	0,55	0,13	0,32	0,09	0,29	0,28	0,40
WRA	0,38	0,52	0,20	0,35	0,14	0,27	0,19	0,37
WRO	0,79	0,84	1,00	0,34	0,53	0,70	0,60	0,60
WWE	0,42	0,61	0,25	0,36	0,14	0,33	0,25	0,44
ZRU	0,45	0,54	0,21	0,72	0,12	0,24	0,17	0,13

Die betrieblichen Gesamt-ZEG in den folgenden Netzdiagrammen bilden den Durchschnitt über die szenarienabhängigen Fruchtfolgen ab.

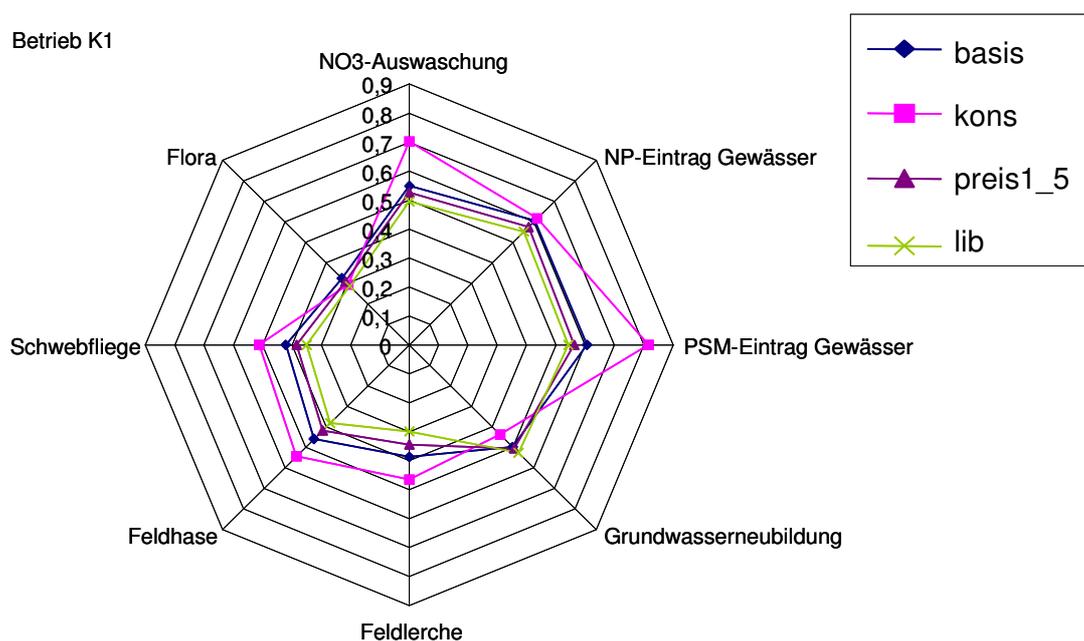


Abb. 3-7: Ergebnisse der Modellierung: Betrieb K1, Ökologische Bewertung der verschiedenen Szenarien

Aufgrund der von den jeweiligen Formulierungen⁴¹ abhängigen und als Modellimmanenz zu bezeichnenden Zusammenhänge kann die Luzerne insgesamt auch als ein „Platzhalter“ für Verfahren mit einer nächstvorzüglichen Biogasausbeute bei besseren Habitategenschaften bzw. geringeren Umweltbelastungen angesehen werden. Die infolge der Fruchtfolgerestriktionen aufgetretene **50 %-Flächen-Begrenzung von Mais** kann daher als ein sinnvoller und erfolgreicher Ansatzpunkt angesehen werden, um andere Fruchtarten mit der Zielstellung „höhere ökologische Leistungen“ in die Fruchtfolge mit aufzunehmen.

3.3.1.2 Praxisbetriebe

➡ **Trend 1:** Ökonomische Ausgleichspotenziale bei ausreichender Flächenausstattung
Der **Betrieb Do** zeigte wie der Modellbetrieb die stärksten Reaktionen auf die Änderung der Rahmenbedingungen des Szenarios **KONS**. Die im Verhältnis zur kW-Leistung des BHKW

⁴¹ Allgemeine Rahmenbedingungen, Berechnung der Biogasausbeute, Ertragsannahmen, Betriebsmittelpreise etc.

insgesamt zur Verfügung stehende großzügige Flächenausstattung⁴² führte jedoch dazu, dass die Leistung des BHKW auch bei Abnahme der Biogasausbeute nicht heruntergefahren werden musste (volle Auslastung⁴³). In der Folge sank, aufgrund des Verzichts auf den Anbau und Verkauf von marktfähigen Kulturen, der Deckungsbeitrag um knapp 30 %.

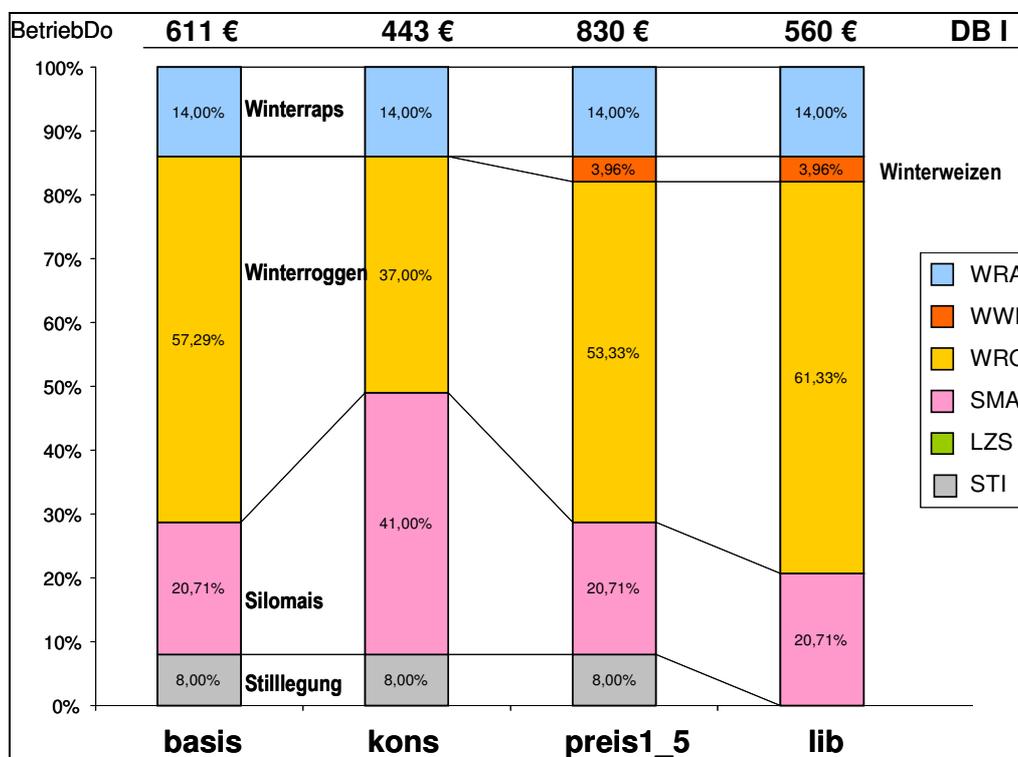


Abb. 3-8: Modellierungsergebnisse Betrieb Do: Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag (DB I) in € pro Hektar

Es wird deutlich, dass das ökonomische Ergebnis der vorzüglichen Verwertungsart „Einspeisung Strom“⁴⁴ entscheidend von den realisierten Biogasausbeuten in der Anlage abhängt.

⁴² Betrieb Do: 1,25 ha/kW BHKW-Leistung
Betrieb K1: 0,4 ha/kW BHKW-Leistung

⁴³ Stundenzahl laut Anhang zur Biogas-Modulentwicklung

⁴⁴ Eine Vorzüglichkeit der alternativen Substratverwertungsart „Direkteinspeisung von Biogas“ war an die Überwindung der Preisschwelle in Höhe von 0,50 €/m³ CH₄ gebunden.

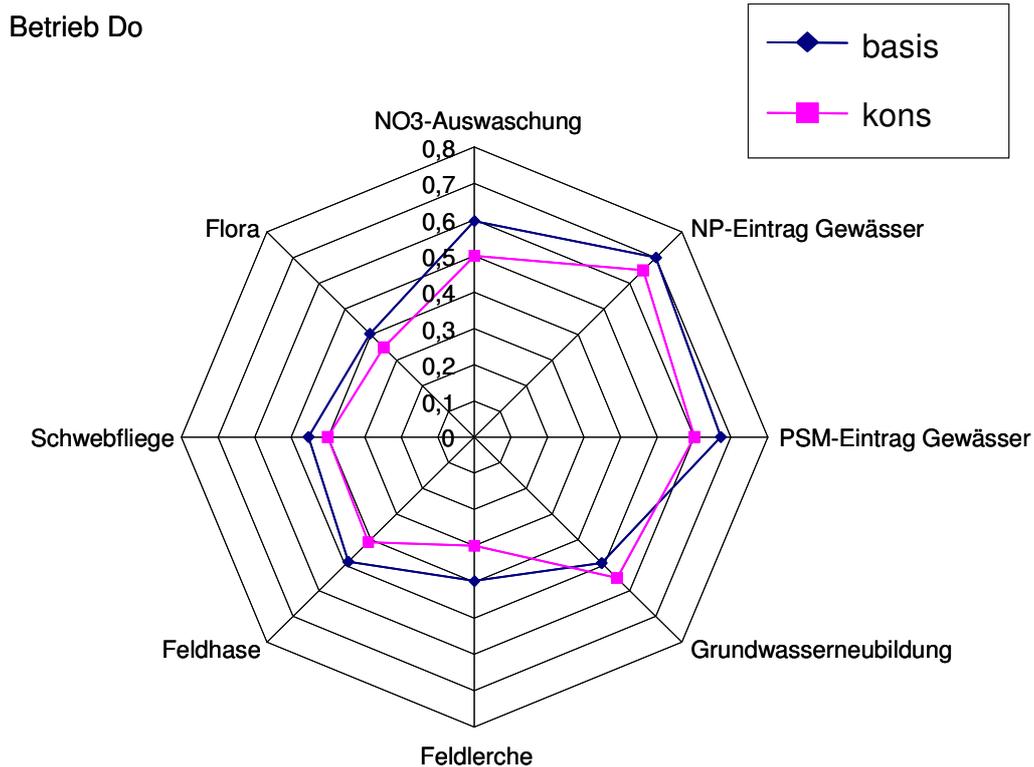


Abb. 3-9: Ergebnisse der Modellierung: Betrieb DO, Ökologische Bewertung der Szenarien **BASIS** und **KONS**

➔ **Trend 2:** Ökologische Ausgleichspotenziale infolge größerer Anbaudiversität bei Tierhaltung und ausreichender Flächenausstattung

Das weite Spektrum der angebauten Fruchtarten auf dem **Betrieb Zi** zeigte in den Änderungen der Rahmenbedingungen über die einzelnen Szenarien hinweg eine große Stabilität. Die Abnahme der Biogasausbeute in dem Szenario **KONS** führte zu einer Verschiebung der Anbauverhältnisse von Körner- und Silomais. Die Zunahme des Anbauumfangs von Silomais – aufgrund der Inbetriebnahme der Biogasanlage – deutet auf die Bedeutung dieses Verfahrens für die Wirtschaftlichkeit des Betriebs hin. Die ökologischen Folgen dieser Änderung sind jedoch entsprechend der nur geringen kulturartenspezifischen Unterschiede innerhalb einer Gruppe gering (z.B. durch einen späteren Erntezeitpunkt des Körnermais oder die Anforderung einer spätsaatverträglichen Nachfrucht etc.).

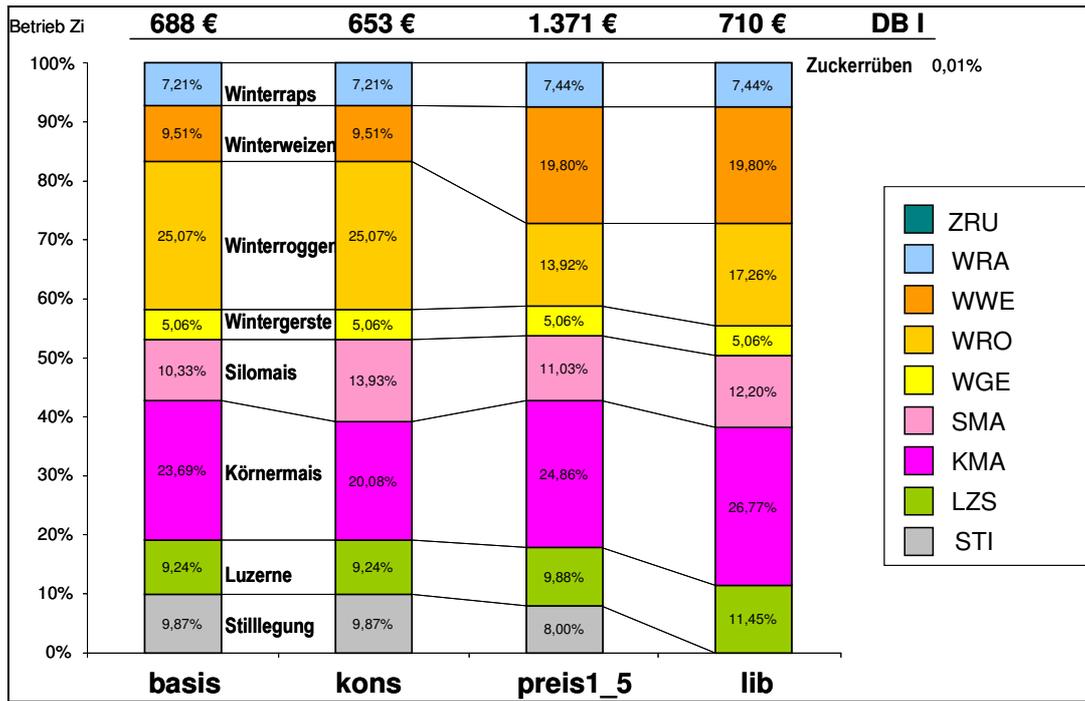


Abb. 3-10: Modellierungsergebnisse Betrieb Zi; Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag in € pro Hektar

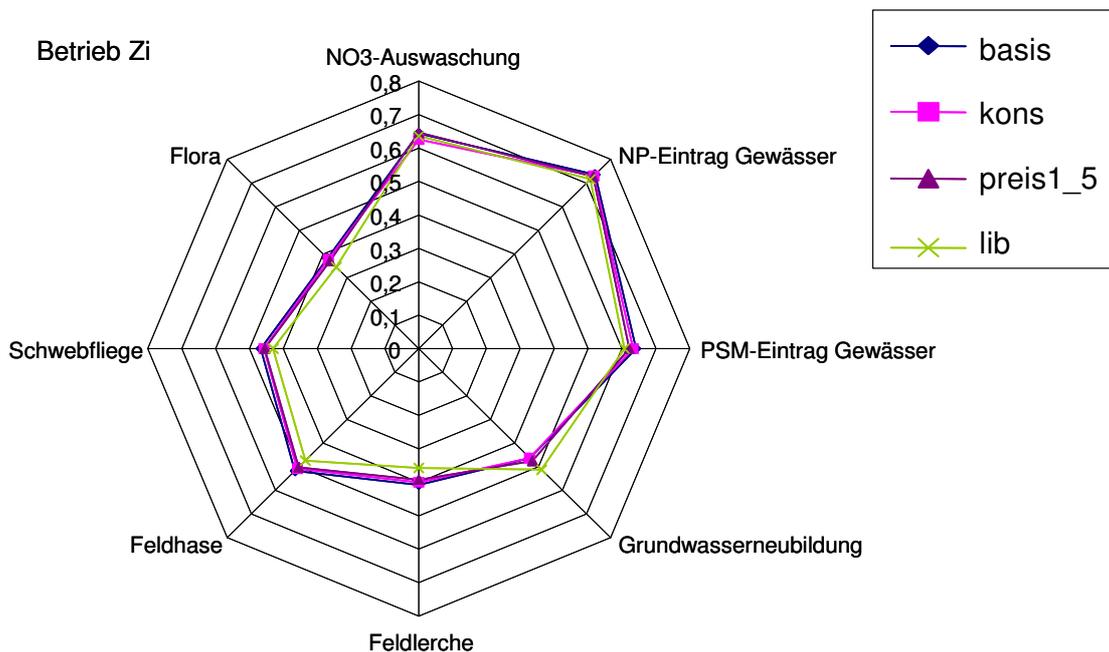


Abb. 3-11: Ergebnisse der Modellierung: Betrieb Zi; Ökologische Bewertung der verschiedenen Szenarien

Bei Wegfall der Prämien kommt es im Gebiet des Ziltendorfer Betriebs infolge der auf den ehemaligen Stilllegungsflächen aufgenommenen Bewirtschaftung (Silomais + 3 %, Winterroggen + 3,5 %) zur leichten Abnahme der Lebensraumqualität für die angesetzten Indikatorarten Schwebfliege, Feldhase und Feldlerche (zur Einschätzung des Indikators Grundwasserneubildung sowie der anderen Indikatoren siehe Anmerkungen in Kap. 2).

➔ **Trend 3:** Gefahr der Aufgabe von Betriebsflächen bei Wegfall der Prämie

Der Betrieb **Ki** zeigte auch bei einer nur gering dimensionierten Biogasanlage eine starke Reaktion auf die Änderung der Biogasausbeute bzw. der Marktpreise. Die Konkurrenzfähigkeit von Triticale, bzw. Silomais und Luzerne, die in der Tier-/Milchproduktion eingesetzt wurden, war auf 90 % der Flächen (Standorte der Ackerzahlklasse 25) gegenüber Winterroggen nur gering⁴⁵.

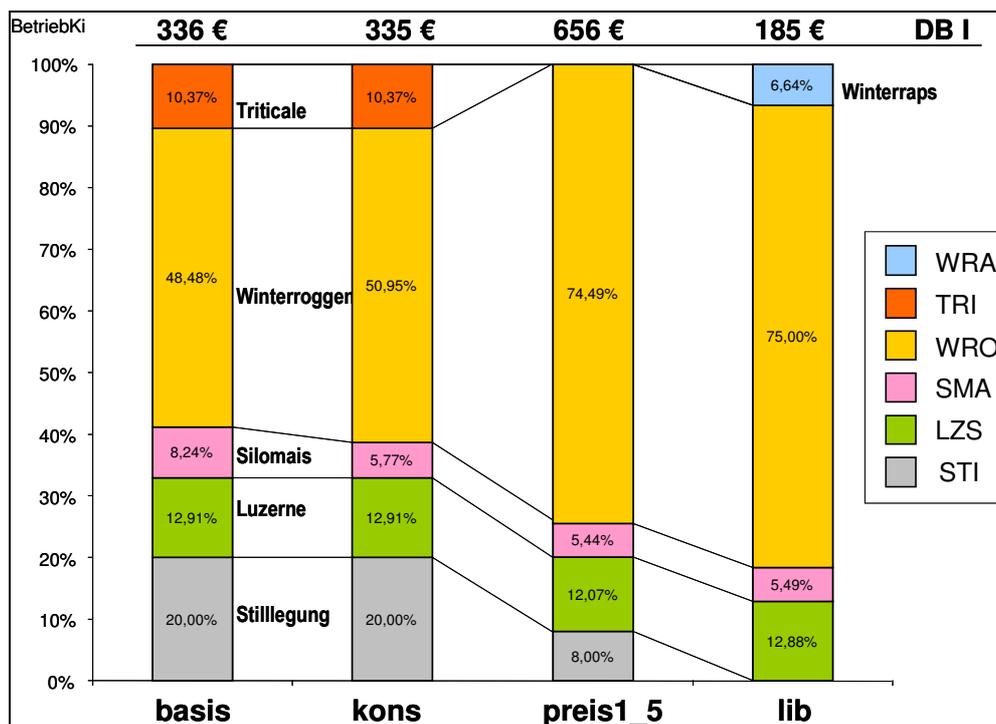


Abb. 3-12: Modellierungsergebnisse Betrieb Ki; Flächennutzung in den Szenarien und durchschnittlicher Deckungsbeitrag in € pro Hektar

Sowohl im **KONS**- als auch im **PREIS**-Szenario muss der Betrieb Ki die Auslastung der Biogasanlage um 85 % so weit herunterfahren, dass allein die Nutzung der günstig anfallenden Reststoffe ausreicht. Da die Verringerung der Auslastung modellbedingt zu der Möglichkeit führte, auch Fixkostenanteile des BHKW-Betriebs zu senken (Kalkulation der Wiederbeschaffungskosten des BHKW⁴⁶ anteilig pro kWh), wurde zur Kontrolle eine Variante des **PREIS**-Szenarios gerechnet, um abschätzen zu können, wie groß die Verluste (Senkung des Durchschnittsdeckungsbeitrags DB I) sind, wenn der Betrieb diesen Vorteil nicht hätte. Die Differenzrechnung ergab einen um knapp 3 €/ha niedrigeren DB I (Differenz zwischen dynamisierter⁴⁷ Auslastung (Ergebnis: BHKW bei 15 %) und einer auf 90 % fixierten Auslastung (BAfix): 2.870 € Ges. ⇒ 2,61 €/ha).

⁴⁵ Ein WRO-GPS-Verfahren für die Biogasanlage wurde von dem Betrieb nicht zur Verfügung gestellt. Anbaurestriktion für WRO: 75 %.

⁴⁶ Die Auslastungsabnahme kann somit als Anzeichen für eine unwirtschaftlich hohe BHKW-Leistungsklasse unter den derartigen Rahmenbedingungen betrachtet werden.

⁴⁷ S. hierzu auch die Ausführungen zur Parametrisierung der BGA in der Modellierungsphase C, Kap. 3.3.3)

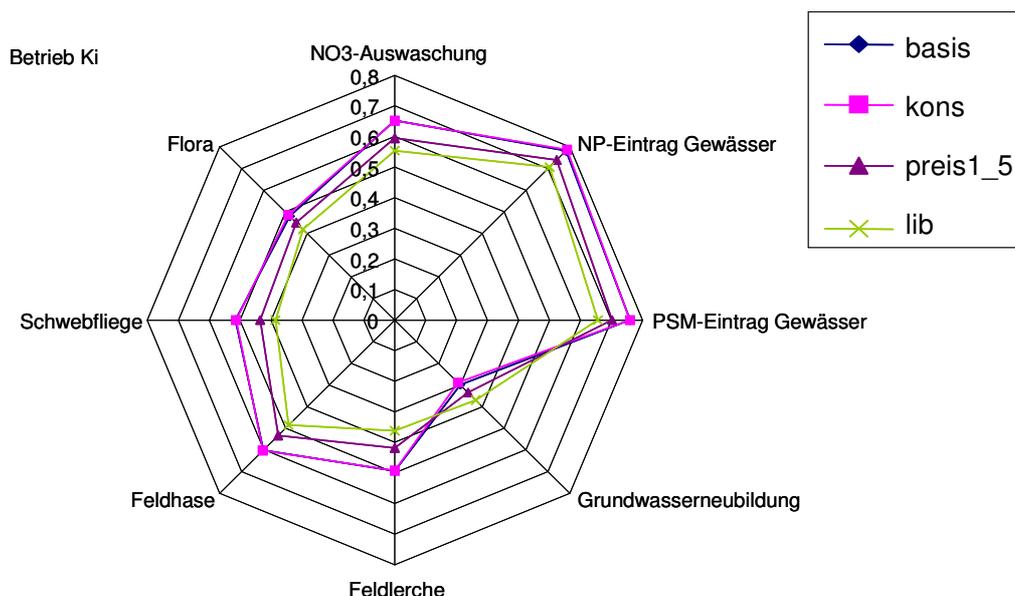


Abb. 3-13: Ergebnisse der Modellierung: Betrieb Ki; Ökologische Bewertung der verschiedenen Szenarien

Die Abnahme der ökologischen ZEG lag auf diesem Betrieb überwiegend an der Reduzierung der Flächenstilllegung.

3.3.1.3 Schlussfolgerungen aus der Modellierungsphase B für die Modellweiterentwicklung und Validierung in Phase C.

Unter den Modellbedingungen des **BASIS**-Szenarios in der Modellierungsphase B hatten die Betriebe einen deutlichen Vorteil durch die Investition in den Betriebszweig „Biogasanlage“. Sie konnten ihren Deckungsbeitrag (DB I) zwischen 5 % (kleinste Anlage von 100 kW auf 1.100-ha-Betrieb) und 320 % (500-kW-Anlage auf 200-ha-Betrieb) steigern (s. folgende Tabelle).

Tab. 3-7: Betriebsformen: Änderung des Gesamtdeckungsbeitrags in Prozent durch die Biogasanlage (bei optimaler BGA und Preisen von 2004)

	K1*	K2*	Do*	Ki*	Z1*	Z2*	Zi*
% Diff. mit BA	319	118	118	5	13	19	33
<i>*Leistung BHKW</i>	500 kW	500 kW	250 kW	100 kW	500 kW	1000 kW	1500 kW
		+ Tier					

Die Verfolgung und Verifizierung der dargestellten Trends durch die Ausgestaltung von weiteren Betriebsformen (K0 als Betrieb ohne Biogasanlage und K3 als reiner Tierhaltungsbetrieb ebenfalls ohne BA) und eine Sensitivitätsanalyse innerhalb der Szenarien (durchgeführt als BGA- und Preisparametrisierungen) sollen die Interpretationsschärfe in den folgenden Kapiteln zur Modellierungsphase C verbessern.

3.3.2 Ergebnisse aus den betriebsspezifischen Szenariorechnungen in Modellierungsphase C

3.3.2.1 Betrieb K0 (ohne Biogasanlage und ohne Tierproduktion)

Am Beispiel des Modellbetriebes K0 (nur Marktfrucht, keine Tierhaltung) wird untersucht, welche Anbauweisen und welche ökonomischen und ökologischen Kennzahlen ohne eine landwirtschaftliche Energieerzeugung gewählt werden. Da den Energiepflanzen-Verfahren keine Marktleistungen⁴⁸ zugewiesen wurden, hat K0 nur Standardverfahren für Brandenburg ausgewählt⁴⁹. Folgende Tabelle zeigt die auf den verschiedenen Standorten angebaute Kulturen.

Tab. 3-8: Kulturarten des Betriebs K0 (ohne BA) in den Ackerzahlklassen

AZKI 25		AZKI 38		AZKI 50		AZKI 63	
Fläche (50 ha)	%-Anteil Schlag						
STI 40 ha	80 %	Raps 12,5 ha	25 %	Raps 12,5 ha	25 %	Raps 12,5 ha	25 %
WRO 10 ha	20 %	WRO 37,5 ha	75 %	WRO 37,5 ha	75 %	WRO 21 ha	42 %
						WWE 16,5 ha	33 %

Die Flächen auf den sehr leichten Böden (Ackerzahlklasse 25) wurden stillgelegt bis die Höchstgrenze der Stilllegung erreicht wurde (vom Projekt auf max. 20 % festgesetzt). Auf den besseren Böden (AZKI 38, 50, 63) wurde Winteraps und auf dem besten Boden (AZKI 63) Winterweizen als die bevorzugten Produktionsverfahren angebaut, daran erkennbar, dass Ihre Anbaufläche jeweils bis an die Grenze der Anbaurestriktionen ausgedehnt wurde (Fruchtfolge: Raps 25 % alle vier Jahre pro Bodenklasse = Schlag; Weizen max. 33 % pro Schlag). Die verbliebenen Flächen einer Ackerzahlklasse wurden jeweils mit Winterroggen aufgefüllt.

3.3.2.2 Betriebe K0 und K1

- Generelle Änderungen infolge von Biogasanlagen
- K1: Verhältnis Standard- zu Energiepflanzen-Produktionsverfahren
- Flächenausdehnung Energiepflanzen-Anbau

Im Vergleich der Betriebe K0 und K1 innerhalb des **BASIS**-Szenarios lassen sich die Änderungen infolge einer aufgenommen Biogasproduktion im Betrieb aufzeigen. Der in folgender Abbildung dargestellte Vergleich des einmal mit (epfl_Basis) und einmal ohne

⁴⁸ Es bestand keine Option für Silomais, bzw. es wurde kein Vertragsanbauverfahren zugelassen. Das KONS-Szenario und auch Energiepflanzen-Verfahren sind für K0 somit nicht relevant.

⁴⁹ Zur Landnutzung vgl. auch Kap. 3.3.3.3.

(biog_Basis) Energiepflanzen gerechneten **BASIS**-Szenarios bietet die Möglichkeit, Änderungen durch die neu aufgenommenen Energiepflanzenverfahren abzubilden. Das **KONS**-Szenario stellt die Änderungen der Flächenausdehnung von Energiepflanzen-Verfahren dar, die in diesem Fall auf die verminderte Biogasausbeute der Substrate zurückzuführen⁵⁰ ist.

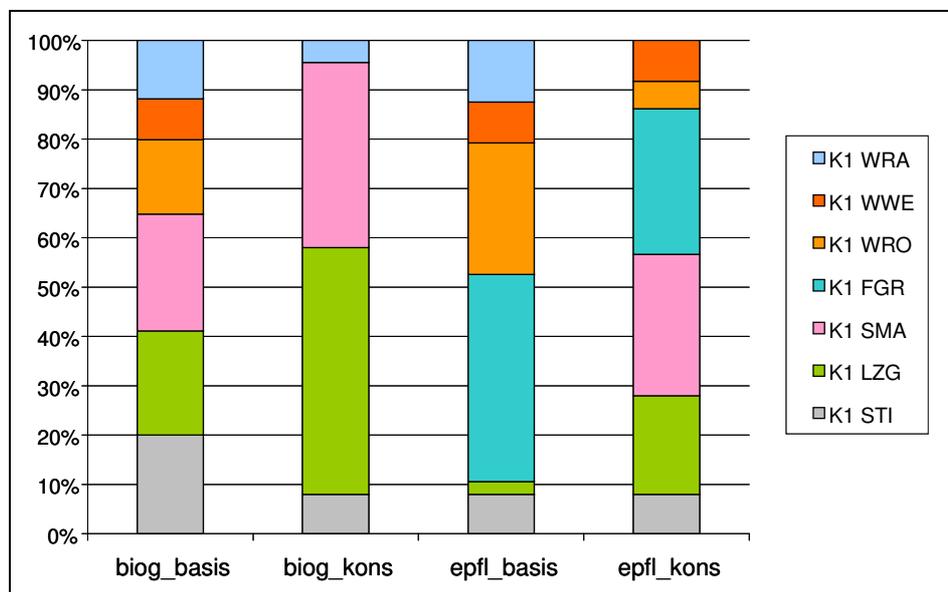


Abb. 3-14: Flächennutzung Betrieb K1, Szenario-Ergebnisse **BASIS/KONS** einmal mit (epfl_Basis) und einmal ohne (biog_Basis) Verwendungsoption „Neue Energiepflanzen-Verfahren“

Der Betrieb K1 hat bei optimaler Biogasausbeute aus den Substraten mit weniger als 50 % seiner Fläche die Auslastung der Biogasanlage erreicht. Dies entspricht einem sehr günstigen Flächenanspruch von ca. 0,2 ha pro kW BHKW-Leistung. Dieser Flächenanspruch sinkt bei Umstellung auf spezielle Energiepflanzen noch einmal leicht ab, da der Ersatz von Silomais mit einer der neuen Hirsearten (FGR) unter den Modellformulierungen mit einer Erhöhung der Flächeneffizienz verbunden war. Eine Vergrößerung des Flächenanspruchs der Biogasanlage (durch Szenario **KONS**) führt zur Bewirtschaftung vorheriger Stilllegungsflächen.

⁵⁰ Ein anderer „Hebel“ um die Flächenbeanspruchung der Biogasanlage auszudehnen, eine gestaffelte Zuweisung von Biogasanlagen (inkl. BHKW) der Größe 100 kW, wurde verworfen, da es dem Projekt weniger darum ging, den Betrieben eine optimal dimensionierte Biogasanlage bereitzustellen (wobei die zunächst nur ökonomische Optimierung durch entsprechende Modell-Einstellungen auch auf ökologische Optimierungen zu erweitern gewesen wäre). Der „KONS“-Ansatz dagegen fokussierte stärker auf Unsicherheiten in Verbindung mit der Anlage und war ebenso geeignet, einen angehobenen Flächenanspruch für die ökologischen Bewertungen zu simulieren.

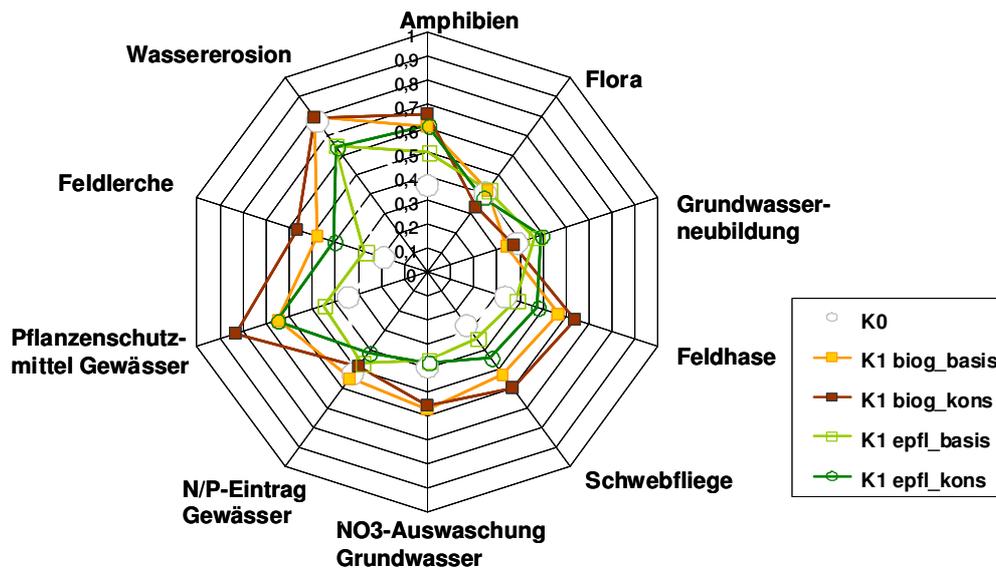


Abb. 3-15: Betriebe K0, K1: Ökologische Folgen der Landnutzung. Vergleich der Zielerreichungsgrade der untersuchten Indikatoren in den Szenarien **BASIS** und **KONS**, sowohl mit (epfl_Basis) als auch ohne (biog_Basis) Energiepflanzen-Angebot

Der Betrieb K0 ohne eine weitere Diversifizierung in Form einer Biogasanlage hatte aufgrund seiner Flächennutzung (s. Abbildungen im Kap. 3.3.3.3) deutlich geringere Zielerreichungsgrade als der Betrieb K1 mit einer Biogasanlage, und dieses unabhängig vom Gebrauch der Energiepflanzenoption (Szenarien **biog** oder **epfl**) oder der Ausdehnung der Anbaufläche für die Biogas-Substratproduktion.

Die Verwendung der für die Modelllösung ausgewählten neuen Energiepflanzen-Verfahren führt (im Wesentlichen durch den Ersatz von Luzernegrassilage durch Hirsesilage und weniger durch den von Silomais durch Hirse) zu einer Verringerung der ZEG aller aufgelisteten Indikatoren bis auf Grundwasserneubildung (vgl. Trends in der vorigen Modellierungsphase B).

Die Auswirkung der Flächenausdehnung für die Biogasproduktion infolge der auf 50 % abgesunkenen Biogasausbeute im KONS-Szenario führte im Wesentlichen zu gegenläufigen Trends, die auf das fehlende Angebot von Energiepflanzen in den höheren Ackerzahlklassen und dem damit verbundenen Ausweichen des Betriebs auf das ökologisch vorteilhaft eingestufte Luzerne-Verfahren zurückzuführen waren. Die für den Gesamtbetrieb ermittelten ZEG in den Szenarien über die gesamte Fruchtfolge sind daher abschließend erst nach einer standortspezifischen Analyse zu bewerten.

3.3.2.3 Substrateinsatz in der Biogasanlage der Betriebe K1 und K2

Da die angebauten Kulturen und ihre Flächenanteile noch nichts über ihren Einsatz als Substrat in der Biogasanlage aussagen, gibt folgende Abbildung einen Überblick über die tatsächlich verwendeten Kulturen und ihre Aufwandmengen in der Biogasproduktion im BASIS-Szenario (Phase C). Für den vollständigen Vergleich von Betrieb K1 mit Betrieb K2, der zusätzlich zur 500-kW-Biogasanlage Tiere hält, werden in der folgenden Abbildung die Futtermittelnutzungen mit aufgeführt. Deutlich ist der in der Gesamtmenge geringere Substrateinsatz für die Biogasanlage von Betrieb K2.

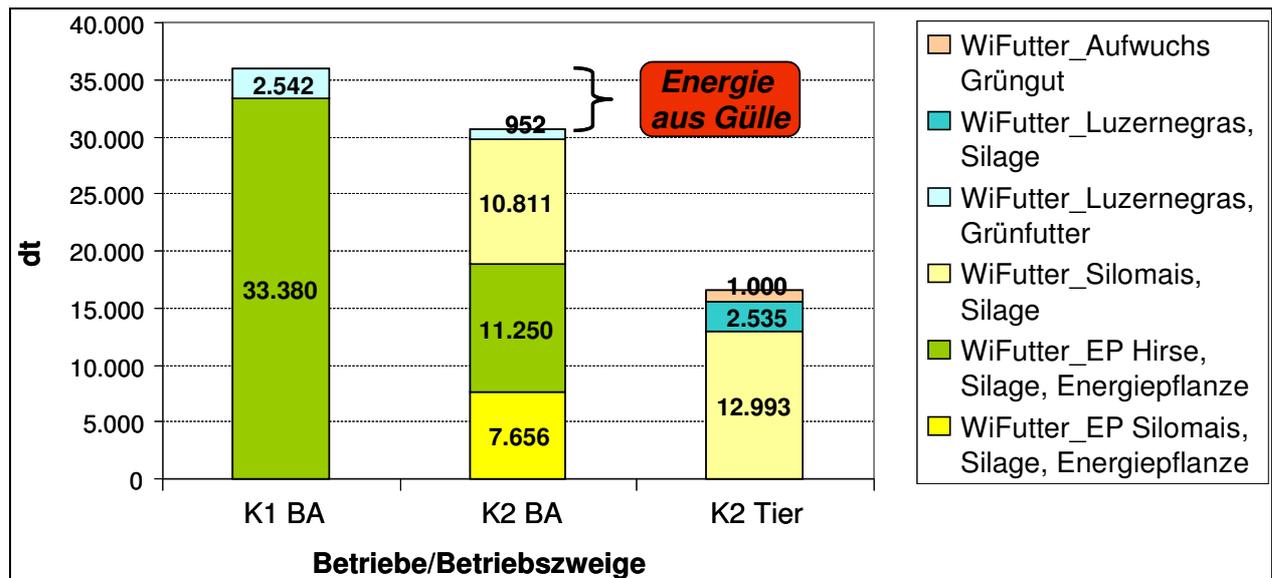


Abb. 3-16: Vergleich Betrieb K1, K2: Art und Menge (dt) der für die Beschickung der Biogasanlage (BA) aufgewendeten Substrate bzw. Vergleich zu Wirtschaftsfuttermitteln für die Tierproduktion (K2 Tier)

Da für die Standorte mit der AZKI 50 und 63 keine Energiepflanzen-Verfahren zur Verfügung standen, wurde vom Betrieb K2 zusätzlich Silomais im Standardverfahren angebaut und in der BA verwertet.

3.3.2.4 Modellbetriebe im Lib-Szenario

Wie ändert sich Lage der Betriebe bei Wegfall der Flächenprämien? Gibt es überlegene Verfahren und Standorte?

Zur *Ex-ante*-Abschätzung der wirtschaftlichen Folgen, sollte die Betriebsprämie in Zukunft wegfallen, wurde ein sogenanntes Liberalisierungsszenario gerechnet. Als Hauptanpassungen des Modells wurden die Prämien ausgesetzt und die Verkaufspreise von Marktfrüchten auf dem Stand von 2004 verdoppelt (**LIB I**).

Um langfristige Anpassungen insbesondere für die Tierproduktion zu simulieren, wurden in einem nächsten Schritt die Zukaufspreise für Wirtschaftsfutter verdoppelt (**LIB II**) und in einer weiteren Berechnung – unter sehr optimistischen Annahmen – auch das Gleichziehen der Verkaufspreise für Tierprodukte (**LIB III**).

Wie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist, kann der Modellbetrieb K0 infolge der Verdopplung der Marktfruchtpreise (Niveau bei Weizen ca. 23 €/dt) trotz Wegfalls der Prämie den Gesamtdeckungsbeitrag des Betriebs von 45 T€ auf 120 T€ um 160 % steigern.

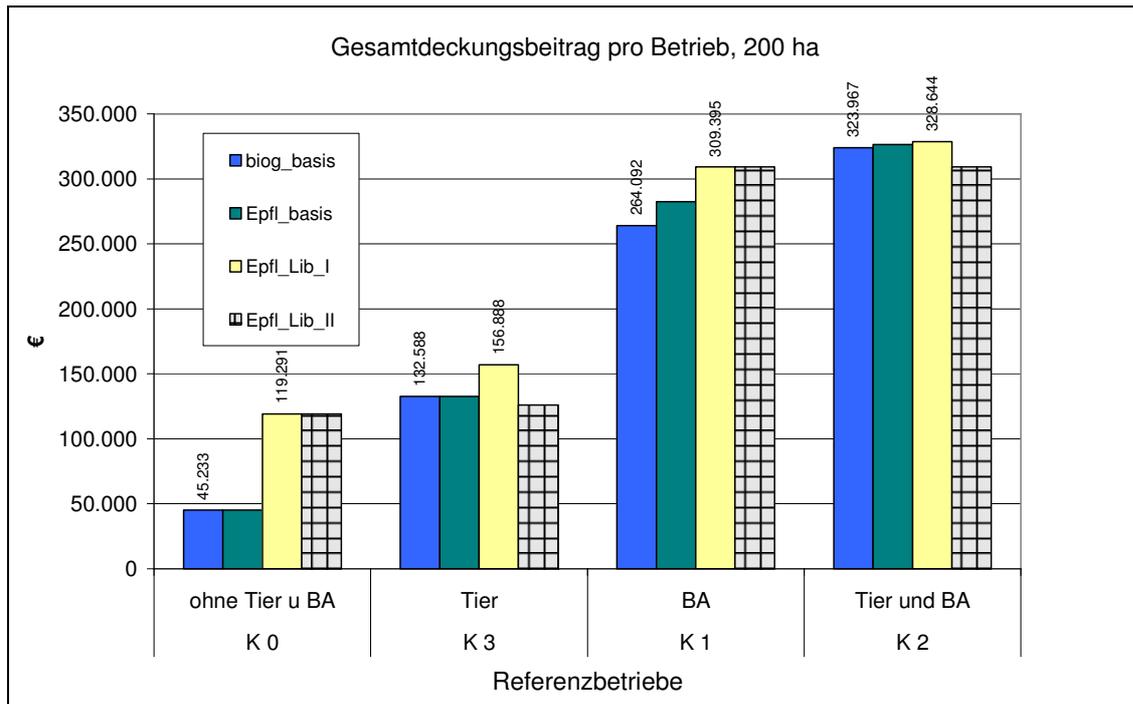


Abb. 3-17: Betriebe K0, K1, K2 und K3: Gesamtdeckungsbeiträge in den Szenarien **BASIS** (epfl_Basis und biog_Basis) sowie in Lib I: Marktpreise Verkauf und der Faktorpreisvariante⁵¹ in Lib II: Zukauf Wirtschaftsfutter/Betriebsmittel mit verdoppelten Preisen gerechnet

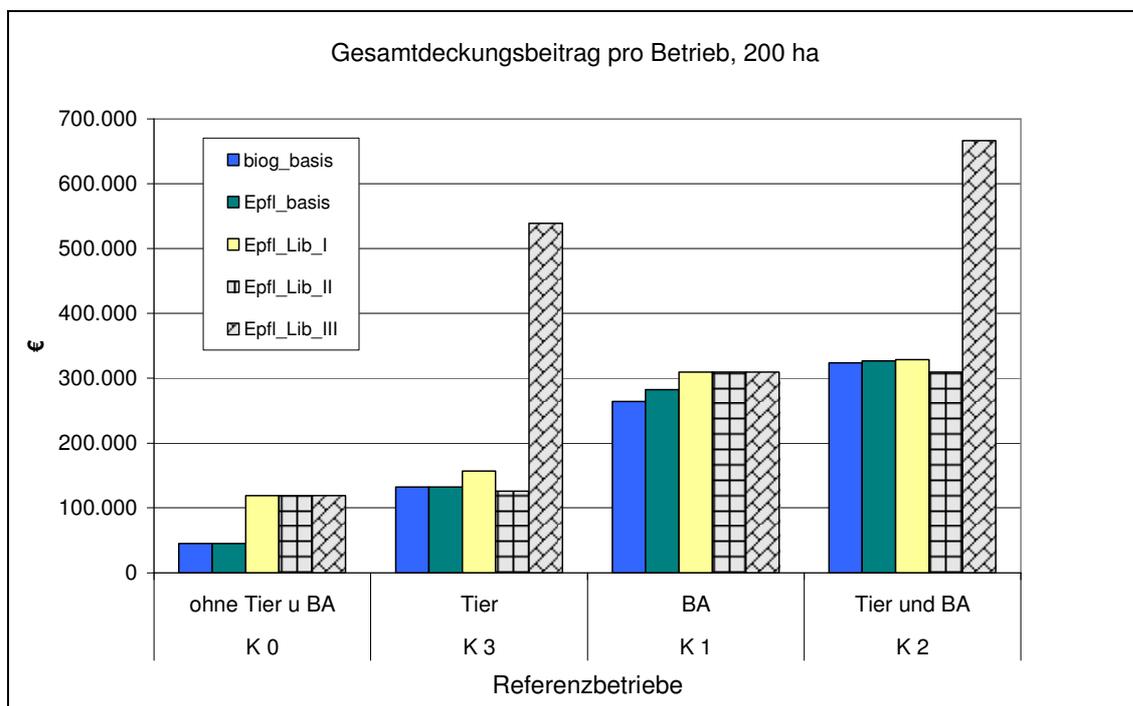


Abb. 3-18: Betriebe K0, K1, K2 und K3: Gesamtdeckungsbeiträge in den Szenarien **BASIS** (epfl_Basis und biog_Basis) sowie Lib I: Marktpreise Verkauf, der Faktorpreisvariante⁵² in Lib II: Zukauf Wirtschaftsfutter/Betriebsmittel mit verdoppelten Preisen und in Lib III: Verkauf Tier mit einem Preissteigerungsfaktor von 1,5 gerechnet.

⁵¹ Faktorpreise: Ankaufspreise für Betriebsmittel, Produktionsfaktoren

⁵² Faktorpreise: Ankaufspreise für Betriebsmittel, Produktionsfaktoren

3.3.3 Parametrisierungen in der Modellierungsphase C

Eine Parametrisierung deckt die Anpassungsvorgänge des Betriebes an die schrittweise Änderung eines Parameters auf. Die Maximierungsvorschrift ermöglicht eine Abschätzung der ökonomischen Effekte und zeigt die optimale Kombination der Produktionsverfahren bei veränderten Rahmenbedingungen.

Die vorliegenden Ergebnisse simulieren den Einfluss der Änderungen von Biogasausbeute und Marktpreis auf Ökonomie und Landnutzung der Betriebe in Form einer schrittweisen

1. Abnahme der Biogasausbeute auf drei unterschiedlichen Marktpreis-Niveaus und
2. Zunahme des Marktpreises auf drei unterschiedlichen BGA-Niveaus und zu zwei unterschiedlichen Investitionskostenansätzen

bei freier Auswahlmöglichkeit der neuen Energiepflanzen-Verfahren.

Als betriebliche Reaktionen auf die Änderung der Rahmenbedingungen kamen vor:

- ➔ Änderung des Flächenumfangs für die verschiedenen Verwertungswege
 - Zu-/Abnahme Flächenanspruch
 - Biogasanlage
 - Tierproduktion
 - Marktfruchtproduktion
- ➔ Änderung der Produktionsverfahren
 - Kulturarten und Umfang
 - auf verschiedenen Standortklassen (AZKL)
- ➔ Auslastung der Biogasanlage
 - Abweichung von der vollen Auslastung
 - Abschalten der Biogasanlage
 - Biogasanlage als reine Reststoffverwertung (Gülle, Mist)
- ➔ Veränderte Tierbestandszahlen

Mit diesen Reaktionen waren verschiedene ökonomische und ökologische Auswirkungen verbunden. Beschrieben wurden die Zu- bzw. Abnahme des Gesamtdeckungsbeitrags und die Anteile der unterschiedlichen Fruchtfolgeglieder, die eine Ableitung ökologischer Parameter ermöglichte.

Die Interpretation der Landnutzungsmuster wird dabei maßgeblich von der vorhandenen Flächenausstattung und den formulierten Fruchtfolgerestriktionen bestimmt. Die verfügbare Fläche für das jeweils ökonomisch sinnvollste Verfahren ist begrenzt. Der Ersatz eines Produktionsverfahren mit einem anderen erfolgt so beispielweise nicht mehr allein aufgrund einer vorhandenen relativen Vorzüglichkeit, sondern weil das Modell das nächst-, aber geringer vorzügliche Verfahren in die Lösung zwingt.

Die Vorzüglichkeit dieser in die Lösung gebrachten Verfahren hängt von den ökonomischen Parametern und diese wiederum von der weiteren Verwertung ab.

3.3.3.1 Parametrisierung der Biogasausbeute (BGA)

Zur Ex-ante-Simulation einer Entscheidung unter Unsicherheit wird in diesem Szenario die Biogasausbeute um jeweils 10 %-Schritte vermindert. Die Verminderung kann sich dabei als Summe mehrerer Faktoren darstellen, wobei sich die Abnahme der Biogasausbeute als kombinierter Effekt zusammensetzt aus:

- ☞ einer Ertragsabnahme,
- ☞ einer geringer als kalkulierten Biogasausbeute sowie
- ☞ einem Puffer für technische Störungen.

Die Parametrisierung der Biogasausbeute soll nach unten gerichtete Abweichungen vom Optimum bei Produktion und Verwertung abbilden, die insgesamt zu einer geringeren Gesamtleistung führen.

Betrieb K1

Zu Preisen von 2004 (Roggenpreis unter 9 €/dt) kann der Betrieb durch die Veredelung von Energiepflanzen in einer 500-kW-Biogasanlage einen Deckungsbeitrag von nahezu 280.000 € und somit einen Differenzbetrag zwischen 180.000 und 220.000 € zum Betrieb ohne Biogasanlage erwirtschaften und das Betriebsergebnis damit mehr als vervierfachen (dunkelblaue Linie). Bei einem ca. dem heutigen Preisniveau entsprechenden und damit verdoppelten Marktpreis kann die Biogasanlage das Ergebnis immer noch zwischen 100.000 und 180.000 € verbessern und damit nahezu verdoppeln.

Zum besseren Verständnis wurde in der Abbildung die Auslastung der Biogasanlage (dünne Linien mit Kästchen) als einer der Hauptfaktoren mit aufgeführt. Der andere Hauptfaktor für die Abnahme des Gesamt-DB lag in der Änderung der Landnutzung (s. Abb. 3-23 - 3-29).

Auf der linken y-Achse sind Gesamtdeckungsbeiträge bei drei verschiedenen Preisniveaus abgetragen: Die Marktpreise von 2004 und die Marktpreise jeweils um den Faktor 1,5 und 2,0 angehoben. Auf der rechten Y-Achse ist die Auslastung der Biogasanlage zu den drei Preisniveaus angegeben, welche von rechts nach links abnimmt. Die Biogasausbeute ist auf der X-Achse dargestellt – ebenfalls von rechts nach links abnehmend.

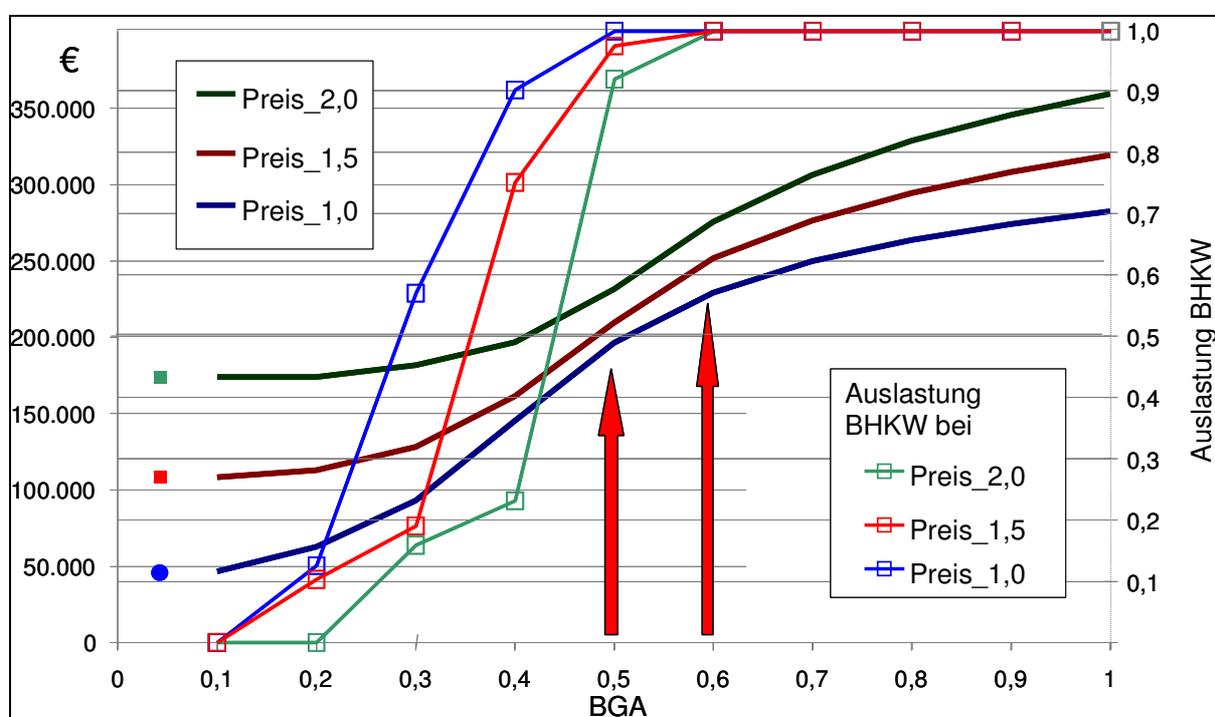


Abb. 3-19: **Betrieb K1**, 500-kW-Biogasanlage, 200 ha, keine Tiere. Gesamtdeckungsbeitrag und Auslastung des BHKW in Abhängigkeit von Biogasausbeute (BGA) und Marktpreis.

Bei einer Verminderung der Biogasausbeute müssen zunächst einmal größere Mengen des Substrates bereitgestellt werden, so dass die benötigte Anbaufläche von Energiepflanzen für die Biogasanlage steigt. Da der Erlös für die Anlage bei voller Auslastung konstant bleibt, der Verkaufserlös von Marktfrüchten jedoch entsprechend der verminderten Produktionsfläche abnimmt, sinkt insgesamt der Deckungsbeitrag des Betriebs.

Die Abnahme des Gesamt-DB kann durch den sprunghaften Wechsel von Produktionsverfahren und -systemen diskontinuierlich verlaufen. Anteile des Verlustes können durch Anpassungen des Managements in Form von Nutzungsänderungen der Flächen aufgefangen werden, die sich unter den hier formulierten Rahmenbedingungen, z. B. in einer Ausweitung des Marktfrucht- zuungunsten des Energiepflanzenanbaus, ausdrückte.

Das deutliche Abknicken des Gesamtdeckungsbeitrags bei einer BGA zwischen 0,5 und 0,6 ist jedoch auch auf die Verminderung der Laufleistung des BHKW zurückzuführen (dünne Linien mit Kästchen). Ab einer BGA unter 0,6 steigen die Produktionskosten der benötigten Substratmenge so stark an, dass die Biogasanlage nicht mehr wirtschaftlich mit Energiepflanzen befüllt werden kann und daher auf einen Teil des Stromerlöses verzichtet werden muss. Die Tatsache, dass hohe Marktpreise diese Entwicklung verstärken und niedrige Marktpreise (untere dicke blaue Linie) diese hinauszögern können, bestätigt den Einfluss, den Opportunitätskosten der Fläche auf die Entscheidungen beim Betrieb einer Biogasanlage haben.

Betrieb K2

Für Betrieb K2, der am Ausgangspunkt sowohl eine Biogas- als auch Milchproduktion betreibt, stellt sich die Situation bei einer Verschlechterung der Biogasausbeute aus den Energiepflanzen-Substraten eindeutig anders dar.

Hier beginnt ein verstärkter Verlust an Gesamtdeckungsbeitrag schon ab einer Verminderung der BGA um 30–40 %. Auffällig ist jedoch, dass diese Abnahme weniger drastisch ausfällt als bei Betrieb K1.

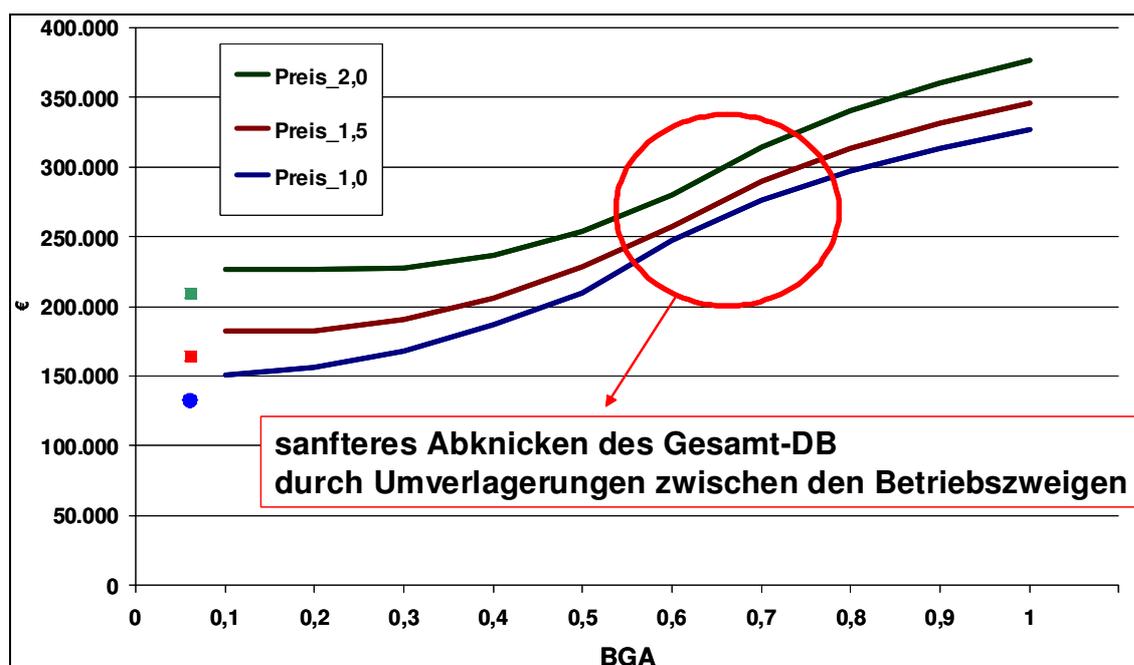


Abb. 3-20: **Betrieb K2**, 500-kW-Biogasanlage, 200 ha, mit Tierhaltung (Milchvieh). Gesamtdeckungsbeitrag in Abhängigkeit von Biogasausbeute (BGA) und Marktpreis

Wie an der folgenden Abbildung deutlich wird, hängt der sanftere Verlauf mit Umverteilungen zwischen den Betriebszweigen Biogas- und Milchproduktion zusammen.

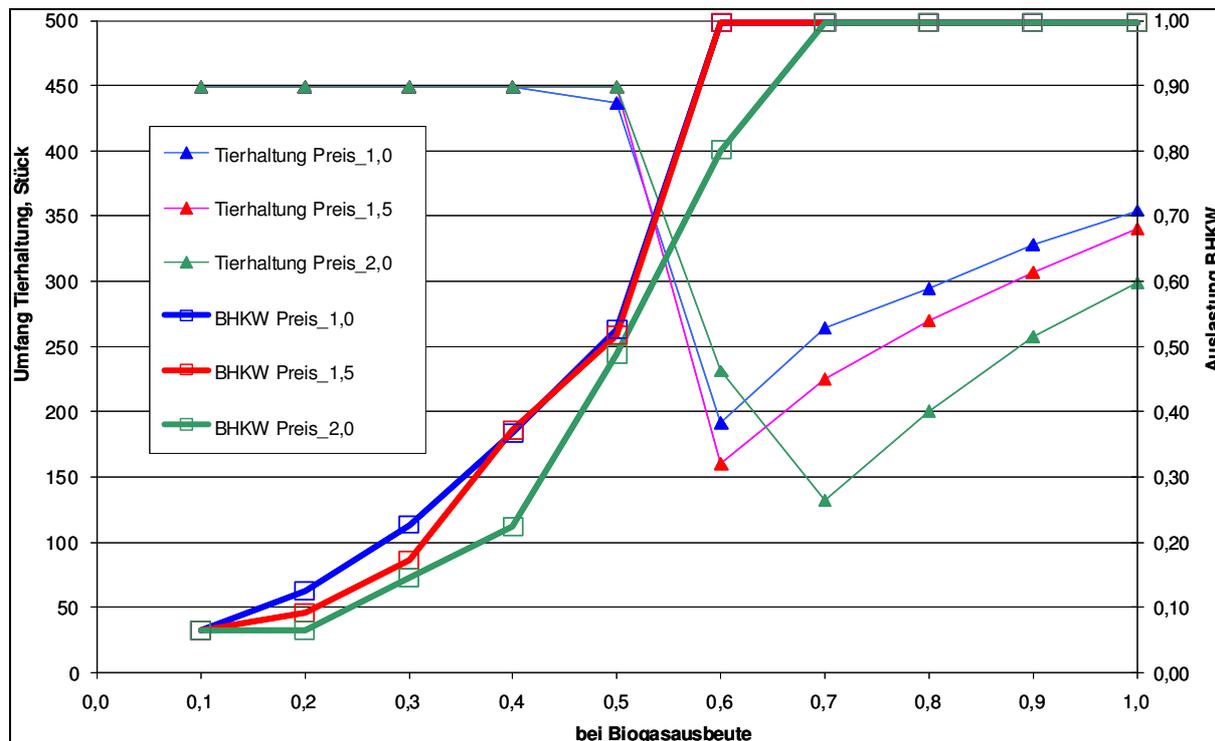


Abb. 3-21: **Betrieb K2**, 500 kW Biogasanlage, 200 ha, mit Tierhaltung (Milchvieh). **Umfang Tierhaltung** (dünne Linie, Dreiecke) und **Auslastung BHKW** (dicke Linie, Kästchen) in Abhängigkeit von Biogasausbeute (BGA) und Marktpreis.

Abbildung 3–21 zeigt die insgesamt komplexeren Zusammenhänge der Produktionsentscheidungen bei Betrieben, die sowohl eine Biogasanlage und Tierhaltung betreiben. Die Veredelungsleistung von Biogas übertrifft diejenige von Milch. Wie verminderte Tierzahlen bei BGA 1,0 erkennen lassen, besteht eine absolute Konkurrenz um die Fläche, die zur Veredelungsproduktion zur Verfügung steht. Auch unter optimalen Bedingungen (BGA 1,0) ist die Fläche für die Auslastung beider Betriebszweige nicht ausreichend. Bis zur BGA von 0,6–0,7 werden Flächen für die Energiepflanzen-Produktion und nicht zur Futterherstellung verwendet. Die Tierhaltung nimmt bei unverminderter Biogasproduktion, aber sinkender BGA kontinuierlich ab. Erst bei noch niedrigerer BGA und eintretender Unwirtschaftlichkeit der Biogasproduktion aus Energiepflanzen werden dann sprunghaft die freigesetzten Flächen für die Tierhaltung (Ausschöpfung des Kontingentes und die Ausweitung der Fleischproduktion) genutzt.

Auswirkung der Änderung der Marktpreise:

Austauschbeziehungen zwischen den Betriebszweigen Biogasanlage und Tierproduktion im Betrieb K2 führen zu einer insgesamt geringeren und flacheren Abnahme des Gesamt-DB als bei dem reinen Biogasanlagenbetrieb K1. Dabei traten deutlichere Reaktionen erst bei Preisanhebungen um den Faktor 2,0 auf. Unterschiede zwischen den Preisniveaus 1,0 und 1,5 waren nur gering. Da der Marktpreis nur für Marktfrüchte geändert wurde, würde ein gleichzeitiges Ansteigen des Milchpreises die Vorzüglichkeit der Biogasanlage noch einmal vermindern und das Eintreffen einer Entscheidung weiter nach rechts (geringere BGA-

Ausbeuteverminderung) verschieben. Auch die Einbeziehung der Fixkosten würde die als möglich hinnehmbare BGA-Minderung nach rechts verschieben

3.3.3.2 Korrektur der Fixkostenbelastung

Das Modell erlaubte die Parametrisierung in einen Bereich hinein, in der die Verwertung von bestimmten, den fixen Kosten zuzuordnenden Belastungen, beeinflusst wird.

Dieser Sachverhalt wurde zur Vereinfachung und besseren Handhabbarkeit des Modells jedoch nicht als Restriktion formuliert.

Um Modellierungsergebnisse innerhalb des Lösungsraums der Parametrisierungen interpretieren zu können, muss z. B. berücksichtigt werden, dass bestimmte variable Produktionskosten, die auf die Kilowattstunde bezogen werden, auch Anschaffungskosten des BHKW enthalten. Die (variabel gehaltene) Biogasproduktion bestimmt auf diese Weise anteilige fixe Kosten. Bei einer Reduzierung der Auslastung und damit sinkender produzierter Kilowattstundenmengen wird damit das Betreiben einer insgesamt günstigeren Biogasanlage simuliert. Das Modell bietet hiermit zwar Informationen zur Entscheidung für eine optimale Größe des BHKW, zur vollständigen Beschreibung der betriebsökonomischen Wirklichkeit muss jedoch jede Fixkostenbelastung einer vergangenen Entscheidung mit einbezogen werden. Die Fixkosten bleiben in voller Höhe erhalten, auch wenn die Anlage nicht mehr unter voller Auslastung betrieben wird.

In der folgenden Abbildung werden exemplarisch die Korrekturen der Fixkostenbelastung am Beispiel des Betriebs K1 und dem unteren Marktpreis (Stand 2004) dargestellt: Die Entscheidung, die Biogasanlage stillzulegen, wird bei Einbeziehung der Fixkosten des BHKW bei deutlich höheren BGA (nach rechts) vorgezogen.

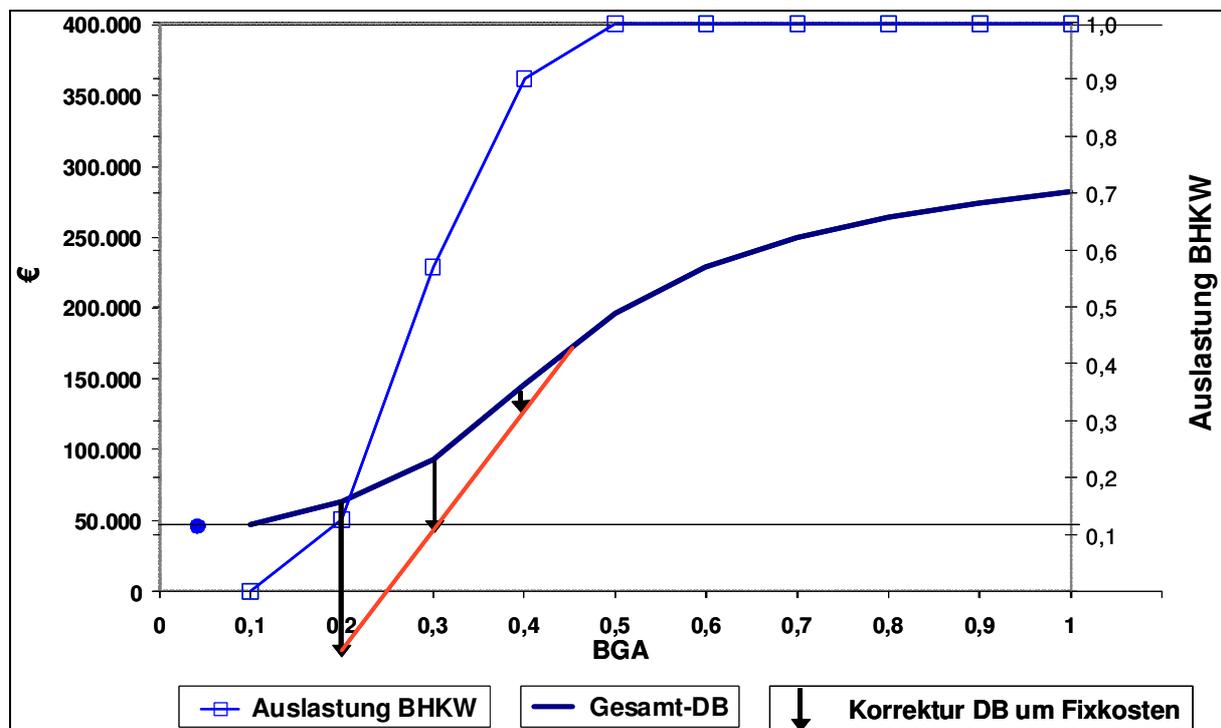


Abb. 3-22: Betrieb K1, 500-kW-Biogasanlage, 200 ha, keine Tiere. Gesamtdeckungsbeitrag in Abhängigkeit von Biogausbeute (BGA), Marktpreis 1,0

3.3.3.3 Änderungen der Flächennutzung der Betriebe K1 und K2 bei Preisänderungen und unterschiedlichen Biogasausbeuten

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Landnutzungsanteile der Fruchtarten für drei Preisniveaus sowie einer um die Hälfte verringerten Biogasausbeute aufgezeigt. Bei diesem Parametrisierungsschritt der BGA zeigten sich die größten relativen Änderungen.

K1: Marktfruchtbetrieb mit NawaRo-Biogasanlage

Der Biogasanlagen-Modellbetrieb K1 entsprach in der Auswahl der Anbaukulturen auf der untersten Parametrisierungsstufe der Biogasausbeute (BGA von 0,1) einem reinen Marktfruchtbetrieb. Er kann somit als Analogon zum Betrieb K0 innerhalb der Vergleiche zu den verwendeten Kulturarten und ihren Anteilen verwendet werden. Die folgenden vier Abbildungen (inklusive Legende) stellen die Fruchtartenanteile zu drei Parametrisierungsschritten dar. Die Auswahl entspricht dem Kriterium der größten Unterschiede (10 % und 100 % BGA) sowie dem Wunsch, die Landnutzungsverhältnisse zum Zeitpunkt der größten Flächenausdehnung und des ökonomischen Umschlags zu erfassen.

Der Vergleich der Flächenanteile von **Betrieb K1 bei BGA 1,0** (Biogasanlage unter voller BHKW-Auslastung und bei optimierter Substratbereitstellung) und dem **Betrieb K1 bei BGA 0,1** (entspricht dem Marktfruchtbetrieb K0 ohne Biogasanlage) zeigte, dass durch den Betrieb einer Biogasanlage die Fläche um folgende Anteile reduziert wurde:

- Winterroggen um die Hälfte von 53 % auf 27 %,
- Stilllegung vom Maximum (20 %) auf das Minimum (8 %, da zum Zeitpunkt der Kalkulationen noch obligatorisch),
- Winterraps nur leicht von 19 % auf 13 %

Die frei werdenden Flächen ersetzte Hirse (starke Zunahme des neuen Energiepflanzen-Verfahrens von 0 auf 42 %).

Ein vertikaler Vergleich der Betriebe K1 zwischen den Modellierungsphasen B und C zeigt: Das neue Energiepflanzen-Verfahren Hirse ersetzt in Phase C die vorzügliche Anbaualternative Luzerne in Phase B. Wieder wird die Bewertung der Luzerne zum Schlüssel eines betrieblichen ökologischen Gesamtvergleiches. Neben den relativen Verbesserungen oder Verschlechterungen der Standorte infolge geänderter Fruchtfolgen sind daher die speziellen Umwelteigenschaften der Produktionsverfahren in die Betrachtungen mit einzubeziehen (s. Kap. 3.2).



Abb. 3-23: Legende der Fruchtarnten in den folgenden Abbildungen

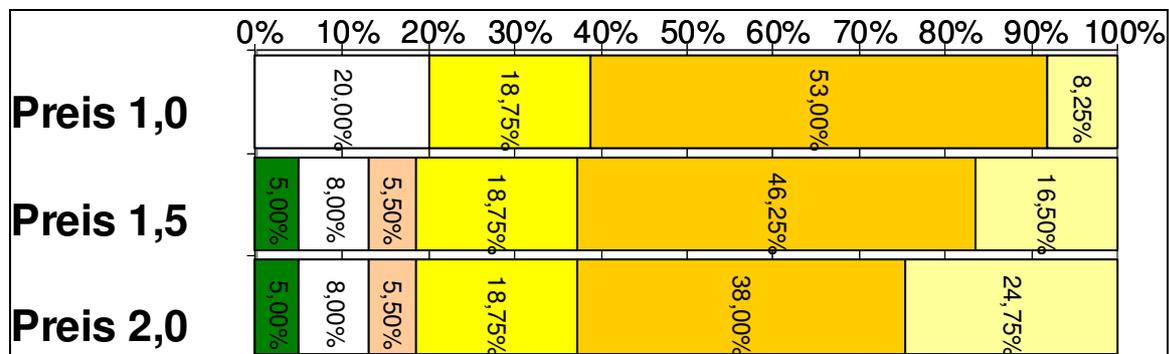


Abb. 3-24: Modellbetrieb K1 (nur BA): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei **BGA 0,1**

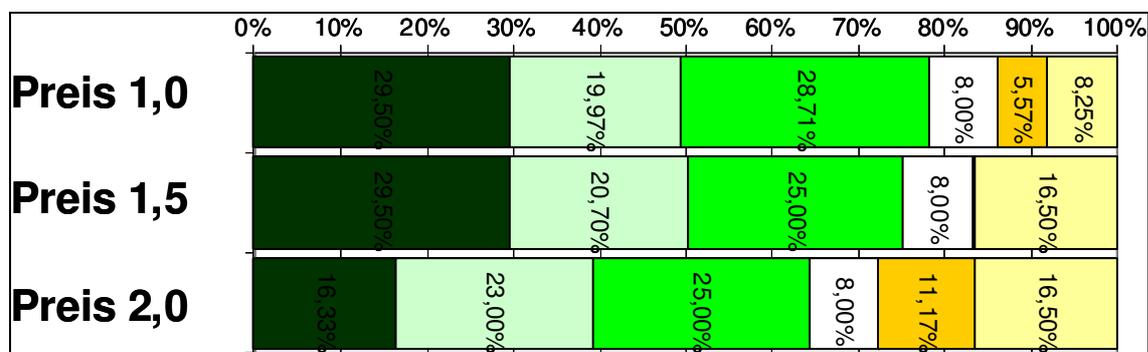


Abb. 3-25: Modellbetrieb K1 (nur BA): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei **BGA 0,5**

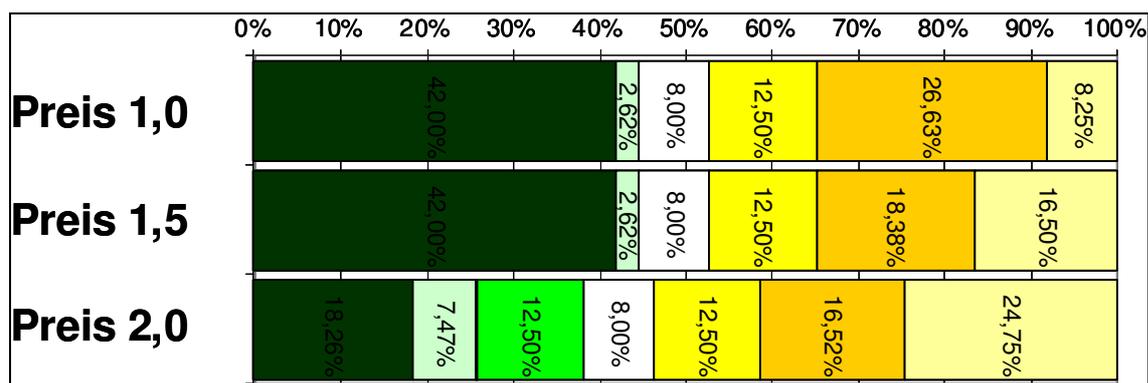


Abb. 3-26: Modellbetrieb K1 (nur BA): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei **BGA 1,0**

Ergebnis für K2: Viehhaltender Betrieb mit NawaRo-Biogasanlage

Der Biogasanlagen-Modellbetrieb K2 entsprach in der Auswahl der Anbaukulturen auf der untersten Parametrisierungsstufe der Biogasausbeute (BGA von 0,1) dem Tierhaltungsbetrieb K3.

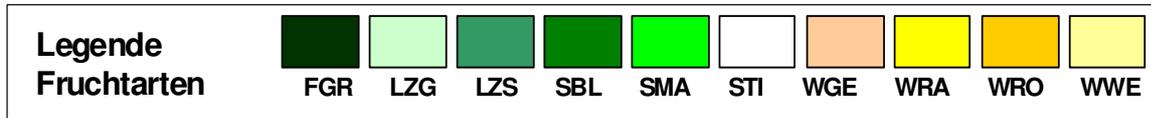


Abb. 3-27: Legende der Fruchtarten in den folgenden Abbildungen

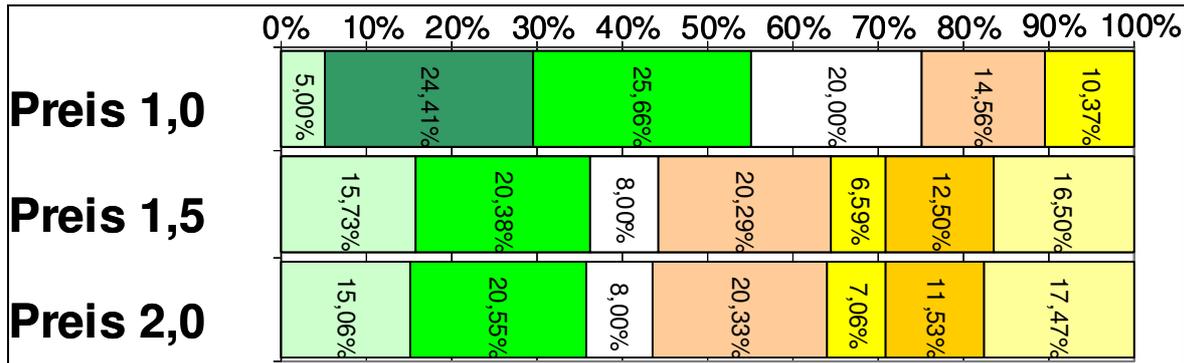


Abb. 3-28: Modellbetrieb K2 (BA+Tier): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei **BGA 0,1**

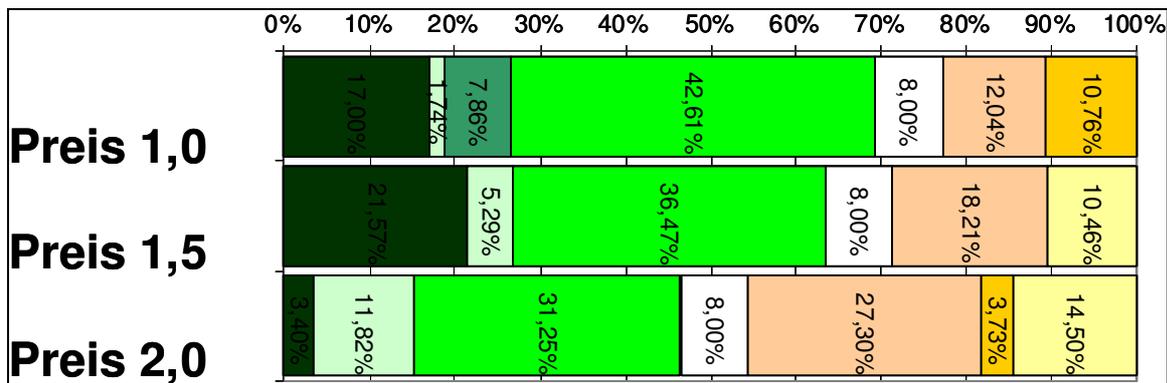


Abb. 3-29: Modellbetrieb K2 (BA+Tier): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei **BGA 0,5**

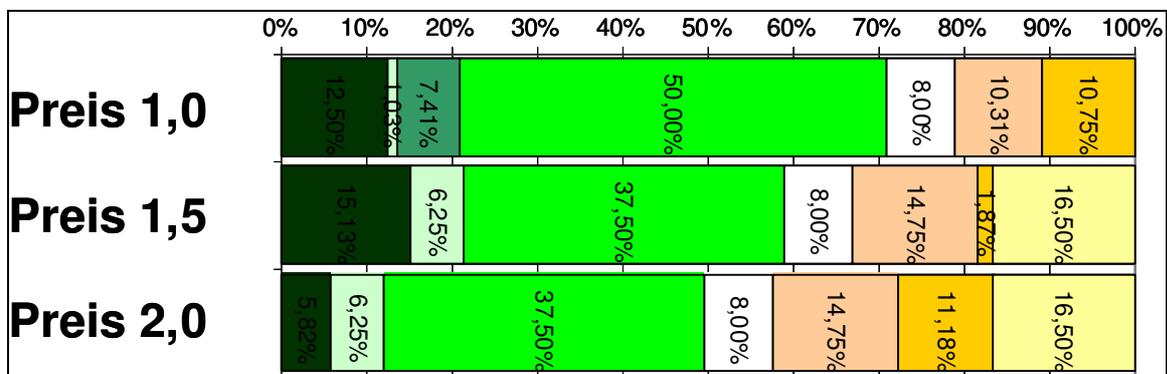


Abb. 3-30: Modellbetrieb K2 (BA+Tier): Anteile der Produktionsverfahren an der Landnutzungsfläche bei **BGA 1,0**

Fazit: Ökonomisch relevante Auswirkungen einer sinkenden Biogasausbeute (Ergebnisse Parametrisierung BGA):

- Als erste Konsequenz eines abnehmenden Methanhektarertrages wird zur Beschickung der Anlage eine größere Fläche benötigt, so dass infolge der Flächenkonkurrenz die Opportunitätskosten der Verfahren steigen.
- Sobald die für die Auslastung der Anlage benötigte Energiemenge nicht mehr wirtschaftlich bereitgestellt werden kann, muss die Leistung der Anlage heruntergefahren werden.
- Bei noch geringeren Energiegewinnen aus der Fläche bzw. aus den Substraten kann der Betrieb der Anlage auf der Grundlage von verfügbaren und günstigen Reststoffen erfolgen (K2) oder muss ganz eingestellt werden (K1).

Die Aufstellung der Flächenanteile der Kulturarten zu den Eck- und Umschlagspunkten der BGA-Parametrisierung zu unterschiedlichen Preisen bildet zusammen mit der ökologischen Bewertung in Kap. 3.2 die Grundlage für einfache Abschätzungen der Auswirkungen der Landnutzung von den Modellbetrieben K0, K1, K2 und K3.

3.3.3.4 Parametrisierung des Preises

Durch **Steigerung der Marktfruchtpreise**⁵³ in Parametrisierungs-Schritten zu 20 % auf bis zu 480 % gegenüber den Preisen von 2004 (= 100 %) werden die **Einkommensverluste** (infolge der Opportunitätskosten der Fläche) der Betriebe mit einer Biogasanlage gegenüber anderen Betrieben ausgewiesen. Eine **bereits installierte Biogasanlage** schränkt dabei die freie Verfügbarkeit der Flächen stark ein. Mit den Parametrisierungsergebnissen lässt sich abschätzen, bis zu welchen Preisen Ackerkulturen in der Anlage noch wirtschaftlich verwertet werden können bzw. eine Energiepflanzen-Produktion aufrecht erhalten wird. Interessant ist der steigende Anteil an Reststoffen und Wirtschaftdüngern (Gülle, Stallmist) im Mix. Die Schrittzahl und Bandbreite der Parametrisierung wurde so gewählt, dass sie den Bereich der Abschaltung der Anlage umfasst.

Folgende Tabelle zeigt die Ausgangspreise der Parametrisierung für die Getreidearten Roggen und (A-) Weizen.

Tab. 3-9: Preise für Winterweizen und Winterroggen gegenüber 2004 in 20%-Schritten erhöht (100 % = Preise von 2004).

	%	100	120	140	160	180	200	230	240	260
€										
Weizen		11,6	13,9	16,2	18,5	20,8	23,1	25,4	27,8	30,1
Roggen		9,0	11,7	13,6	15,6	17,5	19,5	21,4	23,4	25,3

⁵³ Da die Geschwindigkeit, in der Marktspannen von den Handelspartnern umgesetzt und vor allem von den stärkeren Partnern abgeschöpft werden, schwer kalkuliert werden können, wurde in den Preis-Parametrisierungsläufen zunächst nur mit einem Anstieg der Marktfruchtpreise gerechnet. Aktuelle Beobachtungen des Betriebsmittelmarktes zeigen jedoch erstaunlich schnelle Reaktionen des Marktes auf den Preisanstieg von 2007: Pflanzenschutzmittel, Düngemittel sowie Traktoren und andere Landmaschinen wurden deutlich teurer.

In den folgenden Abbildungen geben die Absenkung des BGA-Niveaus und die Teuerung der Investitionskosten einen Überblick über die rasche Abnahme der Vorzüglichkeit der Biogasproduktion bei einer Verschlechterung der Rahmenbedingungen.

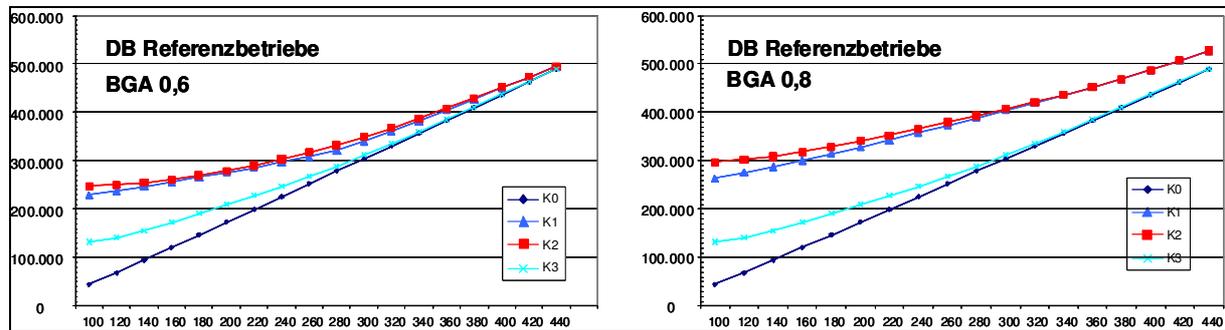


Abb. 3-31: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Deckungsbeiträge (DB) der Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei normalen Fermenterkosten (zu kalkulierten Investitionskosten) und zwei unterschiedlichen Biogausausbeuten (BGA)

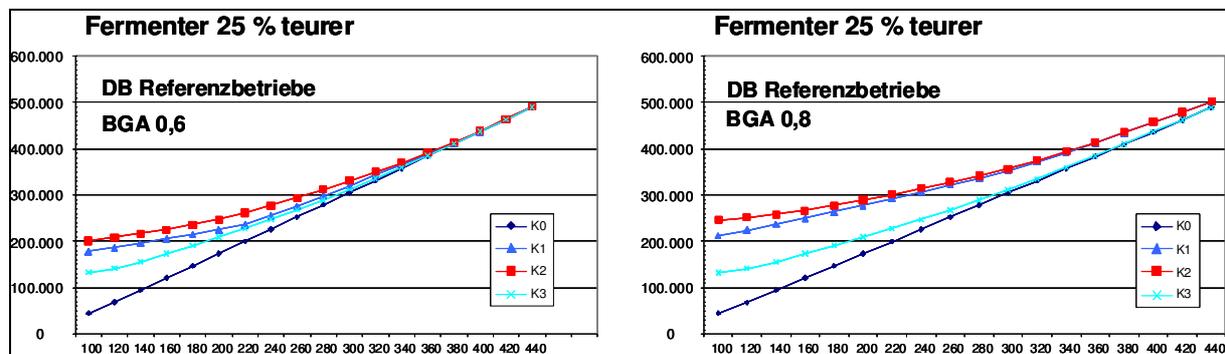


Abb. 3-32: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Deckungsbeiträge (DB) der Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei 25 % erhöhten Fermenterkosten (höhere als kalkulierte Investitionskosten) und zwei unterschiedlichen Biogausausbeuten (BGA)

Die Frage, zu welchem Marktpreisniveau der Bau einer Biogasanlage noch sinnvoll ist, lässt sich aus einer positiven Differenz der Betriebstypen zueinander beantworten. Die deutlich höheren Deckungsbeiträge der Betriebe mit Biogasanlage oder Tierhaltung im unteren Bereich der Preissteigerung (200–300 %) sind stark von der Biogausausbeute sowie den Investitionskosten abhängig. Die Differenz sollte dabei ausreichen, um das höhere Unternehmerrisiko (Kapitaldienste etc.) zu entlohnen⁵⁴. Für Betriebe, die mit einer ungünstigen Biogausausbeute oder verhältnismäßig höheren Investitionskosten kalkulieren, verringert sich diese Differenz jedoch entscheidend.

Folgende Abbildungen zeigen die Preise an, zu denen die Modellrechnungen eine nicht mehr vollständige Auslastung des BHKWs zeigten. Sie lassen sich als Bereiche interpretieren, in denen der Betrieb der Biogasanlage seine komparative Wirtschaftlichkeit verloren hatte.

⁵⁴ Die Investitionssumme für eine 500-kW-Biogasanlage erreicht ca. 1.5 Mio. €. Bei einer Eigenkapitalquote von 30 % und einer möglichen anderweitigen Verzinsung von 6 %, müsste allein eine Differenz von ca. 27.000 € erreicht werden. Für den Fremdkapitalzins von ca. 8 % des 70%-Anteils noch einmal ca. 84.000 €.

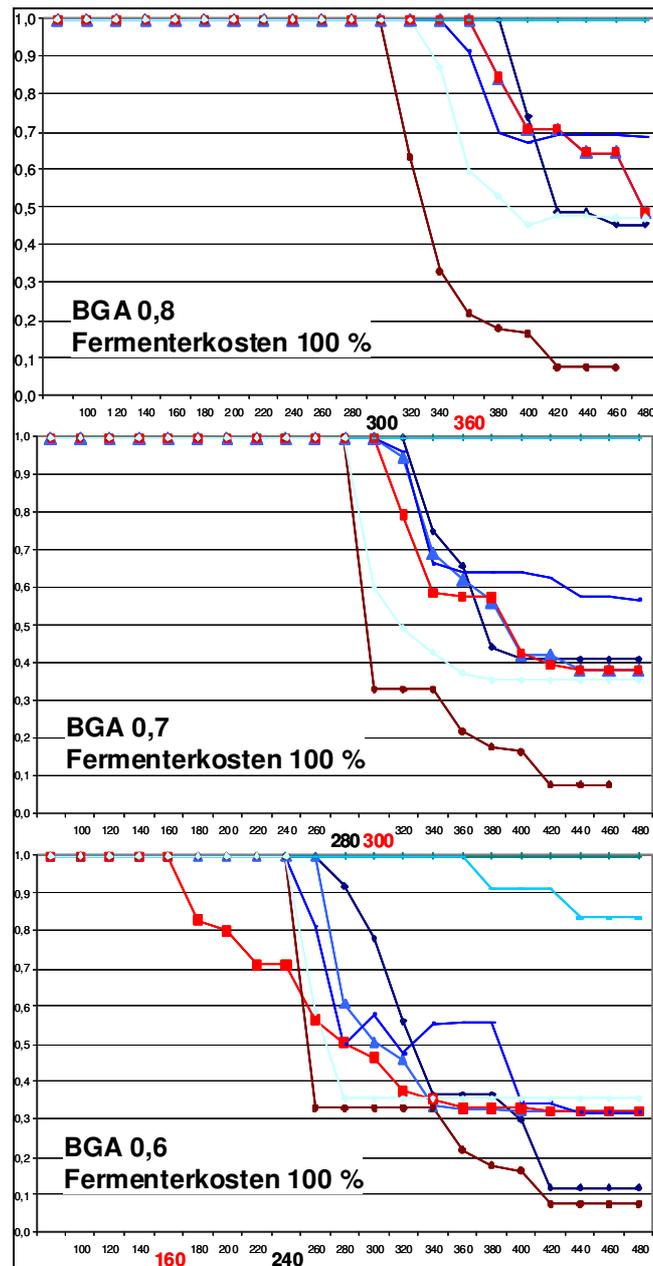


Abb. 3-33: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Auslastung der Biogasanlage für die Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei normalen Fermenterkosten (kalkulierte Investitionskosten) und drei unterschiedlichen Biogasausbeuten (BGA)

Fazit:

Bei aktuellem Preisniveau bestehen Rentabilitätsprobleme nur bei sehr niedrigen Biogasausbeuten, die 60 % der optimalen BGA unterschreiten. Dagegen wird bei ausreichenden BGA die Anlagenrentabilität auch bei weiteren Preissteigerungen von bis zu 50 % gegenüber dem aktuellen Preisniveau gewährleistet.

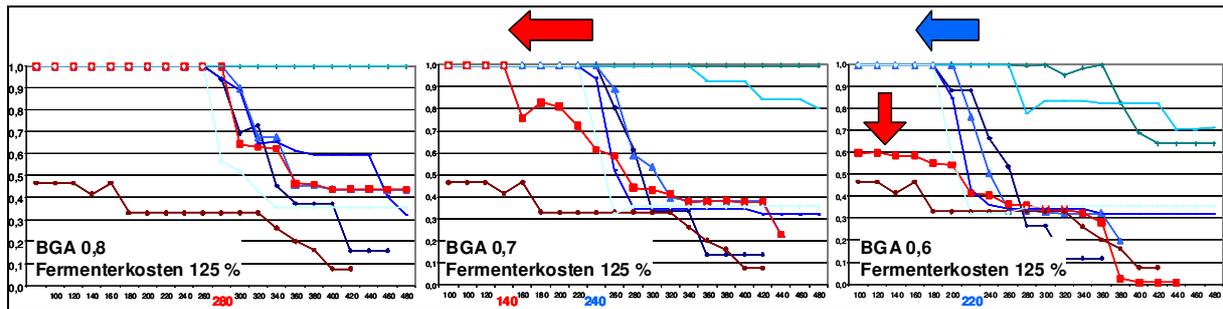


Abb. 3-34: Einfluss von Marktpreisänderungen auf die Auslastung der Biogasanlage für die Modellbetriebe K0, K1, K2 und K3 bei 25 % erhöhten Fermenterkosten (höhere als kalkulierte Investitionskosten) und zwei unterschiedlichen Biogasausbeuten (BGA)

3.3.3.5 Biogas-Kennzahlenanalyse

Die folgenden Abbildungen zeigen den Einfluss von Marktpreisen und Biogasausbeuten auf die spezifischen Produktionskosten der Betriebe (Kennzahlen €/t und €/ha) und Flächenbeanspruchung bei abnehmenden Biogasausbeuten und zwei Preisniveaus.

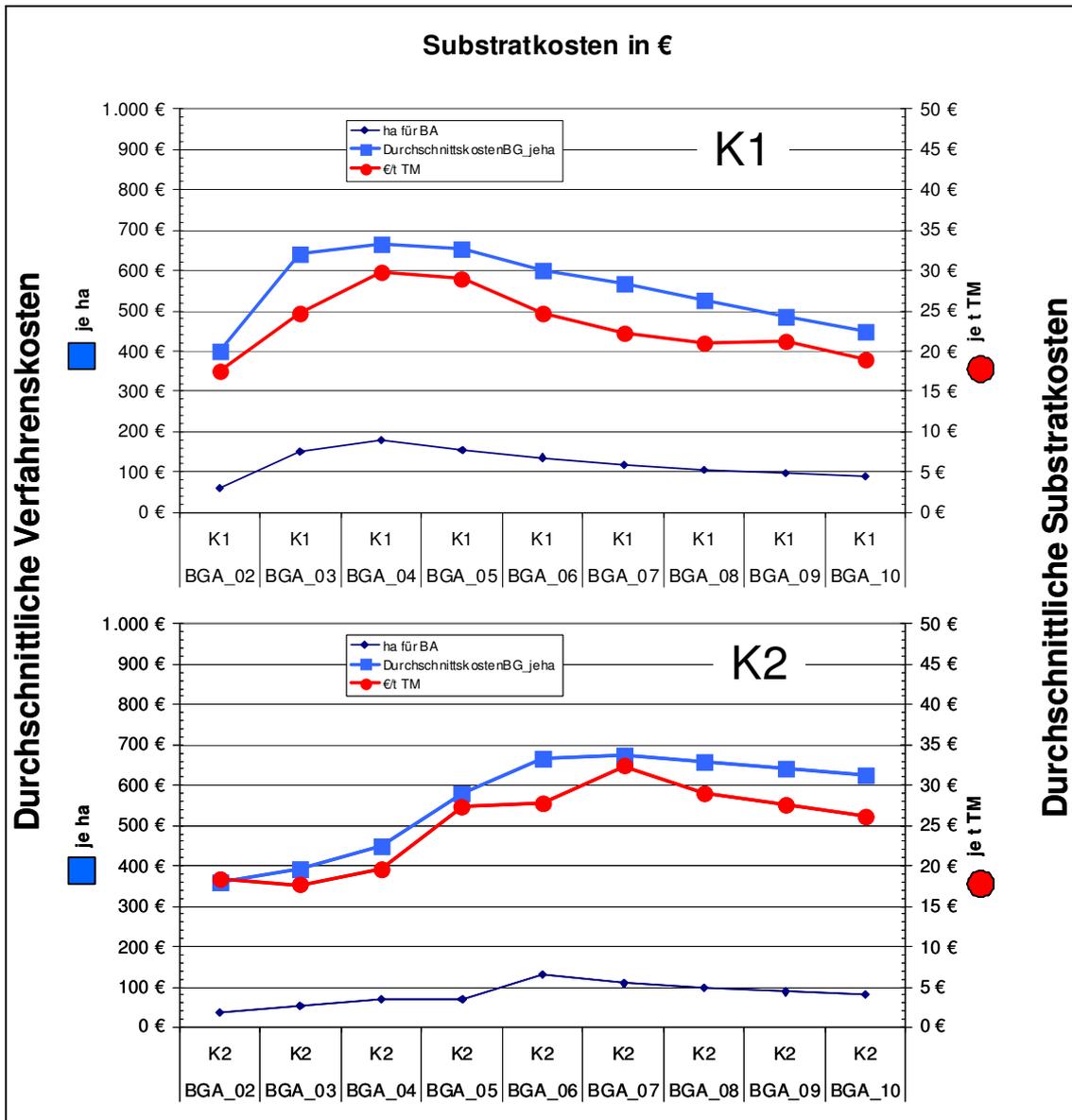


Abb. 3-35: Vergleich Betrieb K1 (BA) mit K2 (BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens- und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogausausbeute zum Preisniveau 1,0

Fazit aus dem Kennzahlen-Biogas-Vergleich der Modellbetriebe K1 und K2 auf dem unteren Preisniveau (Faktor 1,0 = Marktpreise im Jahr 2004, s. Tab. 3-9):

Durchschnittskosten des Substrats pro Verfahren und pro Hektar nehmen mit sinkender Biogausausbeute um mehr als 60 % zu. Die spezifischen Substratkosten pro produzierter dt TM steigen dabei noch stärker als die Kosten pro Fläche, was auf eine stärkere Optimierung der Methanhektarerträge bei sinkenden Biogausausbeuten hindeutet. Am Ende verwendet der Betrieb K1 seine gesamte Fläche zur Produktion von Substraten für die Biogasanlage, erreicht also einen Flächenbedarf des BHKW von ca. 1 ha/kW. Der Umschlagpunkt bzw. das Absinken der Kennzahlen bedeutet einen Ersatz der Ackerfrüchte mit Reststoffen, sobald niedrige Biogasanlagen einen wirtschaftlichen Betrieb der Biogasanlage verhindern. Die Auswahl der Kulturarten oder die Anpassung der Produktions-

verfahren kann diese Entwicklung entscheidend beeinflussen, wie die folgende Abbildung zeigt.

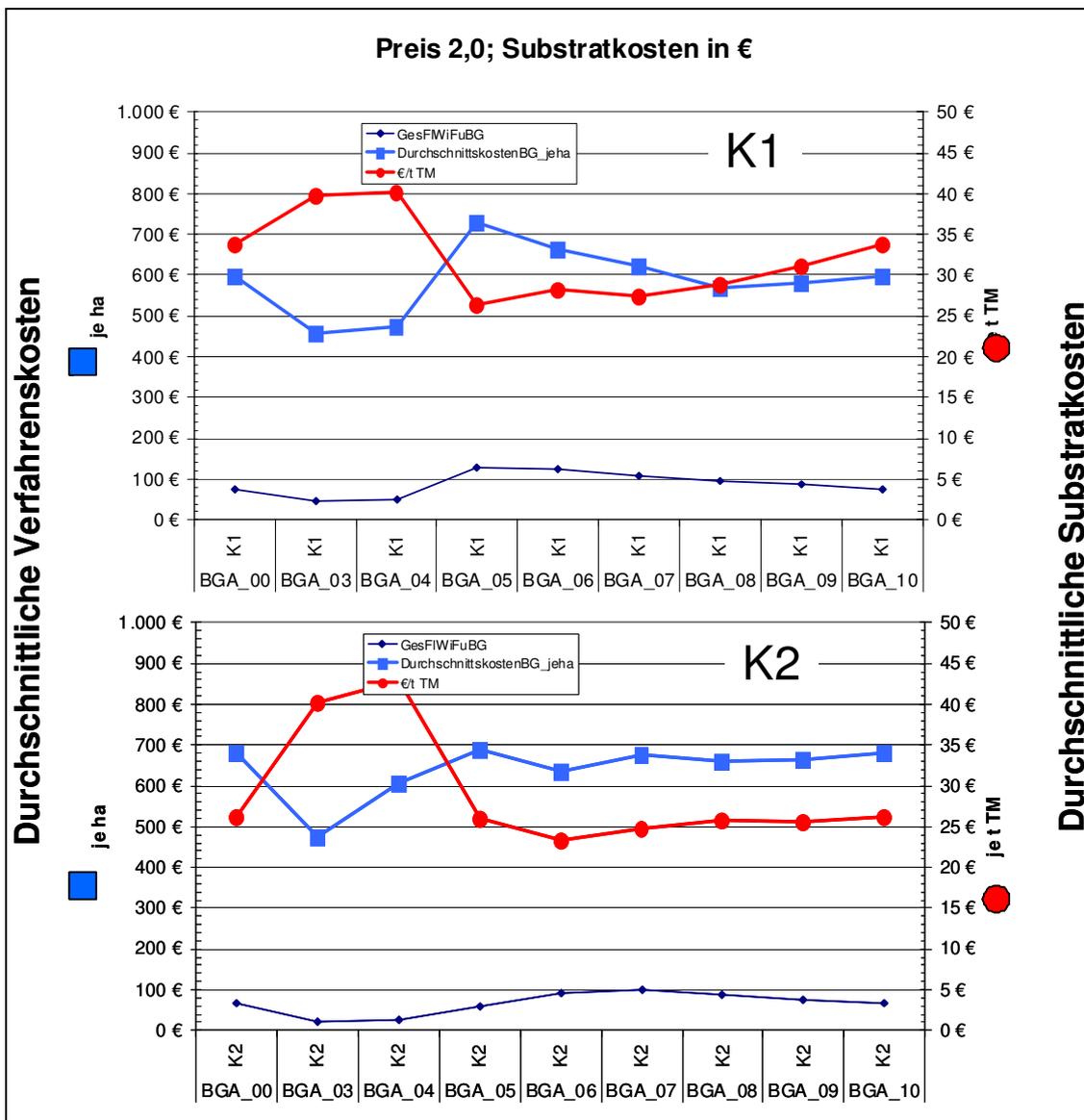


Abb. 3-36: Vergleich Betrieb K1 (BA) mit K2 (BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens- und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogausausbeute zum Preisniveau 2,0

Fazit höhere Marktpreise (Niveau Faktor 2,0):

Auch hier zeigen die „Kennzahlen Biogas“ (Durchschnittskosten des Verfahren pro t TM Substrat und pro Hektar) infolge der insgesamt höheren Opportunitätskosten der Fläche auf dem Marktpreissteigerung im Biogas-Betrieb (K1) bei abnehmenden BGA den oben beschriebenen Trend: Teurere, aber insgesamt flächeneffizientere Verfahren (hinsichtlich des Methanertrags) werden verwendet. Überlagert wird dieser Effekt jedoch dadurch, dass der Betrieb von vornherein mit dem Anbau der Substrate für die Biogasproduktion auf die besseren Standorte ausweicht. Dies ist sehr deutlich an den höheren Substrat- (> 60 %) und Flächenkosten (ca. 30 %) abzulesen, bei denen er unter optimalen Biogausausbeuten (BGA 1,0) in die Produktion einsteigt: Die Produktionskosten pro ha liegen somit anfangs bei 600 €

und steigen bis zum Ausstieg aus der Biogasproduktion auf über 700 € an. Der Verlauf der spezifischen Substratkosten ist durch das fehlende Angebot angepasster Energiepflanzen-Verfahren auf den guten Standorten gegenläufig zum Trend auf dem unteren Marktpreisniveau. Um Flächen für die lohnenswertere Marktfruchtproduktion freizuhalten (maximale Beanspruchung der Fläche von 0,6 ha/kW BHKW-Leistung), produziert der Betrieb Biogas mit Verfahren, die ihn 35 €/t TM kosten. Wie in den vorigen Kapiteln schon deutlich wurde, zeigt der Betrieb K2 aufgrund starker Konkurrenzverhältnisse von Biogas-, Marktfrucht- und Tierproduktion bei einer nur unter optimalen Biogasausbeuten ausreichenden Flächenausstattung nur schwer auf einen Trend reduzierbare Austauschbeziehungen der Verfahren (Vorzüglichkeiten). Sobald die Biogasproduktion die Hälfte seiner Flächen beansprucht, fährt der Betrieb die Anlagenleistung herunter.

Die folgenden Abbildungen der Verfahrenskostenänderungen auf den Praxisbetrieben Do und Zi zeigen aufgrund der eher unterdimensionierten BHKW und Biogasanlagen (ausreichende Flächenausstattung) einen wesentlich stabileren Verlauf im Vergleich zu denjenigen der Modellbetriebe.

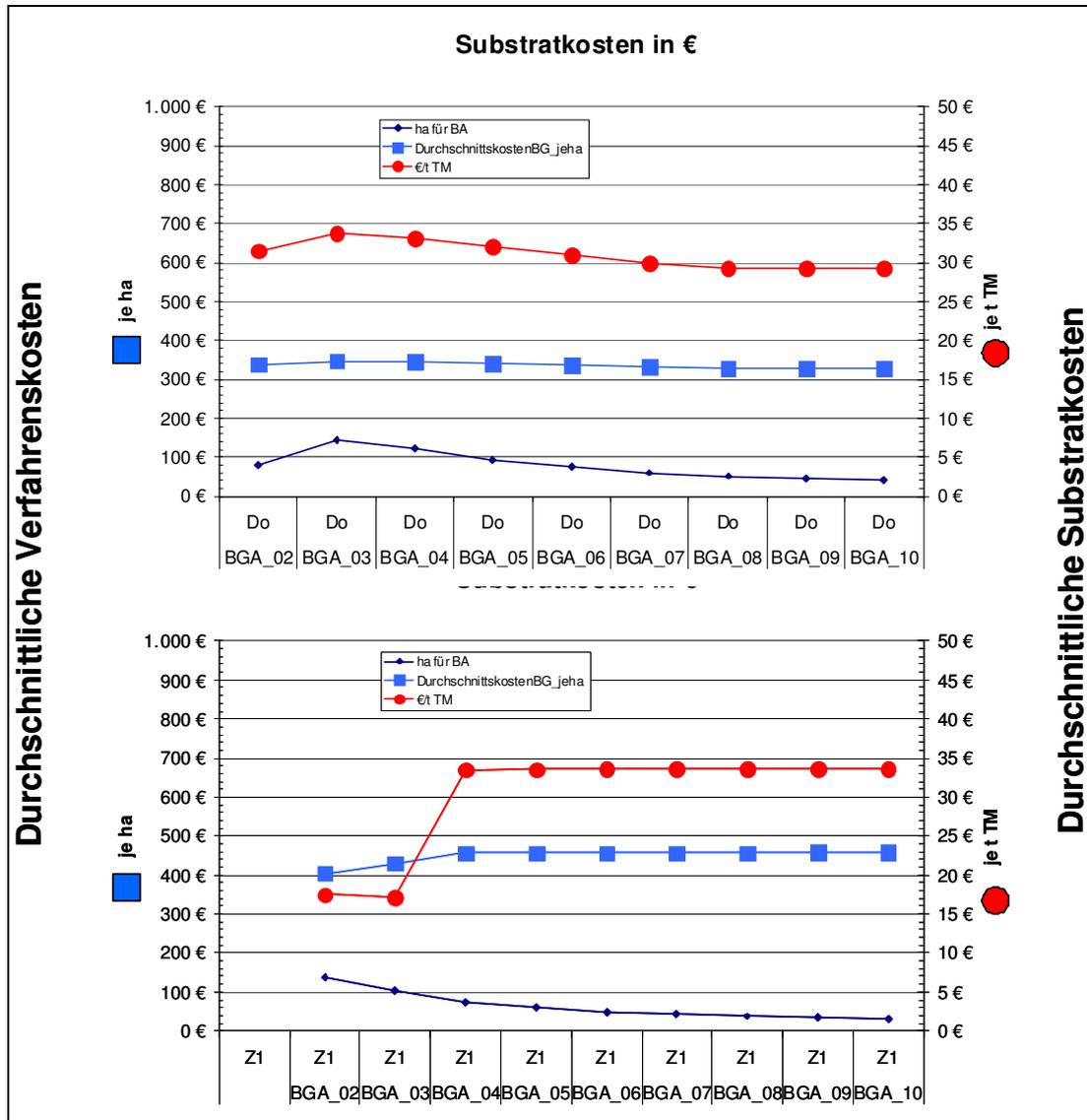


Abb. 3-37: Betriebe Do (250-kW-BA) und Z1 (500-kW-BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens- und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogausausbeute zum Preisniveau 1,0

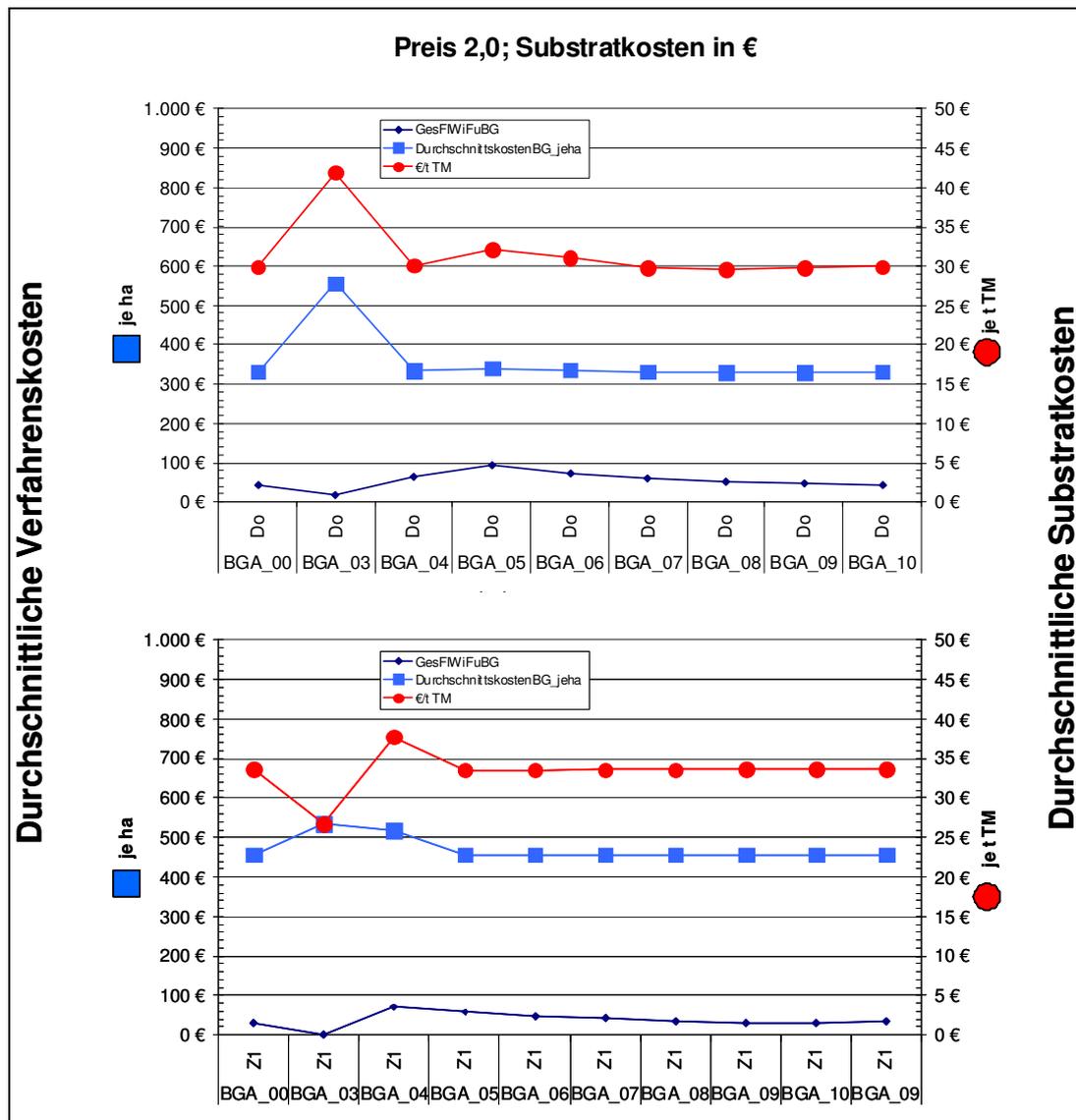


Abb. 3-38: Betriebe Do (250-kW-BA) und Z1 (500-kW-BA + Tier): Durchschnittliche Verfahrens- und Substratkosten sowie von der Biogasanlage beanspruchte Fläche (unterste Linie, linke Skala in ha) bei einer Parametrisierung der Biogausbeute zum Preisniveau 2,0

Fazit:

Der flächenstarke Betrieb (Zi) zeigt stabile Substrat- und Verfahrenskosten pro Mengen- und Flächeneinheit im oberen BGA-Bereich (BGA 0,7 bis 1,0). Die Abnahme der Biogausbeute (BGA) ist bis zu 30 % möglich und hat auf die verwendeten Energiepflanzen-Produktionsverfahren wenig Einfluss. Auch die Änderung der Marktpreise verursacht kaum Reaktionen.

Als Reaktion des Energiepflanzenanbaubetriebs Do auf sinkende Biogausbeuten zeigen sich trotz stabiler Produktionskosten leicht ansteigende Substratkosten/ha. Die Verdoppelung der Marktpreise hat lediglich eine Anhebung der Substratkosten um ca. 1 €/t TM zur Folge.

3.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Modellierungsphase C

- Das **ökonomische Ergebnis** hängt entscheidend von den realisierten Biogasausbeuten und verausgabten Investitionskosten in der Anlage ab.
- Neue Energiepflanzen-Produktionsverfahren geben aufgrund höherer Methanhektarerträge Flächen für Marktfrüchte frei.
- Durch steigende Flächenopportunitätskosten – infolge einer Abnahme der Biogasausbeute oder höheren Preise – werden verstärkt auch Produktionsverfahren verwendet, die trotz höherer Kosten eine größere Flächeneffizienz ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$) aufweisen.
- Größere Betriebe mit unterschiedlichen Betriebszweigen können flexibler auf steigende Marktpreise und geringere Biogasausbeuten reagieren:
 - bei aktuellem Preisniveau Rentabilitätsprobleme nur bei sehr niedrigen Biogasausbeuten,
 - bei ausreichenden BGA Gewährleistung der Anlagenrentabilität auch bei weiteren Preissteigerungen von 50 % gegenüber dem aktuellen Preisniveau.
- Das **ökologische Ergebnis** hängt entscheidend von den zugrundeliegenden Kulturen, Produktionsverfahren und Fruchtfolgen ab.
- Biotische Potentiale beim Energiepflanzenanbau (Biogas) sind deutlich größer als beim traditionellen Anbau.
- Die neuen Energiepflanzen-Produktionsverfahren müssen hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen weiter untersucht und bewertet werden.
- Betriebe mit einer Biogasanlage und ausreichender Flächenausstattung haben eine weitere Fruchtfolge als reine Marktfruchtbetriebe.
- Die Projektergebnisse bestätigen das Potenzial von Anbausystemen für Biogasanlagen zur Auflockerung der Fruchtfolge.

3.4 MODAM-Anwendungen auf spezielle ökologische Modellierungsaufgaben – Trade-offs

Eine Anwendungsmöglichkeit von MODAM besteht in der Darstellung von Änderungen der Kosten/Deckungsbeiträge und Produktionsverfahren/Anbauweise, sobald positive Trade-offs in die Lösung gezwungen werden. Festgelegte Mindest-Zielerreichungsgrade (als Verringerung eines bestimmten Risikos) können einem Planungsziel zugeordnet und in ihren monetären, pflanzenbaulichen und betriebsorganisatorischen Auswirkungen untersucht werden.

3.4.1 Anwendungsfelder (Modellierungsphase D)

Ausgangspunkt für die im folgenden Kapitel kurz vorgestellten weiteren Berechnungen innerhalb der Modellierungsphase D bildeten Anregungen und Ergebnisse des Abschlussworkshops. Es soll aufgezeigt werden, wie die Modellierung als Empfehlungsgrundlage zur Ausgestaltung von Produktionssystemen beitragen kann. Durch die Modellierungsarbeiten und -entwicklungen während des Projekts konnten zunehmend eine an Biogasanlagen angepasste spezielle Betriebsführung und veränderte

Betriebssituationen berücksichtigt und damit die Ergebnisse weiter verbessert werden. Das Modell bietet daher gute Anwendungsmöglichkeiten für besondere ökologische Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Biogasanlagenbetrieb.

Die bisher allgemein formulierten Ergebnisse zu den ökologischen Zielerreichungsgraden anhand des vorgestellten Indikatorensets sind dabei umso besser zu analysieren, je besser die speziellen Bedingungen bekannt und im Voraus formuliert sind. Vor allem, da die zunächst vom Modell errechneten durchschnittlichen Gesamt-ZEG über den Betrieb keine aussagefähigen Bewertungen zulassen, sobald gegenläufige Umwelt-Effekte hineinspielen (z.B. die Bewertung von Wassererosion und Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von der Bodendeckung).

Als Beispiel soll eine der wesentlichen Hypothesen dieser Arbeit „Synergieeffekte infolge des Betriebens von Biogasanlagen sind möglich“ analysiert werden.

Als Synergieeffekt des Energiepflanzenanbaus war hier zu definieren: Eine neutrale bis positive Entwicklung des Deckungsbeitrags (infolge gleichbleibender oder verminderter Kosten bzw. gehaltene oder höhere Leistungen) bei steigenden ökologischen Zielerreichungsgraden (ZEG)⁵⁵.

Zur Prüfung obiger Hypothese ist folgendermaßen vorgegangen worden:

Anhand der bisherigen Projektergebnisse konnte eine Auswahl geeigneter Indikatoren getroffen werden. Die dargestellten Szenarienmodellierungsläufe boten Auskunft über die Fragen, wo überhaupt ein besonderer Einfluss des Energiepflanzen-Anbaus auf ökologische Parameter besteht bzw. wie bedeutend dieser Einfluss sein kann.

3.4.2 Modellimmanente Einschränkungen bei der Auswahl des Anwendungsfeldes

Es musste zunächst eine Auswahl derjenigen Indikatoren getroffen werden, die geprüft werden sollen. Als geeignete Bewertungsmaßstäbe für ein praxistaugliches Anwendungsbeispiel boten sich nach eingehender Analyse **die abiotischen Ziele und Indikatoren** an. Dies insbesondere deshalb, weil hiermit stärker einem modellimmanenten Problem begegnet werden konnte.

Um ein langjähriges Modell an die Erfordernisse neuer Aufgaben anzupassen und zukunftstauglich zu machen, entsprachen die neu erhobenen Daten zu Produktionsverfahren einem neuen Design. Nicht alle mit diesen Änderungen zusammenhängenden Verrechnungsschritte konnten jedoch angepasst werden. Erst im Verlauf der Ergebnisinterpretation machte sich diese unterschiedliche Formulierung von Produktionsverfahren bemerkbar. Leider konnte eine Datenbankabfrage zur Übersetzung von der neuen dekadischen Terminbezeichnung in das vorherige Zeitrumschema (Bearbeitungszeiträume) nicht zielführend in das Modell eingefügt werden. In der Folge sind die vom Modell ausgewiesenen Auswirkungen der neuen Energiepflanzenverfahren auf einige Aspekte der **Biotik** (Flora, Fauna) nur bedingt mit denjenigen der Standardverfahren zu vergleichen. Die Angabe von Terminen als (Tages-) Dekaden innerhalb der Energiepflanzenverfahren führte infolge der Verrechnung im Modell zu weniger potenziellen

⁵⁵ Entscheidungen über die Höhe von ökologischen Verbesserungen, die eine Bezeichnung als Synergieeffekt rechtfertigen könnten, waren Diskussionen innerhalb der Fachgespräche vorausgegangen. Diese bildeten den Ausgangspunkt für die Formulierung von Modell-Restriktionen, mit denen eine Verbesserung von ökologischen Bedingungen erreicht werden könnte.

Störungen und damit tendenziell zu besseren Bewertungen als die bei den Standardverfahren analog zu den Arbeitszeitspannen formulierten längeren Zeiträume.

Für die Auswahl des Anwendungsfeldes boten sich demnach sinnvollerweise diejenigen **abiotischen** Indikatoren und Ziele an, bei denen stärker absolute Inputgrößen wie z. B. Durchführungshäufigkeit und Aufwandsmengen von Pflanzenschutz- und Düngemitteln betrachtet werden.

Diese sind besonders relevant, da die Betriebe in Brandenburg (im Untersuchungsraum) auf überwiegend stark sandigen Böden mit hoher Durchlässigkeit wirtschaften. Die Gefahr einer NO_3^- oder PSM-Auswaschung mit Hilfe einer (ökologischen, abiotischen) Restriktion zu verhindern und die ökonomischen Folgen aufzuzeigen, wurde daher das Ziel der Modellierungsanwendung.

Die neu strukturierten Formulierungen der Ausgangsdaten innerhalb der Energiepflanzenverfahren machten zwar auch im Bereich der **Abiotik** eine kritische Analyse notwendig. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass die Neuformulierungen, obwohl sie einen insgesamt moderneren Pflanzenbau widerspiegeln (z.B. Splitdüngung oder kombinierte Anwendungen), zu keinen systemimmanenten Verrechnungsungleichgewichten führten. Für die folgende Modellierung von ökologischen Trade-offs wurden deshalb NO_3^- -Auswaschungsgefährdung und PSM-Aufwand ausgewählt.

Entsprechend der Synergie-Hypothese soll überprüft werden, ob die von vielen formulierte Ansicht, dass mit den neuen Energiepflanzen-Verfahren ein geringerer Düngemittel- und PSM-Aufwand verbunden ist, zutrifft bzw. durch die Modellberechnungen bestätigt werden kann (vgl. auch Hufnagel 2007; Peters 2007, Scheuerlen und Reinhardt 2004).

3.4.3 Auswirkungen von abiotischen Restriktionen auf die DB der Betriebe

Das abgeleitete und weiterführende Anwendungsbeispiel in diesem Kapitel betrachtet die Frage, wie sich die ökonomische Kennzahl Deckungsbeitrag (DB) ändert, wenn einzelne ökologische Zielerreichungsgrade (ZEG) als Restriktion in die Berechnungen aufgenommen werden.

Das Einsetzen einer Restriktion in den Modellierungsalgorithmus bewirkt das Aushebeln der ökonomischen Optimierungsvorschrift: Es kommen nicht mehr allein die betriebswirtschaftlich sinnvollsten Verfahren in Lösung, sondern nur die jeweils ökonomisch besten, mit einem den Restriktionen entsprechend hohen ZEG. Die Ergebnisse und Bewertungen gehen daher strenggenommen über das Feststellen einfacher Synergieeffekte hinaus. Es wird aufgezeigt, wie hoch die Kosten (DB-Verluste) infolge einer Aufnahme von ökologischen Zielen in einem Anwendungsfeld sein können, in dem die Verwendung von Energiepflanzen-Verfahren zunächst einmal interessant erscheint.

Tab. 3-10: Datengrundlage für die Analyse der Modellierungsläufe hinsichtlich ökologischer Restriktionen

Szenarien	NO_3 alle	NO_3 min	PSM_alle	PSM_min	DATA
BGA 1,0	X	X	X	X	LP_biog...GU_2
BGA 0,7	X	X	X	X	LP_biog...GU
Preis 2,0		X		X	LP_biog...GU

In den folgenden Darstellungen wurde eine starke ökologische Restriktion eingesetzt, in der die Betriebe nur noch Verfahren mit einem NO₃-Mindest-ZEG von 0,5 verwenden durften⁵⁶. Die Szenarien-Ergebnisse zeigten, dass das Modell relativ unflexibel auf vorgeschriebene Lösungen reagiert.

Tab. 3-11: Ausgangswerte für DB-Gesamt Betriebsfläche und DB pro Hektar (für Analyse Änderungen infolge der ökologischen Restriktionen in folgenden Tabellen und Abbildungen)

Betrieb	K0	K1	K2	K3	Do	Ki	Z1	Z2	Z3
DB-Ges. T€	45	283	327	133	181	319	2.767	2.909	3.171
ha	200	200	200	200	250	1.180	3.850	3.850	3.850
DB € /ha	226	1.413	1.633	663	723	271	719	756	824

„Festlegung des ZEG für NO₃-Auswaschung ins Grund- und Oberflächenwasser auf minimal 0,5“ und Variation der Biogasausbeute um 30 % und Marktpreise zur Abschätzung möglicher Schwankungen infolge der Änderung von Rahmenbedingungen

Als Szenarien (Unterschiede in festgelegten Rahmenbedingungen) wurden gerechnet:

- ☉ Alle Produktionsverfahren sind für die Betriebe verwendbar.
- ☉ Nur die Verfahren mit einem Mindest-ZEG von 0,5 für NO₃ dürfen verwendet werden.
- ☉ Alle Verfahren sind verwendbar besitzen, jedoch eine geringere Biogasausbeute (BGA bei 70 %).
- ☉ Nur die Verfahren mit einem Mindest- ZEG von 0,5 für NO₃ sind verwendbar, jedoch werden von Marktfrüchten Preise mit dem Faktor 2 erzielt.
- ☉ Nur die Verfahren mit einem Mindest-ZEG von 0,5 für NO₃ werden verwendet, wobei sie lediglich eine Biogasausbeute von BGA 70 % erreichen.

⁵⁶ Das Vorhandensein geeigneter Verfahren zeigte eine Auswertung der Datenbank: Ein ZEG von 0,5 sowohl für PSM als auch für NO₃ wurde jedoch nur von weniger als der Hälfte der Standard-Verfahren erreicht (Von insgesamt 563 Verfahren erreichten 217 Verfahren (< 40 %) den PSM-Wert und nur 165 (< 30 %) den NO₃-Wert). Für Energiepflanzen-Verfahren lag der Anteil geringer. Für PSM und NO₃ bei < 30 %.

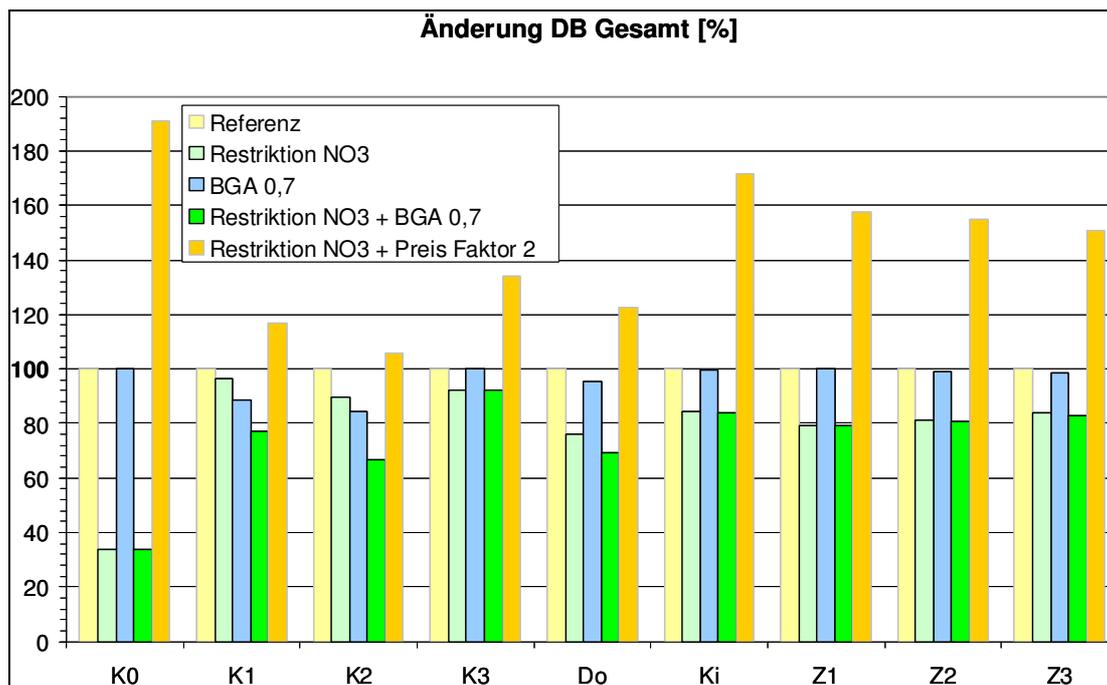


Abb. 3-39: Szenarienrechnungen zur Abschätzung der Änderungen des Gesamt-Deckungsbeitrags (DB) der Betriebe in % infolge der ökologischen Restriktion ZEG NO₃ < 0,5.

Die obige Abbildung verdeutlicht, dass die ökologische NO₃-Restriktion zu besonders starken DB-Änderungen auf dem reinen Marktfruchtbetrieb führte. Der DB von Betrieb K0 fiel auf unter 40 % gegenüber demjenigen ohne Restriktion. Betriebe mit einer Biogasanlage oder Tierproduktion hatten nur DB-Verluste in Höhe von 10–20 % zu verkraften, natürlich verstärkt bei nur geringen Biogasausbeuten der Substrate. Dagegen profitierten Betrieb K0 bzw. Betriebe mit hohem Marktfruchtanteil bei einem Preisanstieg stärker als die Veredelungsbetriebe (mit BA oder Tierhaltung).

Anhand der Änderungen des durchschnittlichen Deckungsbeitrags pro Hektar wird deutlich, dass eine derartig vorgeschriebene Bewirtschaftung der Flächen von Betrieben mit einer Biogasanlage und extensiven Produktionsverfahren relativ besser abgepuffert werden können. Trafen die ökologischen Anforderungen zusammen mit einer schlechten Biogasausbeute, wurden die DB zwischen 30 und 70 % vermindert.

Anhand der Änderungen des Deckungsbeitrags (DB €/ha) ist ersichtlich (s. folgende Tabelle), dass bei den Standardbetrieben DB-Verluste infolge einer verringerten Biogasausbeute stärker ins Gewicht fallen als eine ökologische Restriktion bei Verfahrensauswahl. Wie auch oben schon gezeigt, können hierfür z. T. die guten Biogasausbeuten der verwendeten Luzerne-PV bei gleichzeitig hohem ZEG für NO₃ verantwortlich zeichnen. Die Praxisbetriebe mit ausreichender Flächenausstattung (Ki, Zi) können eine Abnahme der Biogasausbeute wirtschaftlich fast vollständig und damit wesentlich besser kompensieren als eine erzwungene Einschränkung der anbauwürdigen Produktionsverfahren.

Tab. 3-12: Änderungen des DB in €/ha für die Betriebe infolge der angesetzten ökologischen Restriktionen

Szenario	K0	K1	K2	K3	Do	Ki	Z1	Z2	Z3
Restriktion NO₃	-150	-54	-170	-52	-173	-43	-150	-140	-134
BGA 0,7	-	-163	-252	-	-34	-1	-2	-8	-11
Restriktion NO₃ + BGA 0,7	-150	-26	-540	-52	-224	-44	-151	-146	-143
Preis Faktor 2	206	239	91	227	164	194	414	413	416

4 Diskussion und Empfehlungen

4.1 Auswirkungen neuer Energiepflanzen auf Ökologie und Naturschutz

Die Bewertung der Auswirkungen von einzelnen Kulturpflanzen (bzw. deren Produktionsverfahren) auf ökologische Aspekte orientiert sich an Umweltindikatoren. In der Literatur erfolgt eine Risikoeinstufung der Umweltwirkungen häufig durch folgende Parameter (Fritsche et al. 2004, Reinhardt et al. 2004, EEA 2006, SRU 2007):

- Bodenerosion,
- Bodenverdichtung,
- Nitratauswaschung
- Pestizideinträge,
- Wasserverbrauch,
- Auswirkung auf die Biodiversität.

Auch die Bewertungen der Umwelteffekte beispielhafter Energiepflanzen orientieren sich weitestgehend an den Schutzgütern Boden, Wasser, Luft/Klima und Flora/Fauna (vgl. Kaltschmitt et al. 2003, Rode et al. 2005, SRU 2007, UN-Energy 2007, Peters 2007). Bewertungen der EMPA-Studie (Zah et al. 2007) sind stärker auf eine Ökobilanz ausgerichtet und berücksichtigen zusätzliche Parameter wie Treibhausgas(THG)-Emissionen, kumulierten nicht erneuerbaren Energieaufwand, Smog, Eutrophierung und Ökotoxizität.

Diese Arbeit greift die wichtigsten Anregungen auf, indem sie die kritischen Bereiche im Zusammenhang mit einem steigenden Energiepflanzen-Anbau „Verlust biologischer Vielfalt“ und „Steigerung der Intensität“ in den Fokus der Betrachtung stellt.

Aktuell diskutierte Forderungen zur naturverträglichen Gestaltung des Biomasseanbaus

Ausgangspunkt für die Feststellung von Handlungsbedarf und die unten dargestellten Forderungen bildet eine beobachtete oder befürchtete Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion. Mit dem Biomasseanbau in Verbindung gebracht wird dabei insbesondere die Fruchtfolgeverengung durch hohen Maisanbau in einigen Gebieten. Dieser Trend ist dabei in eine generelle Intensivierung der Landwirtschaft eingebettet, die nicht zuletzt auf die Preisentwicklung für landwirtschaftliche Güter in den letzten zwei Jahren zurückzuführen ist. Erkennbar wird dieser Trend vor allem an einem Rückgang der Brachflächen (auch der landwirtschaftlichen konjunkturellen Flächenstilllegung) und deren Funktionen für Natur und Landschaft⁵⁷ (Kulturartenvielfalt und Landschaftsstruktur).

Die Debatte zur landschaftlichen Auswirkung des Biomasseanbaus wird aktuell durch die Diskussion um die Einführung von naturschutzfachlichen Anforderungen bzw. Mindest-

⁵⁷ So ist allein von 2003 bis 2006 ein Rückgang der Flächenstilllegung in Brandenburg von 25 % zu verzeichnen gewesen (MLUV 2007). Diese Zahl hat sich mit Sicherheit weiter erhöht und ab 2007 wurde die europaweit geltende Verpflichtung zur Flächenstilllegung außer Kraft gesetzt.

standards für den Anbau von Biomasse zur Vermeidung von Umweltgefährdungen bestimmt (z.B. SRU 2007, DLG und WWF 2006, NABU 2006, DRL 2006). Den gemeinsamen Nenner der Forderungen stellen die konsequente Anwendung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft und die Einhaltung der Kriterien von Cross Compliance dar, da sich abzeichnet, dass unter den gegebenen Rahmenbedingungen die dort formulierten Anforderungen nicht ausreichend sein könnten. Dies trifft insbesondere auf die Anforderungen zum Erhalt des Grünlandes zu. Ursache für die Möglichkeit eines regional in größerem Maße stattfindenden Grünlandumbruchs ist, dass in den meisten Bundesländern der Handlungszwang, der bei 5 % Änderungen ansetzt, für das gesamte Bundesland gilt⁵⁸. Auch bei den Anforderungen zur Fruchtfolge ist theoretisch ein bis zu 70%er Maisanteil in der Fruchtfolge möglich (dreigliedrige Fruchtfolge (FF), aber Anteil eines FF-Glieds bei min. 15 %). Möglichkeiten zur Konfliktminderung zwischen Naturschutz und Biomasseanbau diskutieren u.a. Peters und Wachter (2007) und Haber (2007). Darüber hinaus werden das Verbot des Einsatzes von gentechnisch veränderten Kulturen und die Vermeidung von Flächenkonkurrenzen mit dem Naturschutz sowie die Bedeutung der Landnutzung für die CO₂-Speicherung von Böden (z.B. Billen und Angenendt 2007) debattiert.

⁵⁸ Die Verpflichtung wird in Deutschland auf Länderebene umgesetzt. Jedes Bundesland ist verpflichtet, jährlich den Anteil Dauergrünland an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche zu ermitteln (Grundlage sind Anträge für Direktzahlungen) und mit einem Basiswert (Flächenanteile 2003 zuzüglich der 2005 gemeldeten) zu vergleichen. Sollte sich der Grünlandanteil gegenüber dem Basiswert um mehr als 5 % verringern, ist das Land verpflichtet, eine Verordnung zu erlassen, nach der ein Umbruch von Dauergrünland einer vorherigen Genehmigung bedarf. Bei Verringerungen um mehr als 10 % muss das Land Direktzahlungsempfänger verpflichten, evtl. umgebrochenes Land wieder einzusäen oder neues Grünland auf anderen Flächen anzulegen.

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht mit geforderten Mindeststandards, die für Naturschutz- und Umweltziele relevant sind.

Tab. 4-1: Naturschutzfachliche Anforderungen an den Biomasseanbau

Anforderungen an den Biomasseanbau	Quelle
- Verbot des Umbruchs von Dauergrünland	z.B. SRU (2007), Ammermann, K. (2007), Schöne, F. (2007) NABU (2006), Stein et al. (2007)
- Kurzumtriebsplantagen/Anlage von Gehölzstreifen zur Diversifizierung der (gering strukturierten) Landschaft	z.B. DLG und WWF (2006), Ammermann, K. (2007)
- wegen Landschaftsbild Anlage von Kurzumtriebsplantagen erlaubnispflichtig machen	DRL (2006)
- Fehlentwicklungen (EE-Gesetz) korrigieren (z.B. Maisanteil begrenzen)	Stellungnahme NABU in Meyer-Marquart et al. (2007)
- dezentrale Anlagen stärken	Stellungnahme NABU in Meyer-Marquart et al. (2007), DLG und WWF (2006), Schöne, F. (2007) (NABU)
- kurze Transportwege	
- Nachweis einer ökologischen Ausgleichsfläche (z.B. Saumstrukturen, Blühstreifen, Feldgehölze, Extensivgrünland) in Höhe von mindestens 5 ha pro 100-kW-Anlagenleistung bzw. 10 % der Betriebsfläche	
- ökologischer Ausgleich für die Nutzung von Stilllegungsflächen	Stein et al. (2007)
- bezüglich Standortsuche für Biomasseanlagen stärkere Regionalisierung und räumliche Differenzierung über Landes- und Regionalplanung	DRL (2006)
- Land- und forstwirtschaftliche Strategiepläne für Energiepflanzenanbau	
- Abstimmung und Anpassung von wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die einen standortangepassten Anbau auf Grenzertragsstandorten mit dem Ziel der Offenhaltung der Landschaft durch energetische Verwertung ermöglichen/unterstützen	Ammermann, K. (2007)

4.2 Energiepflanzenanbau und biologische Vielfalt

Die biologische Vielfalt in Landschaften gilt als ein wesentliches Qualitätskriterium und wird von dem Vorhandensein spezieller Lebensräume und von deren Qualität unmittelbar geprägt. Da die Art und Intensität der Landnutzung diese Lebensräume beeinflussen, ist eine Analyse und Vorhersage der Auswirkungen des Energiepflanzen-Anbaus für Biogasanlagen auf die biotischen Komponenten der Landschaft von Bedeutung.

Aussagen zur nachhaltigen Entwicklung von Biodiversität und Lebensraumfunktionen müssen sich derzeit u.a. an folgenden Prämissen orientieren⁵⁹:

- ☉ Das Vorkommen und die Verbreitung von wildlebenden Organismen in Agrarlandschaften ist sowohl von der naturräumlichen Ausstattung und den standörtlichen Eigenschaften als auch deren Wechselwirkungen mit der Landschaftsnutzung abhängig.

⁵⁹ Zum ZALF Schwerpunktthema Biodiversität: Werner, A. und Dathe, H.

- Die Qualität der Lebensräume für wildlebende Arten wird von Struktur und Art der Landschaftsnutzung beeinflusst.

Folgende Naturschutzaspekte in Verbindung mit dem Anbau von Energiepflanzen sollen daher im Folgenden diskutiert werden:

1. Erhaltung/Schaffung von Artendiversität und Lebensraumqualität, Auflockerung von Fruchtfolgen, Vermeidung von uniformen Behandlungen und Terminen.
2. Biotopvernetzung, Erhalt vorhandener Biotope, Saumstrukturen (Hecken oder Neuanlage von Schnellwuchsplantagen im Biogasbereich weniger einsetzbar).
3. Sensible Gebiete, NawaRo auf Stilllegungsflächen

4.2.1 Chancen und Risiken der Energiepflanzen für den Artenreichtum

Der Anbau von einjährigen Energiepflanzen, der zur **Aufweitung der Fruchtfolge** führt, kann als ein Beitrag zur Biodiversität angesehen werden. Die Modellrechnungen ergaben den Zusammenhang, dass, solange ein Betrieb ausreichend dimensioniert ist (ca. > 0,5 ha/kW BHKW-Leistung⁶⁰) und die Substratproduktion für die Methanherzeugung den Anbau von Futtermitteln zur Tierproduktion oder den Marktfruchtanbau nicht nur ersetzt, eine Aufweitung der Fruchtfolge infolge der Betriebszweigdiversifizierung durch die Biogasanlage erfolgt.

Die Chancenumsetzung in Form eines Beitrags zur **Biotopvernetzung** durch z. B. mehrjährige Energiepflanzen konnte aufgrund ungünstigerer ökonomischer Kennzahlen der Grasmischungen etc. (vgl. Kap. 3.1) innerhalb der Szenariorechnungen nicht beobachtet werden. Sehr wohl führten jedoch anderweitige Anbaubeschränkungen zum Anbau mehrjähriger Kulturen wie der Luzerne. Die Nutzung der Biomasse aus der **Landschaftspflege**, die durch ihren Kostenbeitrag eine Grundlage zum Erhalt darstellen könnte, wurde infolge der untersuchten Anlagenkonzeptionen (Nassfermentation, aber vor allem Bauart der Zerkleinerungs-, Leitungs- und Rührtechnik) nicht explizit bewertet, die Bedingungen zur Implementierung sind jedoch diskutiert worden (s. auch DVL 2008).

Auch die Entwicklung von neuen Verfahren, wie standortangepasste „Robust“- Arten und Sorten, Kulturartenmischungen (Stockwerkaufbau), Zweikulturnutzungssysteme, und Zwischenfrüchte, die alle einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung oder Verbesserung von **Lebensraumfunktionen**⁶¹ leisten könnten, erfordern weitere Forschung zur Beschreibung der ökologischen Folgen, aber vor allem eine Beratung und ökonomische Begleitung bei ihrer Anwendung.

Als **Hauptrisiko** der in diesem Projekt untersuchten neuen Verfahren sind negative Auswirkungen auf die Biotik zu nennen⁶²:

Häufigere oder frühere Ernte, Totalherbizide bei den Direktsaatverfahren, schnellerer Fruchtartenwechsel, häufigere Mahd bei Grünland, Arbeitszeitspannen bei Getreide-GPS, die in Haupt-Brutzeiträume fallen, führen zur Störung oder gar Auflösung eines

⁶⁰ Vgl. Kap. 3.3.3: Weniger angebaute Kulturarten infolge stärkerer Flächenbeanspruchung bei Abnahme der Biogasausbeute (Parametrisierung BGA).

⁶¹ Vgl. auch die Ausführungen zum möglichen Beitrag von Energiepflanzen zur Senkung der Intensität.

⁶² Vgl. Kap. 3.2, Details zu den Anbauverfahren siehe Anhang.

Lebensraumes (Ernte, Neubestellung), dem Verlust von Deckung und der Zerstörung der Gelege sowie dem Aufpflügen von Bodentieren.

Sofern diese zunächst ungünstigen Nutzungsformen ausreichend kleinräumig, d.h. mosaikartig in der Landschaft vorkommen, könnte der Energiepflanzen-Anbau zur Bildung eines größeren Potenzials beitragen (Vergrößerung des Nahrungsangebots von eher räuberischen Populationen infolge einer insgesamt höheren Biomasseproduktion).

Ein weiteres Risiko besteht in der überwiegenden Ausrichtung der Biogas-Substratproduktion über das Anbauverfahren Silomais. Untersuchungen zur Zunahme des Maisanbaus zeigen, dass die Anbaufläche des Maises im nationalen Gesamtumfang von 2007 ca. das Niveau seiner Hochphase zu Beginn der Neunzigerjahre erreicht hat. Neben der Gefahr von Monokulturen auf die Vielfalt ist hierbei der Aspekt der Standorteignung von Bedeutung. Eine Naturverträglichkeit ergibt sich dabei aus der Beeinträchtigungsintensität einer Kulturpflanze und der Empfindlichkeit des Standortes. Die Risikoeinstufung von Mais führt dabei zur Ableitung von Nutzungsaufgaben (z. B. auf stark geneigten Flächen sind zur Erosionsvermeidung mindestens 40 % der Ackerfläche zwischen Dezember und Februar bewachsen zu halten)⁶³.

4.2.2 Kulturartenvielfalt und die Fruchtfolgerestriktionen in MODAM

Wie die Modellergebnisse zeigten, kam eine der Hauptwirkungen auf die unter ökonomischen Gesichtspunkten verwirklichte Vielfalt infolge von modellimmanenten Anbaurestriktionen zustande. Auch wenn diese primär gewählt wurden, um die nachhaltige, auf dem guten Zustand des Bodens gegründete Existenz der Betriebe nicht zu gefährden, kann die Verarbeitung von Fruchtfolgerestriktionen⁶⁴ innerhalb der linearen Programmierungsschritte im Resultat auch als die Erstellung von vorgegebener ökologischer Leistung bei minimalen Kosten (Gewinnmaximierung) gesehen werden. Die Modellierungsarbeiten innerhalb des Projekts nahmen insofern eine wichtige Forderung (Mais-Höchstanteil von 50 %) im Zusammenhang mit dem Energiepflanzenanbau vorweg (vgl. Kap. 4.1).

Insofern bildet das Modell – infolge der begrenzten Maisfläche – auch die schon deutlich teurere Produktion mit Ausgleichskulturen, wie Luzernesilage, ab. Dabei muss erwähnt werden, dass die Produktionsverfahren entsprechend der Fruchtfolge-Restriktionen formuliert wurden, d.h. Erträge und PSM-Aufwand an die phytosanitär bessere Ausgangslage einer weiteren FF angepasst wurden.

Wie in folgender Tabelle dargestellt, zeigen Kontrollrechnungen, bei denen das Fruchtfolge-Modul ausgeschaltet wurde, Gesamtdeckungsbeitragsverluste. Diese fielen auf denjenigen Modell- und Praxisbetrieben, welche sowohl eine Biogasanlage als auch Tierhaltung betrieben, nur gering aus (zwischen 1 und 2 %). Bei dem reinen Marktfruchtbetrieb K0 jedoch, traten mit 9 % die höchsten DB-Minderungen auf.

⁶³ Vgl. Heißenhuber et al. 2007.

⁶⁴ Im Modell nach Roth u. Steinbrenner 1992

Tab. 4-2: Einfluss der Fruchtfolge-Restriktionen im Modell auf die Deckungsbeiträge der Betriebe in €. Szenario **Epfl_BASIS** ohne Fruchtfolgemodul gerechnet.

	Gesamtdeckungsbeitrag						
	Do	K0	K1	K2	K3	Ki	Z1
mit FF-Restriktionen (€)	180.790	45.233	282.582	326.590	132.588	319.374	2.767.220
ohne FF-Restriktionen (€)	182.789	49.311	283.893	331.116	133.091	319.406	2.811.421
Änderung Ergebnis (%)	101,1	109,0	100,5	101,4	100,4	100,0	101,6

Es sei betont, dass diese 50 %-Begrenzung innerhalb der Modellrechnungen die Anbaumöglichkeiten innerhalb der EU-Regelungen von Cross Compliance nicht voll ausschöpft. Hier könnte es zu einem Anteil von 70 % einer Kulturart innerhalb einer Fruchtfolge kommen, da die Cross-Compliance-Bestimmungen lediglich fordern, dass die Fruchtfolge auf den Ackerflächen aus mindestens drei Kulturen mit einem Mindestflächenanteil von jeweils 15 % besteht⁶⁵, wobei sich ggf. dieser Mindestflächenanteil durch Zusammenfassen mehrerer Kulturen zu einer Gruppe erreichen lässt. Eine derartige Extremfruchtfolge zur Produktion von Biomasse für eine installierte Biogasanlage könnte folgendermaßen aussehen: **70 % Mais** (nach Mais oder Roggen-GPS), **15 % Roggen-GPS** vor Raps (bis zu 70 % als Winterzwischenfrucht vor Mais möglich), **15 % Raps**.

Im Folgenden werden dem Fruchtfolgen gegenübergestellt, wie sie für den Anbau von Energiepflanzen empfohlen werden oder in der Praxis anzutreffen sind. Andere Beispiele für vereinfachte Energiefruchtfolgen sind **Roggen-Mais** (Voraussetzung: ausreichend Wasser, Wärme, Vegetationszeit), und auf Standorten mit Sommertrockenheit **Roggen-Sonnenblumen/Hirse** oder eine Kombination aus **abfrierender Winterzwischenfrucht-Mais** (auf Standorten mit Wassermangel). In Brozio u. Müller (2006) werden, nach Bodenqualität unterschieden, zwei typische Fruchtfolgen angeführt, wobei jeweils nur der Silomais in der Biogasproduktion Verwendung findet: Auf leichten Böden (Ackerzahl bis 35) wird für die Biogasproduktion eine Fruchtfolge aus **Silomais-Winterroggen-Wintergerste-Winterraps** verwendet. Auf mittleren bis besseren Böden (Ackerzahl höher 35) eignet sich **Silomais-Winterweizen-Winterraps-Winterweizen**. In Mast (2006) wird eine reine Energiefruchtfolge empfohlen, die aus **Rübsen-Mais-Roggen-Hirse** besteht. Im Projekt wurde folgende sehr aufwandsreduzierte Fruchtfolge eines **mehnjährigen Roggen** diskutiert: Ausfallkörner nach Ernte einer Populationssorte, in drei Jahren nur einmal (oder zweimal) flach grubbern, insgesamt nur wenig Herbizide gegen Beikräuter, im vierten Jahr **Winterraps** und eine starke Bekämpfung der Gräser.

Als weiteres neues Minimalverfahren wurde ein Zweinutzungssystem **Mais** nach **Futterroggen** diskutiert. Als Besonderheit kann der Verzicht auf erneute Aussaat von Roggen und die nur geringe ausgebrachte Menge Mineraldünger von 20 kg N/ha angesehen werden. Der Hauptanteil an der Düngung hat mit ca. 17–20 m³ Gülle/Gärrest. Ein Problem dieses **Minimalverfahrens mit Ausfallroggen** stellt die zeitige Entwicklung des Roggens im Herbst dar. Er geht fast schon mit Ähren in den Winter, weshalb auf eine ertragsfördernde

⁶⁵ Werden diese Mindestflächenanteile nicht erreicht, so gelten z. B. die Regelungen zur Erstellung einer Humusbilanz. Für selbstverträgliche Kulturarten, wie Mais oder Roggen, könnte dies auf einzelnen Schlägen Wechsel-Monokulturen (Roggen/Mais) innerhalb eines Jahres oder bei Zwischenfruchtanbau auch über mehrere Jahre bedeuten.

Herbstdüngung (welche ihn jedoch noch mastiger machen würde) verzichtet und stattdessen eine Maßnahme, wie das Herbststriegeln zum Hemmen der Entwicklung, angewendet werden muss. Eine Verbesserung des Verfahrens läge z. B. in einer zweiten Ernte (nach der Selbstaussaat) des Roggens schon im Herbst.

4.2.3 Fazit zu Auswirkungen des Energiepflanzen-Anbaus auf die biologische Vielfalt

Die Aufnahme des Energiepflanzen-Anbaus in die Betriebe birgt sowohl Chancen als auch Risiken hinsichtlich der biologischen Vielfalt auf den Äckern. Grundsätzlich ist bei der Bewertung von Änderungen durch die neu eingesetzten Verfahren der Vergleich zum vorherigen Zustand zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse aus den mit MODAM erstellten Analysen in verschiedenen Szenarien zeigten, dass wesentliche Änderungen auf die Auswirkungen der Inbetriebnahme von Biogasanlagen zurückzuführen waren. Sie lagen in:

- Abnahme der Stilllegungsflächen, wobei der Trend in weniger flächenstarken Betrieben und bei steigenden Marktfruchtpreisen stärker ausgeprägt war.
- Wechsel von Winterroggen zu Silomais oder Hirseanbau⁶⁶ auf den leichteren Böden (AZKI 25) und dies deutlicher in Wechselwirkung mit geringer Flächenausstattung.

Aus dem Modell konnten somit folgende Verbesserungen bzw. Verschlechterungen der ökologischen Leistungen der Betriebe mit einer Biogasanlage abgeleitet werden:

Verbesserungen:

Vor allem, wenn vor der Biogasanlageninstallation alleiniger Marktfruchtanbau vorherrschte, bieten die Energiepflanzen ein Potenzial für neue Kulturpflanzen bzw. weitere Anbauglieder in der **Fruchtfolge**. Je abwechslungsreicher die Fruchtfolgen, umso stärker der Beitrag der Anbauflächen für die Artendiversität (β -Diversität) auf Landschaftsebene. Zusätzlich können für eine energetische Nutzung völlig neuartige Kulturarten, Sorten und Mischkulturen angebaut werden. Damit können neuartige Habitatbedingungen in Agrarlandschaften entstehen, aber auch alte „vergessene“ Kulturarten zurück in den Anbau gebracht werden. Lebensraum für neue Arten kann entstehen.

Eine Reduktion des **Faktoreneinsatzes** im Rahmen des Energiepflanzenanbaus ist u.a. beim Pflanzenschutz, möglich, weil insbesondere hinsichtlich der Qualität des Erntegutes niedrigere Ansprüche gelten als beim Marktfruchtanbau für z.B. die Herstellung von Lebensmitteln. Dies trifft vor allem für den Einsatz von Fungiziden, Insektiziden und Halmstabilisatoren zu. Insofern keine deutliche Reduktion des Biomasseertrages eintritt, kann auch der Herbizideinsatz abgesenkt, der Aufwand an mineralischer Düngung vermindert und verstärkt reduzierte Bodenbearbeitung eingesetzt werden. Für die auf dem Ackerland wildlebenden Pflanzen und Tiere sind diese Maßnahmen sehr bedeutsam. Ein reduzierter Faktoreneinsatz könnte generell dazu beitragen, die Vielfalt und Individuendichten in allen Artengruppen zu erhöhen, sowohl bei den Beikräutern, Laufkäfern, Spinnen als auch bei den Blütenbesuchern. Darüber hinaus werden dadurch auch die

⁶⁶ Hirse ist aufgrund ihrer Ähnlichkeiten zu Mais bezüglich ihrer Wirkung auf die biologische Vielfalt differenzierter zu betrachten, bis weitere Forschungsergebnisse vorliegen.

Nahrungsketten stimuliert. Felduntersuchungen ergaben, dass eine erhöhte Restverunkrautung, wie sie im Falle eines reduzierten Herbizideinsatzes zu erwarten ist, u.a. die Diversität der Blütenbesucher deutlich befördert (Hufnagel 2007).

Verschlechterungen:

Da viele NawaRo-Biogasanlagen bisher recht einseitige Nutzungskonzepte haben, und als Koferment den bisher wirtschaftlich stärksten Methanlieferanten Mais einsetzen, besteht die Gefahr der **Ausweitung der Silomaisflächen** bis hin zur Mais Monokultur, sollten Anbaubeschränkungen fehlen. Diese Verengung der Fruchtfolgen wirkt stark diversitätsreduzierend.

Auswirkungen der vorgezogenen Erntetermine wie z.B. bei der Zweikulturnutzung (Getreide als Ganzpflanzensilage (z.B. Grünroggen)). Hier erfolgt die erste Ernte zur Hauptbrut- und -aufzuchtzeit vieler Tierarten sowie vor den Aussamungszeiten vieler Pflanzenarten im Mai⁶⁷.

Negative Humusbilanz: Im Energiepflanzenanbau stehen bislang auf den Böden verbleibende Pflanzenreste nicht mehr für eine Humusreproduktion zur Verfügung (Ganzpflanzenerntet). humuszehrende Energiepflanzen verursachen zusätzlichen Humusabbau (Beeinträchtigung Bodenfunktionen, z.B. biologische Aktivität, Verdichtung, geringere Speicher- und Filterkapazität; auch Klimaschutz)

4.3 Energiepflanzenanbau und Intensivierung

Ein hohes Energiepreisniveau und die klima- und versorgungspolitisch motivierte Förderung regenerativer Energien führen dazu, dass der Energiepflanzenanbau eine steigende Bedeutung in Deutschland haben wird. Da der Wechsel zur Energieproduktion, wie auch die Ergebnisse der Modellierungen zeigen, eine wirtschaftlich interessante Alternative für Landwirte sein kann, kommt es regional zur Verschiebung der Landnutzung.

Die begrenzten Möglichkeiten zur Flächenausweitung sowie potenzielle Nutzungskonkurrenzen zwischen Nahrungs- und Energiepflanzenanbau können dabei den Konkurrenzdruck auf den Naturschutz verschärfen.

Ein Blick auf die Flächenkapazitäten in Deutschland lässt die Frage zu, welchen substanziellen Beitrag Biomasse überhaupt zur Energieversorgung leisten kann. Erste Kalkulationen zeigen die Schwierigkeit, in Deutschland alle Energieziele bzw. Energiepfade simultan in der Landwirtschaft zu verwirklichen. Ein den politischen Ausbauzielen (Stichwort Meseberg im August 2007) entsprechendes Herunterbrechen allein der aus der Vergangenheit fortgeschriebenen Biomasseanteile am regenerativen Energieverbrauch hieße, dass nur die Strom- und Wärmeproduktion schon 20 % der Ackerfläche beanspruchen würde, die Treibstoffproduktion durch flüssige Bioenergieträger mindestens weitere 20 % (Uckert et al. 2007). Eine zusätzliche Mitberücksichtigung ökologischer Ziele (z.B. Nachhaltigkeitskriterien, Fruchtfolgerestriktionen, Extensivierungsmaßnahmen zur

⁶⁷ Für Vogelarten wie Rebhuhn, Wachtel, Heide- und Feldlerche, Schafstelze oder Ortolan führt eine Ernte zu diesem Zeitpunkt zum Verlust sämtlicher Nester und Jungvögel auf diesen Flächen. Auch Feldhasen und Rehwild sind betroffen, da sie zu dieser Zeit mit ihren Jungen Deckung im hohen Getreide suchen. Ferner kommen durch die frühe Ernte zahlreiche Ackerwildkräuter nicht zur Aussamung und können sich nicht erfolgreich vermehren (vgl. Schöne 2007).

Habitatsverbesserung) ließe den Flächenanspruch sogar auf knapp 50 % der verfügbaren Ackerfläche ansteigen.

Um Spielraum für ökologische Trade-offs zu erhalten, sollten landwirtschaftliche Lösungsansätze zur Energie- und Klimaproblematik eine größtmögliche Flächen-, CO₂- und Energieeffizienz aufweisen. Eine Gegenüberstellung des Flächenverbrauchs pro Kopf für Nahrung oder für Mobilität verdeutlicht indes die Grenzen einer nationalen Produktionsautarkie: Die je Einwohner in Deutschland vorhandene Anbaufläche von ca. 0,21 ha entspricht fast vollständig dem Nahrungsmittelbedarf, der laut EMPA-Studie (Zah et al. 2007) auf einer Fläche von 1.500–2.000 m² gedeckt werden kann. Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch pro Einwohner (1.100 l/a, vgl. UBA 2007) erfordert demgegenüber – je nach Biomassepfad (Flächenertrag und Konversionstechnologie) – das Drei- bis Fünffache, also bis zu 1 ha der AF (FNR 2006). Die Frage nach einer nachhaltigen Mobilität mit Treibstoffen aus der Landwirtschaft erfordert damit eine Versorgung durch Importe aus dem Ausland mit entsprechendem Aufwand an Kontroll-, Anreiz- und Zertifizierungsinstrumenten, da selbst die effizientesten Verfahren bei der Umwandlung von (Regen-) Wäldern durch eine stark negative Klimabilanz gekennzeichnet sind.

Insgesamt wird die – innerhalb der GfP mögliche – starke flächenmäßige Ausweitung von in der Praxis bereits etablierten (also gut handhabbaren), jedoch stark intensiven Produktionsverfahren (insbesondere Monokulturen oder verengte Fruchtfolgen) als Hauptproblem beim Anbau von Energiepflanzen angesehen. Es kann als allgemeine Aufgabe für jetzige und folgende Projekte formuliert werden, die Anforderungen des Naturschutzes bei der Biomasseproduktion, die über die gute fachliche Praxis (GfP), (Cross Compliance) und andere Regelungen hinausgehen, zu identifizieren und Implementierungswege von Lösungsmöglichkeiten herauszuarbeiten.

Wie die Modellierungsergebnisse zeigten, führt die steigende Nutzungskonkurrenz tendenziell zur Bewirtschaftung auch der weniger intensiv geführten Flächen (bisher häufig stillgelegt). In dieser Intensivierung der Produktion auf ehemals naturnahen Stilllegungsflächen wird auch vonseiten vieler Experten eine der Belastungsgrößen bei der Erzeugung von Energierohstoffen auf landwirtschaftlichen Flächen gesehen⁶⁸: Hier könnten bisherige Bemühungen um eine Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion durch die Förderungspraxis (z.B. NawaRo-Bonus im EEG) klar konterkariert werden und Grenzen der gesellschaftlichen Akzeptanz hervortreten. Viele der oben genannten Arbeitsgruppen fordern daher u.a., dass eine Energiepflanzenproduktion auf sensiblen Standorten (wie z.B. solche mit niedrigem Trophieniveau) an die Erfüllung zusätzlicher Naturschutzkriterien gekoppelt werden sollte.

4.3.1 Ausdehnung des Maisanbaus

Solange der Energiepflanzen-Anbau für NawaRo-Biogasanlagen mit einem hohen Mais-Anteil in Verbindung gebracht wird, scheinen Hoffnungen, wie die Erhöhung der

⁶⁸ Zur vermehrten Nutzung von Stilllegungsflächen: Von 1,2 Mio. ha Stilllegung in Deutschland wurden 2006 allein 450.000 ha für nachwachsende Rohstoffe genutzt. Damit verliert die Flächenstilllegung, die ursprünglich als Instrument zur Begrenzung von Überschüssen eingeführt wurde, seine Bedeutung als Rückzugsraum für viele Tier- und Pflanzenarten. Zu befürchten ist ein weiterer Rückgang der Artenvielfalt in der Agrarlandschaft (Schöne 2007).

Fruchtartenvielfalt, unangebracht. Trotz Anstrengungen der Forschung, andere Ackerfrüchte zur Wirtschaftlichkeit zu bringen, liegt sie bei diesen deutlich unterhalb derjenigen von Mais (s. Vetter 2006). Es ist daher damit zu rechnen, dass Biogasanlagen-Betreiberkonzepte weiterhin auf Mais als Hauptlieferant pflanzlicher Kosubstrate setzen werden.

Auch im Futterbau gehört Silomais zu den anbauwürdigsten Kulturen. Gegen seinen Anbau ist wenig einzuwenden, wenn standörtliche Gegebenheiten berücksichtigt (Erosionsgefährdung), die Gute fachliche Praxis (GfP) sowie sonstige Auflagen (WRRL etc.) eingehalten werden. Durch seine gute Selbstverträglichkeit stellen sogar Mais-Monokulturen eine vorstellbare Anbaumethode dar, solange u.a. der Humusabbau durch eine organische Düngung aufgewogen werden kann. Zudem passt Mais – bei relativ gesicherten hohen Erträgen und Energieausbeuten (interessant für diese C₄-Pflanze sind auch trockenere Anbaulagen) – durch seine etablierte Handhabung ausgezeichnet in die Arbeitsabläufe tierhaltender Betriebe, die aufgrund der vorherrschenden Güllewirtschaft (und ausgereifter Nassfermentationsverfahren) einen großen Anteil der Biogasanlagenbetreiber ausmachen.

Als Problem bei der Energiepflanzen-Produktion und insbesondere der Silomaisproduktion ist der verstärkte **Humusabbau** zu sehen, wird doch, anders als bei der Produktion von Marktfrüchten, bei der energetischen Verwertung von Pflanzen in der Biogasanlage der gesamte, in der oberirdischen Biomasse gebundene Kohlenstoff abgefahren und nur ein kleiner Teil mit dem Gärrest auf die Fläche zurückgebracht. War die Humusbilanz z. B. bei einer Körnernutzung noch ausgeglichen oder positiv, trifft dies bei energetischer Verwertung nur noch für Triticale und Grünroggen-GPS sowie für Luzerne zu (Hufnagel 2007). Die Humusbilanz von Mais ist deutlich negativ!

4.3.2 Auswirkungen der Ausdehnung der Biogasproduktion auf Betriebs- und Landschaftsebene

Aktuell ist mit der Ausdehnung der Biogasproduktion eine Zunahme intensiver Produktionsverfahren wie dem Silomaisanbau verbunden. Wie die ökonomischen Kennzahlen der Produktionsverfahren und die Szenarioergebnisse zeigten, ist dieser hohe Maisanteil eine einzelbetriebswirtschaftlich durchaus sinnvolle Entscheidung, sie kann aber bei einer Vielzahl solcher Entscheidungen und bei gleichzeitiger dichter Ansammlung in einem bestimmten Naturraum zu i.d.R. nicht beabsichtigten Folgewirkungen führen (wie es z. B. in der Lüneburger Heide zu beobachten ist). Hierzu zählt die Monotonie und dominierende Sichtverbauung des Landschaftsbildes genauso wie die Gefahr verstärkt auftretender Kalamitäten (Insekten wie z.B. der Maiszünsler). Der Nutzungsdruck kann zu einem Rückgang von Saum- und Wegstrukturen führen. Negative Wirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer sind ebenso zu befürchten, wie eine gegenüber vielen anderen landwirtschaftlichen Kulturen mit dem Maisanbau verbundene erhöhte Erosionsgefährdung. Auf einzelbetrieblicher Ebene könnten maislastige Fruchtfolgen zu einer Verschlechterung der ökologischen Leistungen der Landwirtschaft führen, wobei dies verschärft wird in Kombination mit

- nur geringer Flächenausstattung für Energiepflanzen-Produktion oder abnehmender Größe des Betriebes im Verhältnis zur Anlagenleistung (Stichwort Repowering der Biogasanlagen⁶⁹) und
- ungeeigneten Standortverhältnissen (Bodengüte, Hangneigung, sensible Gebiete).

Einen ähnlichen Effekt wie die Agglomeration von vielen kleineren Betrieben mit Biogasanlagen in einem Gebiet haben Biogas-Großanlagen mit Gesamtleistungen von ca. 20 MW. Das hierfür auf einer notwendigen Fläche von 8–10.000 ha angebaute Substrat muss zugekauft werden, was zu einem problematischen Nährstoffimport führen kann, da das Material häufig über weite Strecken geliefert wird. Entsprechend hohe Transportkosten machen eine Gärrestausrückführung und Flächenbelastung (Überdüngung) im näheren Anlagenumkreis wahrscheinlich⁷⁰. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich ein hoher Prozentsatz des durch die Energiepflanzen entzogenen Stickstoffs im Gärrest wiederfindet. Positiv ist dagegen eine Rückführung auf die tatsächliche Produktionsfläche zu sehen, verbleibt der Stickstoff so im System. Da etwa 40 % des Gesamtstickstoffs im Gärrest organisch gebunden vorliegen und die Gesamtmengen an Stickstoff im Gärrest je nach Fruchtart und bei heutigen Erträgen zwischen 80 und 180 kg Stickstoff betragen können (oder noch höher), ist aufgrund schwer kalkulierbarer Mineralisierungsraten ein erhebliches Potential für die Stickstoffauswaschung bei unsachgemäßer Handhabung zu befürchten (vgl. auch Hufnagel 2007).

Entscheidend für die Bewertung der Auswirkungen einer Energiepflanzenproduktion auf Betriebsbasis sind die bisherigen Flächenanteile der Intensivkulturen und die Reserven an Leistungsflächen. Es soll die Hypothese aufgestellt werden, dass innerhalb des Rahmens der GfP (Berücksichtigung von Humusabbau, Erosionsstandorten, etc.) die Zunahme des Energiepflanzen-Anbaus in gewissem Rahmen tragbar ist. Problematisch wird die Ausdehnung des Energiepflanzen-Anbaus für Biogasanlagen in jedem Fall jedoch auf Flächen, die bisher extensiv genutzt bzw. stillgelegt wurden. In den Modellierungen zum Preisanstieg zeigte sich, dass unter den Rahmenbedingungen (Flächenkonkurrenzen, steigenden Opportunitätskosten) Produktionsverfahren ausgewählt wurden, die stärker durch ertragsrelevante Intensivierungen als durch Kostenreduktionsmaßnahmen (PSM- oder Düngereinsparungen) gekennzeichnet waren. Es handelte sich hierbei zwar nicht explizit um Energiepflanzen-Verfahren, aber dieser Trend war bei einer Verschärfung der Flächenkonkurrenz (hier simuliert durch BGA-Minderung) umso stärker ausgeprägt (vgl. Kap. 3.3.3).

Unter dem Gesichtspunkt von steigenden Opportunitätskosten scheint infolge der relevanten Ertragsverluste (Expertenbewertung in folgender Tabelle) die bisherige Extensivierungs-⁷¹ und Stilllegungspraxis weiter an Bedeutung zu verlieren.

⁶⁹ Repowering führte in Gebieten mit einer hohen Anzahl bereits bestehender Anlagen zu übermäßiger Ausdehnung des Maisanbaus (z. B. kleinflächige Betriebe in Bayern und Austausch der traditionell eher kleinen Anlagen < 100 kW)

⁷⁰ Eine Trocknung der Gärreste und anschließende Düngemittelkonditionierung (Komprimierung zu Pellets) ist dabei als ein strittiges Konzept der durch den Kraft-Wärme-Kopplungsbonus geförderten Wärmenutzung anzusehen.

⁷¹ Reduzierte Verfahren mit einfachem Verzicht auf Betriebsmittel (Düngung und Pflanzenschutz) jedoch ohne weitere Anpassung der Produktionsweise.

Tab. 4-3: Ertragsdepression bei Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutzmittel: ausgedrückt als mittlere Ertragsverluste auf Randstreifen bei Standardbewirtschaftung

Kulturart	Ertragsverlust
Getreide	57 %
Silomais	55 %
Zuckerrüben	76 %
Winterraps	57 %
Erbsen	77 %

Quelle: Plachter et al. 2005

Eine der grundsätzlichen Annahmen zu Beginn des Projekts wird so in ein anderes Licht gerückt. Dort stellte die Energiepflanzen-Produktion nicht allein eine ungewollte Intensivierung dar, sondern besaß das positive Potenzial auf derartigen Flächen z. B. eine Verbuschung zu verhindern. Wie die vergangenen Jahre zeigten, waren hiervon nur sehr extensiv genutzte Stilllegungsflächen betroffen, da die besseren Flächen bereits infolge der Anbaumöglichkeit von NawaRo unter den Pflug genommen wurden⁷².

Wie das Beispiel der seit letztem Winter (2007/08) ausgesetzten Flächenstilllegung zeigt, könnte die anzustrebende Abschwächung des Konflikts zwischen Energie- und Nahrungsmittelproduktion zulasten des Naturschutzes gehen. Um bisherige Ergebnisse im Biotop- und Artenschutz nicht zu gefährden, ist eine umweltverträgliche Ausweitung der Flächen anzustreben. Handlungsoptionen bestehen über die Knüpfung finanzieller Förderung an Nachhaltigkeitskriterien (z.B. Kulturartendiversität, Grünlandumbruchsverbot⁷³). Auch die Nutzung marginaler und degradierter Flächen kann durch einen an den Standort angepassten Energiepflanzenanbau zur Entschärfung der Konfliktproblematik beitragen.

4.3.3 Fazit der Auswirkungen von Biogasanlagen auf die Intensität der Landnutzung

Der Vergleich der einzelnen Anbauverfahren von Energiepflanzen für Biogasanlagen mit denen der traditionellen Produktion von Marktfrüchten lässt keine gravierenden Unterschiede erkennen. Auf Betriebsebene verursacht der Energiepflanzenanbau generell dann Umweltprobleme, wenn der Flächenanteil „negativer“ Früchte (z.B. Mais) in der Fruchtfolge oder der Fläche zunimmt, wenn eine Verengung der Fruchtfolge zu einem höherem Pflanzenschutzmitteleinsatz (z.B. Raps) führt oder wenn der Anbau ausgedehnt wird auf

⁷² Die Vorzüglichkeit der Energiepflanzen (meist Raps) auf diesen Standorten auch ohne Anreizsystem zeigte sich auch durch ihren Marktpreis, – 1–2 €/dt geringer als übliche Marktpreise – der somit entsprechend seines Ertragsniveaus (20–30 dt/ha) genau in Höhe der NawaRo-Prämie von 45 € in der Handelspanne des stärkeren Marktpartners aufging.

⁷³ Grünlandumbruch (trotz der Vorschriften von Cross Compliance, u.a. Umbruch von Feuchtgrünland in Nord- und Westdeutschland oft zu Gunsten des Maisanbaus). Grünland ist jedoch oft artenreicher, Umbruch auch unter Klimaschutzaspekten schädlich (CO₂-Freisetzung bei Abbau org. Bodensubstanz: Kompensation der durch den Grünlandumbruch verursachten CO₂-Emissionen benötigen 17 bis 111 Jahre), weiterer Effekt ist eine Intensivierung des restlichen Grünlandes zur Kompensation des fehlenden Grundfutters (vgl. auch Schöne 2007, SRU 2007).

Standorte, die bisher deutlich extensiver genutzt wurden⁷⁴ oder für die jeweilige Fruchtart ungeeignet sind. Auch die Folgewirkungen aus einem unerwünschten Humusabbau sind zu beachten, soll der Energiepflanzen-Anbau nicht seiner positiven Klimawirkung entgegenarbeiten. Die Modellergebnisse zeigen z.B. eine einsetzende Intensivierung auch auf den relativ ertragsschwachen Böden, die zu einem Wechsel von Wintergetreide, vornehmlich Roggen, zu Mais oder Hirse führte. Letztere Fruchtarten sind durch eine längere Zeit im Frühjahr von fehlendem Bestandesschluss in der Reihe und damit von erhöhter Erosionsgefahr gekennzeichnet.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass zusammen mit der weiteren Ausbreitung von Biogasanlagen der Maisanbau ebenfalls stark zunehmen wird. Aufgrund der positiven Auswirkungen auf die regionalen Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfungsketten ist diese Entwicklung durchaus zu begrüßen. Aus Sicht des einzelnen Betreibers ist es als sinnvolles Entscheidungsverhalten anzusehen. In dem Fall jedoch, dass der Maisanbau in bestimmten Regionen aufgrund vieler Einzelentscheidungen sehr stark ausgedehnt wird, ist zu beachten, dass hiermit ein Verlust sowohl an Biodiversität als auch an Landschaftsästhetik verbunden sein kann. Soll nicht gleichzeitig die gesellschaftliche Akzeptanz in Form der Weitergewährung von Fördermitteln für die landwirtschaftliche Energieerzeugung aufs Spiel gesetzt werden - mit absehbar negativen Folgen für die weiterhin vom EEG-NawaRo-Bonus abhängigen Finanzierungen - sind flankierende ökologische Kriterien frühzeitig in den Konzepten zu berücksichtigen.

Gerade die Auswirkungen einer entsprechend der politischen Ausbauzielen zur landwirtschaftlichen Energieerzeugung fortgesetzten Entwicklung können negative Folgen auf Umwelt und Landschaft haben, die aus Sicht des Einzelbetriebs nicht erfasst und schon gar nicht gesteuert werden können. So ist nahe liegend, dass einzelbetrieblich sinnvolle Entscheidungen hinsichtlich Flächenausdehnungen von Monokulturen bzw. zusammenhängenden Bearbeitungseinheiten/Schlägen im Verbund mit sehr vielen Nachbarn (den weiteren Landwirten einer Region) starke Auswirkungen z.B. auf das Landschaftsbild haben können, die von dem Einzellandwirt nicht abgepuffert werden können. Auch wird bei dezentralen wie bei großen zentralen Biogasanlagen die Ausbringung der Gärreste besonders dann problematisch, wenn sie überwiegend im unmittelbaren Umkreis der Anlage stattfindet. Im Sinne einer sinnvollen Gesamtplanung von Natur und Landschaft, muss daher – wenn in der Region sehr viele Einzelanlagen vorhanden sind – der Schritt über den Einzeloptimierer hinaus gemacht werden.

Die aktuelle Marktlage führt zur Verschärfung des Grundkonflikts zwischen Produktion und Ökologie durch den Zusammenhang des Anstieg von

- ☞ Opportunitätskosten,
- ☞ Flächeneffizienz und
- ☞ Intensität.

Der Anstieg der Flächenkonkurrenz infolge neuer Marktbedingungen (steigende Nahrungsmittelpreise) macht deutlich, dass das Problem einer zunehmenden Intensivierung

⁷⁴ Also nicht zuletzt dann, wenn eine Umnutzung per se zu Umweltproblemen führt (z.B. Grünlandumbruch, vorherige AUM-Flächen, etc.).

nicht allein im Bereich des Bioenergieanbaus liegt. Er trägt aber durch seinen Flächenanspruch, der durch den globalen Energiehunger unbegrenzt erscheint, dazu bei. Auch auf Grenzertragsstandorten verschärft sich die Konkurrenzsituation zwischen Bioenergieproduktion durch Energiepflanzen (z.B. zur Biogas-Verwertung), anderer Veredelungsproduktion und mit Brotgetreide. Innerhalb der Modellierung des Entscheidungsverhaltens der Landwirte führen die Opportunitätskosten der Fläche dazu, dass für eine Anbauentscheidung der absolute Energiepflanzen-Ertrag (Kennzahl Methanhektarertrag) gegenüber den spezifischen Kosten (Kennzahl €/m³ CH₄) an Wichtigkeit gewinnt. Die überwiegend positiv korrelierten Input/Output-Relationen von Intensität und Ertrag erschweren unter diesen – für die Landwirte durchaus erfreulichen – Rahmenbedingungen die Möglichkeiten eines ökologisierten Energiepflanzen-Anbaus. Ökologisch angepasste Verfahren, mit einer verminderten speziellen Intensität in der Fläche (ausgesetzte Qualitätsdüngung, geringere Gesamtmenge; Verzicht auf PSM, da keine Nahrungsmittel) resultieren häufig nicht allein in geringeren Kosten sondern auch in einem geringeren Flächenertrag. Die Modelllösungen zeigten einige interessante Verfahren, die trotz verminderten PSM-Aufwands gute Erträge aufwiesen. Jetzt müssen derartige Verfahren weiter in der Praxis erprobt und die Erträge auch realisiert werden.

4.4 Empfehlungen

4.4.1 Forschung und Administration

Zukünftig wird vermehrt mit Konkurrenzen zwischen Energie und Nahrungsmitteln und einem Anstieg des Nutzungsdrucks insbesondere auf die natürlichen Ressourcen weltweit zu rechnen sein. Vor dem Hintergrund gesicherter Lebens- und Produktionsgrundlagen gilt es ordnungs- und marktpolitische Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen, die sowohl einen umweltverträglichen Ausbau der Nahrungsmittelproduktion als auch einen der Bioenergieproduktion erreichen. Dafür sind eine Begleitforschung und Harmonisierung der Förder- und Politikinstrumenten im Hinblick auf gesellschaftliche Ziele erforderlich. Insbesondere die Einführung naturschutzgerechter Verfahren beim Anbau von Energiepflanzen für Biogasanlagen bedarf weiterhin einer Förderung. Sei es durch die Vermittlung tragfähiger Verfahren durch Wissenschaft und Forschung oder die wirtschaftliche Flankierung durch politische Programme und Maßnahmen.

Die bestehenden Optionen zur Aufweitung und Diversifizierung des Kulturpflanzenanbaus durch Energiepflanzen sind unter den genannten Bedingungen nur schwer zu verwirklichen. Die Novellierung des EEG gestaltet das Anreizsystem derart (die Nutzung von Reststoffen wird verstärkt und Energiepflanzen weiterhin gefördert), dass auch bei steigenden Opportunitätskosten, die landwirtschaftliche Energieproduktion als Beitrag zur Erfüllung von Klimaschutzziele erhalten bzw. weiter ausgedehnt werden kann. Die bloße Implementierung des Betriebszweigs Biogas führt dabei auf reinen Marktfruchtbetrieben zur Erweiterung des Anbauspektrums und kann unter bestimmten Rahmenbedingungen ökologische Vorteile bringen. Sobald weitergehende Aspekte (Naturschutzziele) beachtet werden sollen, ist jedoch eine Förderung besonders geeigneter oder zumindest Begrenzungen einzelner Kulturen notwendig⁷⁵. Ein sinnvoller Ansatzpunkt hierfür ist die

⁷⁵ In diesem Zusammenhang erscheint z.B. die Vergabe von 45,- € Energiepflanzenförderung für Mais als wenig sinnvoll, da der Maisanbau infolge spezieller Vorzüge schon jetzt am stärksten zunimmt (z.B. beste Eigenschaften bei der Kofermentation in Biogasanlagen, hohe Hektarerträge, etc.).

Steuerung der Flächenausstattung der Betriebe im Verhältnis zur installierten BHKW-Leistung (oder zukünftig der produzierten Biogasmenge). In den Szenarien zeigte sich eine Überlegenheit sowohl ökonomischer (v.a. Stabilität) als auch ökologischer (v.a. Diversität) Kriterien bei einer nutzbaren Fläche $> 0,5$ ha/kW. Dieser Zusammenhang war auf vorherigen Gemischtbetrieben (Markt- und Veredelungsproduktion) mit ausreichender Flächenausstattung noch einmal günstiger, so dass hier der Güllebonus im EEG zu einer günstigen Entwicklung beitragen kann.

Das langfristige Potenzial zur Entwicklung einer naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen und zur Errichtung einer intakten regionalen Kreislaufwirtschaft kann auf landwirtschaftlichen Betrieben mit installierten Biogasanlagen höher eingeschätzt werden als bei von regionalen Strukturen entkoppelten Großanlagen. Der Druck zu einem hohen Maisanteil bzw. anderen Monokulturen wirkt sich bei diesen direkt und nachteilig auf die Habitatqualität von Flora und Fauna aus. Die verbundene Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion führt zu potenziell erhöhten Einträgen von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln auch in die (z.T. sensiblen) Nachbarschaftshabitate. Entsprechend hoch wird der Steuerungs- und Kontrollbedarf für zentrale Biogas-Großanlagen gesehen.

Die steigende Flächenkonkurrenz führt zum Intensivierungsdruck auf allen Flächen, entweder durch Verdrängung von leistungsschwächeren Kulturen oder der infolge der höheren Preise lohnenden Inkulturnahme vorheriger Stilllegungsflächen. Durch die Koppelung der Energiepflanzenproduktion an bestimmte Landnutzungsanforderungen (z.B. Aufweitung der Fruchtfolgen, Freihaltung von Sichtachsen u.a.) kann und sollte absehbar negativen Entwicklungen frühzeitig entgegengewirkt werden, um die gesellschaftliche Akzeptanz der landwirtschaftlichen regenerativen Energieerzeugung nicht zu belasten.

Wie das Beispiel der ausgesetzten Flächenstilllegung zeigt, könnte eine anzustrebende Abschwächung des Konflikts zwischen Energie- und Nahrungsmittelproduktion zulasten des Naturschutzes gehen. Um bisherige Ergebnisse im Biotop- und Artenschutz nicht zu gefährden, ist daher eine umweltverträgliche Ausweitung der Energiepflanzen-Flächen anzustreben. Handlungsoptionen bestehen über die Knüpfung finanzieller Förderung an Nachhaltigkeitskriterien (z.B. Kulturartendiversität, Grünlandumbruchverbot) oder über die Anpassung der Genehmigungsverfahren bei baulichen Anlagen, durch Integration der mit der Zulassung einer Anlage in Verbindung stehenden Flächennutzung oder der Ausweisung von „Zonen für Biomasseanlagen“ im Flächennutzungsplan (FNP) und damit Verhinderung der Privilegierung außerhalb dieser Zonen zum Schutz sensibler Gebiete. Zusätzlich kann die Nutzung marginaler und degradierter Flächen durch einen an den Standort angepassten Energiepflanzenanbau zur Entschärfung der Konfliktproblematik beitragen.

Um einen Spielraum für ökologische Trade-Offs zu erhalten, sollten alle geförderten landwirtschaftlichen Lösungsansätze zur Energie- und Klimaproblematik eine größtmögliche Flächen-, CO₂- und Energieeffizienz aufweisen. Die Umsetzung dieses Spielraums in ein vorausschauendes ökologisches Handeln obliegt den Unternehmen.

4.4.2 Praxis

Aus Sicht der Naturschutz- und Landschaftspflegeverbände stellen Fruchtfolgen ein Problem dar, sobald sie sich auf nur wenige Fruchtarten konzentrieren und sobald die aus Naturschutzsicht interessanten Kulturen aus Kostengründen von vornherein heraus gefallen sind.

Diese Einschätzung findet ihre Entsprechung in der Tatsache, dass das Entscheidungsverhalten der Betreiber durch den Bau einer Biogasanlage zunächst stark eingeschränkt wird. Der ökonomische Druck einer derartigen Investition⁷⁶ beginnt bei der Anlagenkonzeption. Die Festlegung von BHKW- und Fermentergröße und die daraus folgende Optimierung der Auslastung und Raumbelastung setzen das Ziel maximaler Gasausbeute pro eingebrachter Tonne Substrat, so dass energiereiche und leicht abbaubare Inputstoffe starke Vorteile aufweisen. Diese Qualitäten müssen produziert werden. Es kann daher zunächst zwischen direkten Auswirkungen auf den Flächen, die diese Qualitäten erzeugen können und indirekten Auswirkungen auf den für die Biogasproduktion „uninteressanten“ Flächen unterschieden werden. Die direkten wie indirekten Wirkungen auf diesen Flächen erhalten ihre naturschutzfachliche Relevanz sobald es zur Verschiebung von Produktionszielen und damit ausgelöst werden aber ungewollten Landnutzungsänderungen kommt.

Es kann vermutet werden, dass sich die Situation für Synergieeffekte zwischen Energiepflanzen für Biogasanlagen und Naturschutz verbessert, sobald ein Teil des ökonomischen Drucks aufgefangen wird. Entsprechend könnte eine Förderung von ökologischen Aspekten verstärkt nach erfolgter Amortisation der Anlagen einsetzen (z.B. „Naturschutz-Bonus“ für Altanlagen bei entsprechender Art und angepasstem Umfang der Landnutzung). Hinzu kommt, dass zu diesem späteren Zeitpunkt die inzwischen erfahrenen Anlagenbetreiber ihre langjährigen Erfahrungen der Betriebsoptimierung effektiver und risikoloser für naturschutzfachlich angepasste „Experimente“ mit (neu) entwickelten Produktionssystemen (Fruchtfolgen, Produktionsverfahren, Kulturarten bzw. Substraten) nutzen können. Dies setzt jedoch die Anpassungsfähigkeit der Anlagentechnik voraus (Fermentergrößen, Rohrleitungsquerschnitte, Zerkleinerungsaggregate usw.). Die höheren technischen Anforderungen ökologisch interessanter Substrate könnten im Vorwege des Baus oder bei nachträglichen Umrüstungen bei der Vergabe von Investitionsbeihilfen berücksichtigt werden. Diese vorgeschlagene zweistufige Entwicklung lässt sich auch nach erfolgreicher Installation von (zahlreichen und dezentralen) Biogasanlagen erreichen. Die intensivere Produktion im ersten Entwicklungsabschnitt bildet somit die Voraussetzung für den Spielraum einer naturschutzangepassten Mehrzieloptimierung im zweiten Abschnitt.

⁷⁶ Der Anteil der Kapitalkosten (Abschreibung für bauliche und technische Komponenten) an den Betriebskosten beträgt 30 - 40 % (Grundmann, P. und H. Hanff (2003): Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. MLUR Brandenburg Leitfaden Biogas 2003).

5 Literatur

- Adam, L. (2007): Aktuelle Ergebnisse - Nutzung von Biogas als Gärsubstrate 2007. Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung. 26. Fachtagung Acker- und Pflanzenbau am 22. November 2007.
- Adam, L., Ebel, G. (2007): Biomasse. Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime. Flyer. Frankfurt (Oder). URL: http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2335/pro_biom.pdf. Last access: 08-08-2008.
- AGLN (2003): Biodiversität in Kulturlandschaften. Aufgabe und Chance für Landwirtschaft, Naturschutz und Gesellschaft. Vorschläge der AG Landwirtschaft und Naturschutz von DLG und WWF. Frankfurt a. M. URL: <http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf-alt/landwirtschaft/2.pdf>. Last access: 16-08-2007.
- AGLN (2006): Nachhaltiger Anbau und energetische Verwertung von Biomasse. Flyer. Frankfurt am Main. URL: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/Nachhaltiger_Anbau_und_energetische_Verwertung_von_Biomasse_WF-Flyer.pdf. Last access: 09-08-2007.
- Ammermann, K. (2007): Biomassenutzung: Chancen und Risiken aus Naturschutzsicht. In: Stein, S., Kay, S. und Springorum, J. (Red.) (2007): Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: „Biomasseproduktion – ein Segen für die Land(wirt)schaft?“. BfN-Skripten 211.
- Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Buga, S., Amid, A., Zollitsch, W., Mayer, K., Pötsch, E. (2004): Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern. In: Biogasproduktion - Alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft. 10. Alpenländische Expertenforum am 18./19. März 2004. Irdning, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (BAL), pp. 21-26, ISBN 3-901980-72-5; ISSN 1026-6267.
- Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Pötsch, E., Zollitsch, W., Schreiner, M. (2005): Optimisation of biogas production from energy crops. In: Biomass for energy, industry and climate protection: 14th European Biomass Conference & Exhibition ; proceedings of the international conference held in Paris, France, 17 - 21 October 2005. Florence: ETA-Renewable Energies, ISBN: 88-89407-07-7.
- Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Zollitsch, W., Mayer, K., Buga, S., Amid, A. (2003): Biogaserzeugung aus Mais - Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- bis spätreifen Maissorten. In: Hybridmais, Züchtung und Verwertung. 54. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 25. - 27. November 2003, Gumpenstein. Gumpenstein: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft (BAL).
- Amon, T., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Amon, B. (2005): Methanerzeugung aus Getreide, Wiesengras und Sonnenblumen: Einfluss des Erntezeitpunktes und der Vorbehandlung. In: KTBL (ed.) 7. Internationale Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2005, 1.-3. März 2005 in der FAL in Braunschweig. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, ISBN: 3-7843-2185-2.
- Amon, T., Kryvoruchko, V., Hopfner-Sixt, K., Amon, B., Bodiroza, V., Ramusch, M., Hrbek, R., Friedel, J. K., Zollitsch, W., Boxberger, J. (2006): Biogaserzeugung aus Energiepflanzen. Ländlicher Raum. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 14 p.

- Amon, T., Kryvoruchko, V., Hopfner-Sixt, K., Amon, B., Bodiroza, V., Ramusch, M., Hrbek, R., Friedel, J. K., Zollitsch, W., Boxberger, J. (2006): Strategien zur nachhaltigen Biogaserzeugung aus Energiepflanzen durch standortangepasste Fruchtfolgesysteme, Sortenwahl und optimale Ernte. Rohstoffpflanzen für Biogasanlagen, Rohstoffaufbringung und Energieeffizienz. In: Fischler, F., Plank, J., Scheiber, E. (eds.) Beitrag zur 53. Wintertagung 2006 des Ökosozialen Forums Österreich: Herausforderung Globalisierung - Strategien und Antworten, 13. bis 17. Februar 2006, Wien, Hollabrunn, Gießhübl, Mariabrunn, Hatzendorf, Aigen im Ennstal. Wien: Ökosoziales Forum Österreich.
- Anon. (2005): Ackerlandschaften - Nachhaltigkeit und Naturschutz auf ertragsschwachen Standorten. Berlin: Springer-Verlag.
- Anon. (2006): Ausbau der Biomassenutzung. Berlin. URL: http://www.tu-berlin.de/fb6/energieseminar/veroeffentlichung/biomasse_sose06.pdf. Last access: 16-01-2007.
- Aretz, Hirschl, Grundmann, Hoyer, Rode, Köthke, Wiehe, Murach, Knur, Schlepphorst (2008): Dimensionen einer umweltverträglichen Energiepflanzenproduktion. Gutachten im Rahmen des TAB-Projekts „Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen“.
- Bernardy, P., Dziwiaty, K. (2005): Zur Problematik des Anbaus nachwachsender Rohstoffe und dem Erhalt einer artenreichen Ackerlandschaft – Literaturrecherche als Vorbereitung zur Einrichtung eines Arbeitskreises. URL: <http://www.wendland-elbetal.de/download.php?id=633026,265,3>. Last access: 08-08-2008.
- Billen, N., Angenendt, E. (2007): Klimaschutz durch Landnutzung. Garten und Landschaft, (8).
- BiomasseV (2001): Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse. URL: http://www.bmu.de/de/1024/js/sachthemen/gesetzestexte/alphabetische_liste/main.htm.
- BLE – Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2007): Energiepflanzenanbau nach Bundesländern 2006. Personal Communication (fone and e-mail).
- BMELF – Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1993): Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe A, Angewandte Wissenschaft, Sonderheft, Münster: Landwirtschaftsverlag.
- BMELF – Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1995): Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 3, Münster: Landwirtschaftsverlag.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2002): Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklung – natürliche Ressourcen – umweltgerechte Energieversorgung. Berlin.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2003a): Nutzung von Biomasse in Kommunen – Ein Leitfaden. Berlin.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2003b): Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2004a): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Berlin.

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2004b): Geld vom Staat für Energiesparen und erneuerbare Energien, Programme – Ansprechpartner – Adressen. Berlin.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2006a): Marktanreizprogramm zur Förderung von erneuerbaren Energien. URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hg_marktanreizprogramm_ee.pdf. Last access: 20-09-2007.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2006b): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung – Stand: Juni 2007. Reihe Umweltpolitik.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007) Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006. Stand Juni 2007 unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien - Statistik (AGEE-Stat). URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/vnd.ms-powerpoint/ee_zahlen_2006_dt_ppt.ppt. Last access: 22-08-2007.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007a): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Stand: Juni 2007. URL: http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007b): Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht). URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/erfahrungsbericht_eeg_2007.pdf. Last access: 08-08-2008.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007c): Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung, Dezember 2007. URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf. Last access: 13-12-2007.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007d): Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2006 in Deutschland, Stand: 21. Februar 2007. Aktuelle Daten des Bundesumweltministeriums zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (A-GEE-Stat);
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) (2004): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Informationsbroschüre, Berlin
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2002a): Agenda 2000 - Pflanzlicher Bereich und Agrarumweltmaßnahmen. Broschüre des Referats für Öffentlichkeitsarbeit, 44 p.
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2002b): Agenda 2000 - Tierprämien. Broschüre des Referats für Öffentlichkeitsarbeit, 28 Seiten.
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2003a): Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" (GAK). Agrarbericht 2003. Teil C: Maßnahmen, ab Absatz 204. URL:

- http://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/sites/030_Agrarb/2003/AB03_TextteilC.pdf.
Last access: 08-08-2008.
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2003b): Regionale Flächenstilllegungssätze zur Ernte 2005 veröffentlicht. Pressemitteilung Nr. 192 vom 4. August 2004.
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) (2004a): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Informationsbroschüre, Berlin
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2004b): Eckpunkte des Beschlusses zur Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik und dessen Umsetzung in Deutschland.
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005a): Meilensteine der Agrarpolitik – Umsetzung der europäischen Agrarreform in Deutschland.
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2005b): Agrarreform ist perfekt – So werden die Reformbeschlüsse in Deutschland umgesetzt. URL: <http://www.verbraucherministerium.de/index-0002A3407CD31022B9146521C0A8D816.html#02>. Last access: 21-03-2005.
- BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), (2005): Biokraftstoffe, Strategie für Mobilität von morgen. Informationsbroschüre, Berlin. URL: <http://www.nova-institut.de/news-images/20050819-01/000C0F38AEBBC12DC95BF6521C0A8D816.0.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- BMW i – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (1994): Einschätzung der technischen und wirtschaftlichen Erschließungspotentials erneuerbarer Energien zur Energieversorgung in Deutschland; in Energieeinsparung und erneuerbare Energien, BMW i Dokumentation Nr. 361, p. 88.
- Brickwedde, F., Fuellhaas, U., Stock, R., Wachendörfer, V., Wahmhoff, W. (2005): Landnutzung im Wandel - Chance oder Risiko für den Naturschutz. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Brozio, S., Müller, D. (2006): Regionale Modellierung von Bioenergie in der Uckermark. Projekt: Bioenergie-Potenzialstudien mit GIS. URL: http://www.energie-nord-ost-brandenburg.de/downloads/sbrozio_AGBiogas_22022006_Potenziale_Uckermark.pdf. Last access: 30-08-2007.
- Bundestag (2007) Einführung der Biokraftstoffquote ab 2007 zugestimmt. URL: http://www.bundestag.de/aktuell/hib/2006/2006_316/02.html. Last access: 17-09-2007.
- CARMEN (2007) Marktanreizprogramm zur Förderung Erneuerbarer Energien. URL: <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/foerderprogramme/marktanreizprogramm.html>. Last access: 20-09-2007.
- COM – Europäische Kommission (2004): New perspectives for EU rural development – Fact sheet. URL: http://ec.europa.eu/agriculture/publi/fact/rurdev/refprop_en.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Coombs, J. (1985): Biotechnologie zur Energieerzeugung: Verbesserungsmöglichkeiten der Produktion von Energiepflanzen / J. Coombs, D.O. Hall, P. Chartier (eds.). Für die Komm. d. Europ. Gemeinschaften, Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., Winiwarer, W. (2007): N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 7, pp. 11191-11205.

- DBV – Deutscher Bauernverband (2007): Situationsbericht 2007. Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Berlin.
- DIN EN ISO 14040 (2005): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO/DIS 14040: 2005).
- DLG und WWF (2006): Nachhaltiger Anbau und energetische Verwertung von Biomasse. Empfehlungen der AG Landwirtschaft und Naturschutz von DLG und WWF. URL: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/Nachhaltiger_Anbau_und_energetische_Verwertung_von_Biomasse_WWF-Flyer.pdf. Last access: 26-07-2007.
- DRL – Deutscher Rat für Landespflege (2006): Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Druck Center Meckenheim (DCM), Meckenheim.
- DVL – Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V. (Hrsg.) (2008): BEST PRACTICE - Erfolgsmodelle der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Landschaftspflege. Druck, Ansbach. URL: http://www.agrarnet-mv.de/extension/download/download.php?file=var/plain_site/storage/original/application/e25176e92a0255af0c392e203f1da95b.PDF&filename=Best%20Practice_energetische%20Nutzung_Biomasse.PDF&fileid=120202&title=Best%20Practice%20E2%80%93%20Erfolgsmodelle%20der%20energetischen%20Nutzung%20von%20Biomasse%20aus%20der%20Landschaftspflege. Last access: 08-08-2008.
- EEA (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? Kopenhagen, EEA-Report. No 7/2006. URL: http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_7/en/eea_report_7_2006.pdf. Last access: 26-07-2007.
- EEG (2004): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 31. Juli 2004. pp. 1918-1930. URL: <http://www.bgblportal.de/BGBl/bgbl1f/bgbl104s1918.pdf>. Last access: 04-10-2007.
- Eltrop, L. (2007): Bioenergie im Spannungsfeld von nachhaltiger Energieversorgung und Umwelt- und Naturschutz; Bündnis90/Grüne LAG Ökologie, Vortrag am 10.03.2007, Stuttgart. URL: <http://www.gruene-bw.de/fileadmin/gruenebw/dateien/LAGen/Oekologie/BM-Konkurrenz.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. deutschen Bundestages (Hrsg.) (1994): Schutz der grünen Erde. Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder. Bonn: Economica.
- Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.) (1993): Verantwortung für die Zukunft, Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bundestags-Drucksache 12/5812 vom 30.9.1993. Bonn: Heger.
- Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.) (1994): Die Industriegesellschaft gestalten – Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff und Materialströmen. Bonn: Economica. 765 p.
- ETI – Arbeitsgruppe BIOGAS der Brandenburgischen Energie Technologie Initiative (2003): Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für die Landwirte und Investoren. 2. überarbeitete Auflage, Potsdam: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg.
- Fachverband Biogas e.V. (2006): Biogas – das Multitalent für die Energiewende. Fakten im Kontext der Energiepolitik-Debatte. URL:

- http://www.biogas.org/datenbank/file/notmember/medien/Fakten_Biogas_2006_03.pdf
f. Last access: 08-08-2008.
- FAL – Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2004): Verwendung von Biodiesel in der Landwirtschaft – Möglichkeiten und bestehender Handlungsbedarf. Sachstandbericht der FAL zur Verwendung von Biodiesel in der Landwirtschaft, gefördert durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft bzw. die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe.
- Faulstich, M., Greiff, K., Mayer, W., Mocker, M., Quicker, P., Schieder, D. (2006): Energetische Nutzung von Biomasse. Potenziale - Entwicklungen - Chancen. Abfalltage Baden-Württemberg, Stuttgart, 26. und 27. September 2006.
- Finck, A. (1992): Dünger und Düngung: Grundlagen und Anleitung zur Düngung von Kulturpflanzen. Weinheim: VCH-Verlag.
- FNR – Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow.
- FNR – Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (2005): Bioenergie: Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Gülzow.
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006): Biokraftstoffe: eine vergleichende Analyse. URL: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_236biokraftstoffvergleich2006.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Fritsche, U., Hünecke, K., Hermann, A., Schulze, F., Wiegmann, K. (2006): Sustainability Standards for Bioenergy. Frankfurt a. M.: WWF Germany. URL: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/Sustainability_Standards_for_Bioenergy.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Fritsche, U., Dehoust, G., Jenseit, W., Hünecke, K., Rausch, L., Schüler, D., Wiegmann, K., Heinz, A., Hiebel, M., Ising, M., Kabasci, S., Unger, C., Thrän, D., Fröhlich, N., Scholwin, F., Reinhardt, G., Gärtner, S., Patyk, A., Baur, F., Bemman, U., Gross, B., Heib, M., Ziegler, C., Flake, M., Schmehl, M., Simon, S. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse, Endbericht zu einem F+E-Vorhaben des Bundesministeriums für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit – Projektträger FZ Jülich. Darmstadt. 263 p.
- Fritsche, U. R. (2005): Nachhaltige Biomassenutzung: Standortpotentiale in Deutschland und der EU. Beitrag zur DLG/WWF-Tagung: Energie aus Biomasse Herausforderungen für Landwirtschaft und Naturschutz, Berlin, 30.-31. Mai 2005. Darmstadt. URL: http://download.dlg.org/pdf/fachgremien/DLG_WWF_Fritsche.pdf. Last access: 26-07-2007.
- Gödeke, K. (2006): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands. GFP-Workshop in Freising am 9./10.03.2006. URL: http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/18480/workshop_futterpflanzen_goedeke_tll.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Gödeke, K. (2007): Fruchtfolgegestaltung im Energiepflanzenanbau. BfN-Tagung Insel Vilm, 12-15. März 2007. Gefördert vom BMELV über die FNR. URL: http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Katja_Goedeke.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Gödeke, K., Nehring, A., Vetter, A. (2006): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands. URL:

- http://www.lea.at/de/aktuell/anhang/Kurzbeschreibung_Anbausysteme_Energiepflanzen.
- Gödeke, K., Vetter, A. (2005): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands. Dornburg, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. URL: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/epfl0705.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- Grimm, J., Fuchs, S., Stein-Bachinger, K., Gottwald, F., Helmecke, A., Zander, P. (2004): Naturschutzhof Brodowin – Naturschutzfachliche Optimierung des großflächigen Öko-Landbaus am Beispiel des Demeterhofes Ökodorf Brodowin. Ein Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, 13 (1), pp. 16-21.
- Grundmann, P., Kimmich (2008): Ausbau der Energiepflanzenutzung und regionale Flächenkonkurrenz. Gutachten im Rahmen des TAB-Projekts „Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen“. Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V..
- Haas, R., Biermayr, P., Kranzl, L. (2006): Technologien zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger - wirtschaftliche Bedeutung für Österreich. Endbericht zum Forschungsprojekt. Erneuerbare aus und in Österreich. Wien. URL: http://www.eeg.tuwien.ac.at/research/downloads/PR_89_Endberich.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Haase, E. (1992): Grundlagen und Probleme einer objektiven Landschaftsbewertung nach ökologischen Gesichtspunkten. Augsburger geographische Hefte 11, Augsburg.
- Haber, W. (2007): Naturschutz und Kulturlandschaft im Widerspruch. Garten und Landschaft (8).
- Hampicke, U., Holzhausen, J., Litterski, B., Wichtmann, W. (2004): Kosten des Naturschutzes in offenen Ackerlandschaften Nordost-Deutschlands. Berichte über Landwirtschaft 82 (2), pp. 225-254.
- Hampicke, U., Wichtmann, W. (2005): Betriebswirtschaft und Naturschutzkosten auf ertragsschwachen Ackerstandorten. In: Hampicke, U., Litterski, B., Wichtmann, W. (eds.): Ackerlandschaften - Nachhaltigkeit und Naturschutz auf ertragsschwachen Standorten. Berlin: Springer. pp. 129-144.
- Plachter, H. (1991): Naturschutz. Jena, Stuttgart, New York: Gustav Fischer.
- Hartmann, H., Strehler, A. (1995): Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Abschlussbericht für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 3. Münster: Landwirtschaftsverlag.
- Hartmann, J. K. (2006): Life-cycle-assessment of industrial scale biogas plants. Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, 205 p. Diss.
- Heiermann, M., PLÖCHL, M. (2003): Biogas aus Pflanzen - Ergebnisse von Gärversuchen. Potsdam: Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim e.V.
- Heißenhuber, A. (2007): Strategien zur naturverträglichen Biomassebereitstellung. In: Symposium Energiepflanzen, 24./25. Oktober, Berlin, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 31, pp. 163-170.
- Heißenhuber, A., Berenz, S. (2006): Energieproduktion in landwirtschaftlichen Unternehmen. In: Darnhofer, I., Wytrzens, H., Walla, C. (eds.): Alternative Strategien für die Landwirtschaft. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandel AG. pp. 135-144.

- Hemeier, M., Lüling, C., Mohr, W., Oelker, J., Weiland, D. (2001): Potenzialanalyse für eine nachhaltige und zukunftsweisende Energieproduktion in ausgewählten Standortbereichen der Bergbaufolgelandschaft dem ehem. Braunkohlebergbaus im Rahmen der IBA Fürst-Pückler-Land. URL: <http://www.energiegarten.de/AUSZUGPA.PDF>. Last access: 17-07-2007.
- Hertwig, F. (2001): Energetischer Futterwert und Biogasausbeute unterschiedlicher Maissortentypen. Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Referat Grünland und Futterwirtschaft, Paulinenaue.
- Holzner, W. (2005): Biodiversitätsförderung in Ackerbaugebieten - Möglichkeiten und Grenzen. In: Brickwedde, F., Fuellhaas, U., Stock, R., Wachendörfer, V., Wahmhoff, W. (eds.): Landnutzung im Wandel - Chance oder Risiko für den Naturschutz. Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, Berlin: Erich Schmidt Verlag. pp. 299-305.
- Hufnagel, J. (2007): Ökologische Begleitforschung zum Energiepflanzenanbau. In: Symposium Energiepflanzen, 24./25. Oktober, Berlin, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 31. pp.151-162.
- IE – Institut für Energetik & Umwelt (2003): Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 201 41 132 im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes Berlin, Leipzig.
- IFEU – Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (2006): Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung. Förderung BMELV, Projektträger: FNR, Förderkennzeichen 2207104. Heidelberg. URL: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_251ifeu-btl-studie-fnr.pdf. Last access: 08-08-2008.
- IFEU – Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (2007): Erneuerbare Energien kompakt. URL: http://www.ifeu.org/energie/pdf/ee_factsheets.pdf. Last access: 08-08-2008.
- iFUS & friends e.V. (Hrsg.) (2006): Energieatlas Brandenburg. URL: <http://www.brandenburgenergie.de/bbenergie/energieatlas/index.cfm>. Last access: 26-07-2007.
- Isermeyer, F., Zimmer, Y. (2006): Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Arbeitsbericht des Bereichs Agrarökonomie 02/2006. Braunschweig, URL: http://www.fal.de/nn_791716/SharedDocs/11__MA/DE/Publikationen/Bereich/download_ab_02_2006_de,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download_ab_02_2006_de.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Jedicke, E. (1990): Biotopverbund: Grundlagen und Maßnahmen einer neuen Naturschutzstrategie. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Jedicke, E. (1995): Ressourcenschutz und Prozessschutz. Naturschutz und Landschaftsplanung 27: pp. 125-133.
- Jessel, B., Tobias, K. (2002): Ökologisch orientierte Planung: Eine Einführung in Theorien, Daten und Methoden. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Köppel, J., Peters, W., Wende, W. (2004): Eingriffsregelung, Umweltverträglichkeitsprüfung, FFH Verträglichkeitsprüfung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Kächele, H. (1999): Auswirkungen großflächiger Naturschutzprojekte auf die Landwirtschaft. Ökonomische Bewertung der einzelbetrieblichen Konsequenzen am Beispiel des Nationalparks „Unteres Odertal“. Agrarwirtschaft, Sonderheft 163. 222 p.
- Kächele, H., Dabbert, S. (2002): An economic approach for a better understanding of conflicts between farmers and nature conservationists - an application of the decision

- support system MODAM to the Lower Odra Valley National Park. *Agricultural Systems*, 74 (2): pp. 241-255.
- Kaltschmitt, M., Krewitt, W., Heinz, A., Bachmann, T., Gruber, S., Kappelmann, K.-H., Beerbaum, S., Isermeyer, F., Seifert, K. (2000): Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Energiegewinnung aus Biomasse unter Berücksichtigung externer und makroökonomischer Effekte (Externe Effekte der Biomasse) Auftraggeber: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF). Projekt-Nr.: 95 NR 056-F.
- Kaltschmitt, M., Merten, D., Fröhlich, N., Nill, M. (2003): Energiegewinnung aus Biomasse. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 "Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit". Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Kaltschmitt, M., Reinhardt, G. A. (Hrsg.) (1997): Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Friedr. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A. (2006): Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin: Springer.
- Kaltschmitt, M., Wiese, A. (1993): Erneuerbare Energieträger in Deutschland: Potentiale und Kosten. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Karpenstein-Machan, M.(2004): Neue Perspektiven für den Naturschutz durch einen ökologisch ausgerichteten Energiepflanzenbau. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 36 (2).
- König, M., Eltrop, L. (2007): Biomasse effizienter nutzen. Tagungsband 16. Symposium Bioenergie, Ostbayerische Technologie-Transfer-Institut e. V., Regensburg.
- Konitzki, B., Höhne, B., Hohm, Ch., Ochmann, K., Dahle, S. (2006): Biomasseaktionsplan Brandenburg – Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse bis 2010. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz.
- Köppel, J., Peters, W., Wende, W. (2004): Eingriffsregelung, Umweltverträglichkeitsprüfung, FFH Verträglichkeitsprüfung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Köppel, J., Peters, W., Schultze, Ch. (2004): Naturschutzaspekte beim Anbau von Biomasse. *Ökologisches Wirtschaften*, (5): pp. 19-20.
- Kriegl, W., Schneeberger, W., Walla, C. (2005): Fuel from agricultural biogas plants - an economic alternative to power generation. In: M. Svatos (Hrsg.): *Bioenergy in Agriculture*. Czech University of Agriculture - Prague, pp. 82-90.
- Kugler, J. (2004): Erneuerbare Energien im Einsatz auf Bio-Betrieben. *Ökologie und Landbau*. 32 (4).
- Leible, L., Wintzer, D. (1993): Energiebilanzen bei nachwachsenden Energieträgern. In: Flaig, H., Mohr, H. (Hrsg.): *Energie aus Biomasse - eine Chance für die Landwirtschaft*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. pp. 67-84.
- Lübbecke, I., Hövelmann, L., Choudhur, K. (2005): Energie aus Biomasse. Herausforderungen für Landwirtschaft und Naturschutz. Workshop der AG Landwirtschaft und Naturschutz von DLG und WWF1, 30./31. Mai 2005 in Berlin. Auswertung der Referate und Diskussionsbeiträge.
- Mast, S. (2006): Pflanzenbau für Biogasanlagen. Energiefruchtfolgen. URL: <http://www.energie-nord-ost-brandenburg.de/downloads/KWSMaisGmbH.pdf>. Last access: 30-08-2007.

- Mayer, K. (2005): Biogas. Erträge entscheiden Wirtschaftlichkeit. Landwirtschaftliche Mitteilungen der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft Steiermark, 145 (5): p. 4.
- Meyer-Aurich, A., Schuler, J., Zander, P., Bachinger, J. (2003): Integration von Umweltzielen in die Betriebsoptimierung im ökologischen Landbau - Möglichkeiten und Grenzen am Beispiel des Versuchsbetriebes Klostersgut Scheyern. In: Ökologischer Landbau der Zukunft: 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 2003 vom 24.-26. Februar an der Universität für Bodenkultur in Wien.
- Meyer-Aurich, A. (1999): Entwicklung von umwelt- und naturschutzgerechten Verfahren der ackerbaulichen Landnutzung für das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Institut für Geographie und Geoökologie, Universität Potsdam. Diss.
- MLUR – Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg und Landesforstanstalt Brandenburg (2004): Heizen mit Holz – Energie aus dem Wald. 1. Auflage, Eberswalde.
- MLUV – Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (2008) Ausgleichszulage für landwirtschaftliche Unternehmen in benachteiligten Gebieten. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV). URL: http://www.mlur.brandenburg.de/cms/detail.php?id=124466&_siteid=33. Last access: 08-08-2008.
- MLUV – Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (2006): Entwicklungsplan für den ländlichen Raum im Land Brandenburg bezogen auf die Flankierenden Maßnahmen des Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL), Abteilung Garantie gem. VO (EG) Nr. 1257/1999 Art. 35 (1), Förderperiode 2000 – 2006. Potsdam, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV). URL: http://www.mlur.brandenburg.de/cms/media.php/2317/ewpl_lr.pdf. Last access: 08-08-2008.
- MLUV – Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (2004b): Die Umsetzung der GAP-Reform im Land Brandenburg. Potsdam, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV). URL: <http://www.mlur.brandenburg.de/cms/media.php/2331/gap.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- MLUV – Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (2007): Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Brandenburgs und Berlins 2007 - 2013. CCI 2007DE06RP007. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg.
- Müller, K., Knierim, A. (2001): Multifunktionale Landschaftsnutzung - Chancen, Hindernisse und Perspektiven für ländliche Räume. In: Solidarität in Landwirtschaft und ländlichen Räumen – Auslaufmodell? Neuorientierung und Perspektiven. Schriftenreihe für ländliche Sozialfragen, 136: 58-70.
- Müller, K.; Toussaint, V.; Bork, H.-R.; Hagedorn, K.; Kern, J.; Nagel, U.J.; Peters, J.; Schmidt, R.; Weith, T.; Werner, A.; Dosch, A.; Pierr, A. (Hrsg.) (2002): Nachhaltigkeit und Landschaftsnutzung: neue Wege kooperativen Handelns. Weikersheim: Margraf Verlag.
- MWB – Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg (2002): Energiestrategie 2010, Ein Bericht der Landesregierung, URL: <http://gl.berlin-brandenburg.de/imperia/md/content/bb-gl/regionalplanung/energiestrategie2010.pdf>. Last access: 08-08-2008.

- NABU – Naturschutzbund (2006): Leitfaden erneuerbare Energien. Konflikte lösen und vermeiden. URL: <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/4.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- Naturschutzhof Brodowin, Ökodorf Brodowin e.V.(2006): Naturschutzfachliche Optimierung des großflächigen Ökolandbaus am Beispiel des Demeterbetriebes Ökodorf Brodowin, Projektdarstellung. URL: http://www.naturschutzhof.de/index_projekt.html. Last access: 08-08-2008.
- Nitsch, J. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. FKZ 901 41 803, 308, Berlin: Köllen Druck.
- Nitsch, J. (2005): Erneuerbare Energien in Deutschland - Szenarien eines ökologisch optimierten Ausbaus. Forschungsvorhaben FKZ 901 41 803 gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Nitsch, J. (2007): Leitstudie: Ausbaustrategie Erneuerbare Energien Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Oehmichen, J. (1996): Pflanzenproduktion. Band 2: Produktionstechnik. Berlin/Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Öko-Institut & Partner (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. F&E-Vorhaben, BMU-Verbundprojekt, Endbericht, Darmstadt.
- Peters, W. (2007): Die möglichen Risiken des Biomasseanbaus für die Natur und Landschaft und ihre öffentliche Wahrnehmung, In: Stein, S., Kay, S., Springorum, J. (Hrsg.): Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: Biomasseproduktion – ein Segen für die Land(wirt)schaft? Tagung am Bundesamt für Naturschutz – Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm, 12. bis 15. März 2007. Bonn: Bundesamt für Naturschutz. pp. 38-52.
- Peters, W., Wachter, T. (2007): Einflussmöglichkeiten auf den Anbau von Energiepflanzen. Garten und Landschaft (8).
- Plachter, H., Stachow, U., Werner, A. (2005): Methoden Zur Naturschutzfachlichen Konkretisierung Der "Guten Fachlichen Praxis" in der Landwirtschaft. Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
- Reichenbecher, W., Meise, T., Otto, M., Teichmann, H., Winkel, B., Tappeser, B. (2005): Die Umweltrisikoprüfung transgener Pflanzen. Natur und Landschaft, 80: pp. 302-306.
- Reinhardt, G., Scheurlen, K. (2004): Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien; FKZ 801 02 160, 134. Heidelberg: ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung.
- Rode, M., Schneider, C., Ketelhake, G., Reißhauer, D. (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. BfN-Skripten 136, Bonn. URL: <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/skript136.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- Roedenbeck, I. A. E. (2004): Bewertungskonzepte für eine nachhaltige und umweltverträgliche Landwirtschaft - Fünf Verfahren im Vergleich. BIOGUM – Forschungsbericht / BIOGUM-Research Paper, FG Landwirtschaft, Nr. 8. URL: http://www.sozial-oekologische-forschung.org/_media/AgChange-biogum_fb_2004_08.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Rösch, C., Raab, K., Stelzer, V., Johann, J. (2005): Perspektiven einer nachhaltigen Grünlandnutzung zur Energieerzeugung dargestellt am Beispiel Baden-Württemberg.

- In: Austrian Biomass Association (ed.): Proceedings - Central European Biomass Conference 2005, 26.-29.01.2005, Graz, Wien: Eigenverlag.
- Roth, R. (1995): Ertragsabschätzung für wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanzen. In: H.-R. Bork, C. Dalchow, H. Kächele, H.-P. Piorr and K.-O. Wenkel (eds.): Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland unter veränderten Rahmenbedingungen: ökologische und ökonomische Konsequenzen. Berlin: Ernst u. Sohn. pp. 59-61.
- Roth, R., Steinbrenner, K. (1992): Vorrucht- und Fruchtfolgeeffekte auf Sandstandorten in Müncheberg. Tagungsbericht des IV. Fruchtfolgesymposiums am 21. Mai 1992 in Halle a. d. Saale. pp. 70-79.
- Sattler, C. (2008): Evaluation of ecological effects of cropping activities. Humboldt-Universität zu Berlin. Diss.
- Sattler, C., Schuler, J., Zander, P. (2006): Determination of trade-off functions to analyse the provision of agricultural non-commodities. *International Journal of Agricultural resources, Governance and Ecology*, 5 (2/3): pp. 309-325.
- Sattler, C., Schuler, J., Zander, P. (2005): Ökologisch-ökonomische Wirkungsanalyse landwirtschaftlicher Anbauverfahren auf regionaler Ebene unter Verarbeitung unsicheren Wissens. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues*, 40: pp. 361-371.
- Scheffer, K. (1998): Ein produktives, umweltfreundliches Ackernutzungskonzept zur Bereitstellung von Energie und Wertstoffen aus der Vielfalt der Kulturpflanzen – Ansätze für neue Wege. *Beitr. der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg*, Bd. 27, pp. 65-80.
- Scheffer, K. (2002): Grundwasser- und Bodenschutz durch den Anbau von Energiepflanzen, Konferenzband „Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt“. EUROSOLAR-Verlag. pp. 23-26.
- Scheffer, K. (2003): Der Anbau von Energiepflanzen als Chance einer weiteren Ökologisierung der Landnutzung. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 14, pp. 114-119.
- Scheffer, K. (2006): Nachhaltiger Anbau und effiziente Nutzung von Energiepflanzen. *DECHEMA*, 8.-9. März, Güstrow.
- Scheffer, K., Karpenstein-Machan, K. (2001): Ökologischer und Ökonomischer Wert der Biodiversität am Beispiel der Nutzung von Energiepflanzen. Symposium der AG Ressourcen der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung am 23./24.11. 2000 in Witzenhausen. *Schriftenreihe der Zentralstelle für Agrardokumentation und – information*, Informationszentrum Genetische Ressourcen (IGR), Band 16, pp. 177-192.
- Scheurlen, K., Thiele, M., Wettstein, C. (2004): Wirkfaktoren der energetischen Nutzung von Biomasse. In: Scheurlen, K., Reinhardt, G.: *Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien*. F+E Vorhaben: FKZ 801 02 160. pp. 11-55.
- Scholwin F., Michel J., Schröder G., Kalies M. (2006): Ökologische Analyse einer Biogasnutzung aus nachwachsenden Rohstoffen. Endbericht, FKZ: 22014303 (03NR143). FKZ: 22014303 (03NR143).. Leipzig: Institut für Energetik und Umwelt.
- Scholwin, F., Fritsche, U. R., Daniel, J., Hofmann F., Seiffert, M., Fischer, E., Wiegmann, K. (2007): Beurteilung von Biogasanlagenparks im Vergleich zu Hof-Einzelanlagen. Darmstadt, Leipzig: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Öko-Institut e.V.
- Scholwin, F., Thrän, D., Daniel, J., Weber, M., Weber, A., Fischer, E., Jahraus, B., Klinski, S., Vetter, A., Beck, J. (2007): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse.

- Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Scholz, V., Ellerbrock, R., Hellebrand, H. J., Kaulfuss, P., Krüger, K., Kühling, M., Pagel, R., Höhn, A. (1999): Umwelt- und technologiegerechter Anbau von Energiepflanzen. Forschungsbericht des ATB 1999/1, Potsdam-Bornim, 136 p.
- Scholz, V., Grundmann, P. (2004): Energiepflanzen im Vergleich. TEIL II - Energiegewinn und Produktionskosten. energie-pflanzen. Das Fachmagazin für Nachwachsende Rohstoffe und Erneuerbare Energien. V/2004. pp. 13-16. URL: http://www.atb-potsdam.de/hauptseite-deutsch/Institut/abteilungen/Abt3/Mitarbeiter/scholz/pdf_files/Teil2_Komplett%20Text.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Scholz, V., Hellebrand, H. J., Höhn, A. (2004): Energiepflanzen im Vergleich. TEIL 1: Ertrag und Umweltverträglichkeit. energie-pflanzen. Das Fachmagazin für Nachwachsende Rohstoffe und Erneuerbare Energien. IV/2004. pp. 13-16. URL: http://www.atb-potsdam.de/hauptseite-deutsch/Institut/abteilungen/Abt3/Mitarbeiter/scholz/pdf_files/Teil1_KomplettText.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Schöne, F. (2007): Biomasseanbau: Schlussfolgerungen und Forderungen aus Sicht des NABU, In: Stein, S., Kay, S., Springorum, J. (Red.) (2007): Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: „Biomasseproduktion – ein Segen für die Land(wirt)schaft?“. BfN-Skripten 211.
- Schuler, J., Kächele, H. (2003): Modelling on-farm costs of soil conservation policies with MODAM. Environmental Science and Policy, (6): pp. 51-55.
- Schulze, D. (2005): Biomassenutzung im Land Brandenburg, Stand Januar 2005. Nutzung Nachwachsender Rohstoffe in Brandenburg, Stand, Ergebnisse, Perspektiven. Potsdam, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV). URL: http://www.brandenburg.de/cms/media.php/2331/energ_fo.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Schütte, A. (2007): Energiepflanzen in Deutschland – Rahmenbedingungen und Potentiale. 13. März 2007, International Energy Farming Congress in Papenburg“. URL: www.energiepflanzen.info/cms35/fileadmin/energiepflanzen/pdf/gf_NR_Rahmenbed_Papenburg_310307_Schreibges.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Schwertmann, U., Vogl, W., Kainz, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (1998): Umweltgutachten 1998. Umweltschutz: Erreichtes sichern – neue Wege gehen. Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2000): Umweltgutachten 2000. Schritte ins nächste Jahrtausend. Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2002a): Umweltgutachten 2002. Für eine neue Vorreiterrolle. Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2002b): Für eine Stärkung und Neuorientierung des Naturschutzes. Sondergutachten. Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Juli 2007.
- Statistisches Bundesamt (2006): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 2006. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Stein, S., Kay, S., Springorum, J. (2007): Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: Biomasseproduktion – ein Segen für die Land(wirt)schaft? Tagung am Bundesamt für

- Naturschutz, Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm, 12. bis 15. März 2007. BfN-Skripten 211. Bonn: BMU-Druckerei.
- Strehler, A. (1992): Aufbereitung und Verfeuerung von Biomasse als Festbrennstoff. In: Flaig, H., Mohr, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse: eine Chance für die Landwirtschaft. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, pp. 170-187.
- Strohm-Lömpcke, R. (2006): Recherche zu Forschungs-, Entwicklungs- und Modellvorhaben mit Beiträgen zur innovativen Nutzung und Erhaltung von Agrarbiodiversität. URL: http://www.bmelv.de/nn_751688/SharedDocs/downloads/09-BiologischeVielfalt/OnlineRecherche,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/OnlineRecherche.pdf. Last access: 26-07-2007.
- Succow, M. (1997): Landnutzung und Naturschutz - Von der Konfrontation zur Kooperation. NNA Berichte 10 (1): pp. 44-48.
- Thrän, D., Seiffert, M., Müller-Langer, F., Plättner, A., Vogel, A. (2007): Möglichkeiten einer europäischen Biogaseinspeisungsstrategie. Teilbericht 1. Leipzig, Institut für Energetik und Umwelt. URL: http://www.oeko.de/service/bio/dateien/ie2007biogas_osteuropa_teilbericht_1.pdf. Last access: 08-08-2008.
- Thrän, D., Weber, M., Scheuermann, A., Fröhlich, N., Zeddies, J., Henze, A., Thoro, C., Schweinle, J., Fritsche, U., Jenseit, W., Rausch, L., Schmidt, L. (2005): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. Leipzig: Institut für Energetik und Umwelt. URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biohandel_endbericht.pdf. Last access: 08-08-2008.
- UBA – Umweltbundesamt (2003): Anforderungen an die zukünftige Energieversorgung - Analyse des Bedarfs zukünftiger Kraftwerkskapazitäten und Strategie für eine nachhaltige Stromnutzung in Deutschland. Berlin. URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2374.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- Uckert, G. (2004): Versuche zur landbaulichen Verwertung von Holzaschen unter besonderer Berücksichtigung der Knickholzpotenziale Schleswig-Holsteins. Herzogenrath: Shaker-Verlag. Diss.
- Uckert, G., Mette, R. Sattelmacher B. (1997): Art- und raumspezifische Ermittlung von Energie- und Biomassepotentialen an schleswig-holsteinischen Knicks - ein Beitrag zur energetischen Nutzung von Biomasse“. 109. VDLUFA-Kongress in Leipzig. VDLUFA-Schriftenreihe 46, Kongressband 1997, pp. 483-486.
- Uckert, G., Schuler, J., Matzdorf, B., Lorenz, J., Hucke, I., Hildebrand, S. (2007): Grünes Gold im Osten?! Flächenansprüche von Biomassepfaden durch klimabedingte Ausbauziele und Handlungsoptionen für die Raumordnung. BBR-Endbericht, Online-Veröffentlichung Homepage ZALF: URL: http://www.zalf.de/home_zalf/institute/soz/soz/download.htm. Last access: 08-08-2008.
- UN-Energy (2007): Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers. URL: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1094e/a1094e00.pdf>. Last access: 08-08-2008.
- Vetter, A. (2006): Standortgerechte und umweltverträgliche Produktion von Energiepflanzen. Tagung: "Energie aus Biomasse weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven" des Dachverbandes Agrarforschung vom 25. - 26. Oktober 2006 in Braunschweig.

- Walla, C (2006): Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Institut für Agrar- und Forstökonomie, 105 p.
- Walla, C. (2004): Biogasproduktion in rinderhaltenden Betrieben. In: Beiträge des wissenschaftlichen Seminars: Die EU-Integration Tschechiens - Anpassungsprozesse im Agrarsektor des österreichisch-tschechischen Grenzraums.
- Walla, C., Schneeberger, W. (2005): Energiepflanzenproduktion für Biogasanlagen. Agrarische Rundschau, (4): pp. 36-40.
- Walla, C., Schneeberger, W. (2005): Ökonomische Analysen zum Betriebszweig Energiepflanzenproduktion für Biogasanlagen. In: Austrian Biomass Association(ed) Proceedings - Central European Biomass Conference 2005, 26.-29.01.2005, Graz. Wien: Eigenverlag, 7 p.
- Wendland, F., Albert, H., Bach, M., Schmidt, R. (Hrsg.) (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. Rasterkarten zu geowissenschaftlichen Grundlagen, Stickstoffbilanzgrößen und Modellergebnissen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 96 p.
- Wilfert, R., Nill, M., Schattauer, A. (2004): Biogasgewinnung aus Gülle, organischen Abfällen und aus angebauter Biomasse - Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse. DBU Projekt 15071.
- Zah, R., Böni, H., Gauch, M., Hirsch, R., Lehmann, M., Wäger, P. (2007): Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Schlussbericht. ETH-Bereich, Bern: Empa.
- Zander, P. (2003): Agricultural land use and conservation options: a modelling approach. Wageningen, Universität. URL: <http://library.wur.nl/wda/dissertations/dis3372.pdf>. Last access: 08-08-2008. Diss.
- Zander, P., Kächele, H. (2000): Analysis of Interdependencies between Economical and Ecological Indicators of Agricultural land Use. MODAM – a Multi-Objective Decision Support Tool for Agroecosystem Management. In: Schiefer, G.; R. Helbig, Rickert, U. (eds.): Perspectives of Modern Information and Communication Systems in Agriculture, Food Production and Environmental Control. Bonn: ILB-Verlag. pp. 129-140.
- Zeddies, J. (2006): Nachwachsende Rohstoffe für den Energiesektor. In: Darnhofer, I., Wyrzens, H., Walla, C. (eds.): Alternative Strategien für die Landwirtschaft. Facultas Wien: Verlags- und Buchhandel AG, pp. 123-134.

6 Anhang

Tab. 6-1: Biogasmodul: Details

TTV: Beschreibung des Fermenters einer Biogasanlage (verschiedene Größen)
 TTKoLe: Kosten und Leistungen des Fermenters (in Naturalgrößen), Nutzungsdauer, Variable Kosten

TP1 Betriebsmittel (inkl. Untertabellen): Preise zu Biogasrelevanten Betriebsmitteln

BetrMtNr	Description_DE	BetrMt	BetrMtGrNr	Einh
86990000	Biogas_TEST	biogas	86990	cbm
86990100	Biogas_Reststoff_TEST	biogas_rest	86990	cbm
80899001	Biogas Altanlage	Biogas Altanlage	86990	Stück
80899019	Biogasanlage_100 kW (Fermenter 1100 m3)	Biogasanlage_100 kW (Fermenter 1100 m3)	86990	Stück
80899029	Biogasanlage_250 kW (Fermenter 2750 m3)	Biogasanlage_250 kW (Fermenter 2750 m3)	86990	Stück
80899039	Biogasanlage_500 kW (Fermenter 5500 m3)	Biogasanlage_500 kW (Fermenter 5500 m3)	86990	Stück
80899049	Biogasanlage_1000 kW (Fermenter 11000 m3)	Biogasanlage_1000 kW (Fermenter 11000 m3)	86990	Stück
80899119	Biogasanlage_100 kW BHKW	Biogasanlage_100 kW BHKW	86991	Stück
80899129	Biogasanlage_250 kW BHKW	Biogasanlage_250 kW BHKW	86991	Stück
80899139	Biogasanlage_500 kW BHKW	Biogasanlage_500 kW BHKW	86991	Stück
80899149	Biogasanlage_1000 kW BHKW	Biogasanlage_1000 kW BHKW	86991	Stück
86990201	Biogas_Strom 100 kW BHKW	Biogas_Strom 100 kW BHKW	86990	kWh
86990202	Biogas_Strom 250 kW BHKW	Biogas_Strom 250 kW BHKW	86990	kWh
86990203	Biogas_Strom 500 kW BHKW	Biogas_Strom 500 kW BHKW	86990	kWh
86990204	Biogas_Strom 1000 kW BHKW	Biogas_Strom 1000 kW BHKW	86990	kWh
80899002	Biogas Altanlage 250	Biogas Altanlage 250	86990	Stück
80899003	Biogas Altanlage 500	Biogas Altanlage 500	86990	Stück
80899004	Biogas Altanlage 1000	Biogas Altanlage 1000	86990	Stück

TS11: Stallgrößengruppen: Definition Bauhülle

TierGrNr	Description_DE	DerTyp	StallGrGpNr	KIMin	KIMax
99	Biogas	biogas	1		

TS1vor: Zuordnung bestimmter Arbeitsschritte zu einem Haltungsverfahren in der Tierproduktion; hier übertragen auf die Biogasanlage Beschickung und Entleerung

HaltVerNr	NrTyp	Description_DE	RestNutzDaJ	FütVerNr	EntmVerNr
99000000	11	Biogasanlage	20	990100	999500
99000001	11	Biogasanlage 100kW	20	990100	999501
99000002	11	Biogasanlage 250kW	20	990100	999502
99000003	11	Biogasanlage 500kW	20	990100	999503
99000004	11	Biogasanlage 1000kW	20	990100	999504

TS3 und TS4: Beschreibung der Arbeitsverfahren zur Beschickung und Entleerung der Anlage

Biogasmodul Abfragen:

BGA_CH4_Gehalt: Berechnung der Biogasausbeute und CH4-Gehalt auf der Basis von ME (Rind);

BGA_m3_kg_oTM: $0,0442*[ME-r]+0,2918$

CH4_m3_kg_oTM: $(0,0442*[ME-r]+0,2918)*0,53$

Biog_WiDü_CH4: Bereitstellung von BGA und CH4 aus Wirtschaftsdüngern

Basierend auf folgender Funktion:

Function BGA_WiDu(TierGrNr, DerTyp) As Single

'Biogas-Ausbeute in liter je kg TS nach TierGrNr und DüngerTyp

'TierGrNr = XATier!TierGrNr

'DerTyp = TATVWiDüT!TS

If TierGrNr > 1 And DerTyp = 1 Then BGA_WiDu = 300 'Pferdemist

If TierGrNr > 9 And DerTyp = 1 Then BGA_WiDu = 440 'Rindermist

If TierGrNr > 9 And DerTyp = 3 Then BGA_WiDu = 340 'Rindergülle

If TierGrNr > 49 And DerTyp = 1 Then BGA_WiDu = 350 'Schweinemist

If TierGrNr > 49 And DerTyp = 3 Then BGA_WiDu = 380 'Schweinegülle

Für tierische Reststoffe: Im Falle von CH4 wird BGA mit dem Faktor *0,58 umgerechnet

NrBetrieb LP	BetrMt	TS	BGA	CH4
Ki	Stallung, Rind	0,25	440	255,2
Ki	Stallung, Schwein	0,25	350	203
Ki	Gülle, Rind 6% TS	0,06	340	197,2
Ki	Gülle, Schwein 9% TS	0,09	380	220,4

Nährstoffrestriktionen

A_Name	Jahresmaximum kg	Jahresanspruch CH4 cbm
Biogasanlage_100 kW (Fermenter 1100 m3)	3850	247500
Biogasanlage_250 kW (Fermenter 2750 m3)	9625	618750
Biogasanlage_500 kW (Fermenter 5500 m3)	19250	1237500
Biogasanlage_1000 kW (Fermenter 11000 m3)	38500	2475000

TS-Maxima im Modul ZKF-Bedarf festgelegt

CH4-Anspruch siehe TTKoLe

Wichtige X-Abfragen mit Biogasbezug:

- XABHKW: Aktivität, die Biogas innerbetrieblich in Strom umwandelt, der verkauft werden kann.
- XABHKWVerkauf: Verkauf des innerbetrieblich gewonnenen Stroms
- XAFutterW: enthält Verfahren, deren Ernteprodukte auch für Biogasanlagen in Frage kommen
- XANPK: Aktivitäten im Modell, die organischen Dünger auf die Pflanzenbauverfahren verteilen. Enthält auch die im Fermenter anfallenden Gärreste.
- XATier: enthält die Aktivität Fermenter, mit der im Betrieb aus Ernteprodukten und organischen Reststoffen CH₄ hergestellt wird.
- XATierVerkauf: Verkauf der tierischen Produkte, d.h. auch des Biogases. Strom wird in einem gesonderten Modul verkauft.
- XATierZukauf: Zukauf des Fermenters, abhängig von der Nutzungsdauer
- XKBHKW: Kosten der Verstromung, auf cbm bezogen
- XKBHKWVerkauf: Verkauf von Strom aus Biogas, auf kWh bezogen
- XRBBKW_kWh: Transfergleichung für kWh aus BHKW zum Verkauf
- XRfütterInhalt: legt Maximalbelastung des Fermenters mit TS pro Jahr fest
- XRfütterInhaltBiogas: Anspruchsgleichung für CH₄-Bedarf eines Fermenters
- XTNPKTierCH₄-: Verwertungsmöglichkeit der Biogasanlage für Gülle und Mist, Lieferung CH₄ je TierNr an die Anlage
- XTFütterPflanze+: Transfer und Umrechnung Erträge (dt >kg)
- XTFütterTier+: Transfer Trockensubstanz-Maxima der Biogasanlagen
- XTFütterTierbiogas+: Ansprüche der Biogasanlagen an CH₄ in cbm, um auf voller Leistung betrieben werden zu können

Übersicht: Abfragen mit Bezug zur Biogasproduktion

Blockname	Restriktion	Aktivität	Kosten	Tech_Koeff
BHKW		XABHKW	XKBHKW	
BHKW				XTBHKW-
BHKW	XRBHKW_kWh			
BHKW				XTBHKW+1
BHKW		XABHKWVerkauf	XKBHKWVerkauf	
BHKW				XTBHKWVerkauf+
Futter	XRFutterInhalt			
Futter	XRFutterInhaltBiogas			
Futter				XTFutterPflanze+
Futter				XTFutterTier+
Futter				XTFutterTierbiogas+
Futter		XAFutterW	XKFutterW	
Futter				XTFutterW-
Futter				XTFutterWbiogas-
Futter		XAFutterZukauf	XKFutterZukauf	
NPK		XANPK	XKNPK	
NPK				XTNPK+1
NPK	XRNPKGülle			
NPK				XTNPKGülle-
NPK				XTNPKGülle+
NPK				XTNPKMist-
NPK				XTNPKMist+
NPK				XTNPKTierCH4-
NPK				XTNPKTierCH4TS-
NPK	XRNPKTransfer			
Tier		XATier	XKTier	
Tier				XTTierBestandesergänzung+
Tier	XRTierkörper			
Tier	XRTierProdukte			
Tier				XTTierProdukte-
Tier				XTTierSchlachtkörper-
Tier				XTTierStall+1
Tier	XRTierStallplätze			
Tier				XTTierStallplätze+
Tier		XATierVerkauf	XKTierVerkauf	
Tier				XTTierVerkaufKörper+
Tier				XTTierVerkaufSonstige+1
Tier		XATierZukauf	XKTierZukauf	
Tier				XTTierZukauf-1

**Vom Land Brandenburg vorgeschlagene Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung
gemäß Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Gebiete) – sortiert nach Landesnummer –
Stand: September 2004**

Die jeweiligen EU-Codes für die Lebensraumtypen sind in der Liste der in Brandenburg vorkommenden Lebensraumtypen (s. nächste Seite) erklärt.

Landes-Nr.	Eu-Nr.	Gebietsname	Gebietsgröße in [ha]	Lebensraumtypen	Arten
215	DE 3754-303	Mittlere Oder	1387,85	3150, 3260, 3270, 6120*, 6410, 6430, 6440, 6510, 9160, 9190, 91E0*, 91F0	Biber, Bitterling, Europäische Sumpfschildkröte, Fischotter, Flussneunauge, Grüne Keiljungfer, Kammmolch, Rapfen, Rotbauchunke, Schlammpeitzger, Steinbeißer, Weißflossiger Gründling
397	DE 3552-303	Lietzen/Döbberin	450,23	3150, 6120*, 6210(*), 6510	Bitterling, Rotbauchunke, Schlammpeitzger, Steinbeißer

<http://www.bis2006.de/cms/media.php/2338/ffhliste.pdf>

EU-Code	Lebensraumtypen	
3150	Natürliche eutrophe Seen mit einer Vegetation des Magnopotamions oder Hydrocharitions	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
3260	Flüsse der planaren bis montanen Stufe mit Vegetation des Ranunculion fluitantis und des Callitricho-Batrachion	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
3270	Flüsse mit Schlammflächen mit Vegetation des Chenopodion rubri p.p. und des Bidention p.p.	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
6120	* Trockene, kalkreiche Sandrasen * Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien (Festuco-Brometalia)(* besondere Bestände mit bemerkenswerten Orchideen)	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
6210	Subtypen: 6212 * Submediterrane Halbtrockenrasen (Mesobromion) 6214 * Halbtrockenrasen sandig-lehmiger basenreicher Böden (Koelerio-Phleion phleoides)	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
6410	Pfeifengraswiesen auf kalkreichem Boden, torfigen und tonig-schluffigen Böden (Molinion caeruleae)	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
6430	Feuchte Hochstaudenfluren der planaren und montanen bis alpinen Stufe Subtyp: 6431 Feuchte Hochstaudenfluren, planar bis montan	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
6440	Brenndolden-Auenwiesen (Cnidion dubii)	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
6510	Magere Flachland-Mähwiesen (Alopecurus pratensis, Sanguisorba officinalis)	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
9160	Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald (Carpinion betuli) [Stellario-Carpinetum]	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
9190	Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit Quercus robur * Auen-Wälder mit Alnus glutinosa und	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
91E0	Fraxinus excelsior (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae)	(Beschreibung und Erhaltungszustand)
91F0	Hartholzauewälder mit Quercus robur, Ulmus laevis, Ulmus minor, Fraxinus excelsior oder Fraxinus angustifolia (Ulmenion minoris)	(Beschreibung und Erhaltungszustand)

http://www.bis2006.de/cms/detail.php?id=lbm1.c.234908.de&_siteid=300

Produktionsverfahren

➔ Anhang zur Partialanalyse

Tab. 6-2: In den Szenarien der Modellierungsphase C und D verwendete Verfahren auf Standorten der AZKI 25

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
EP Ganzpflanzensilage, Winterroggen, Energiepflanze	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m+ Nachläufer	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	10.9.
WRO11102r325_Epfl	Kurzgrubber, 4,0m	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	10.9.
	Pumpentankwagen, 12.000 l, 10cbm/ha dir. Verfahren	Gärssubstrat	1,0	15,0	15,0	1.9.	10.9.
	Düngerstreuer, pneumat., 24m, 6.000 l, angeh., Hof füllen, 1dt,HS	Kalkammonsalpeter 27% N ungesackt	1,0	105,0	105,0	11.4.	20.4.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	105,0	0,0	11.4.	20.4.
	Kreiseleggendrill, Getreide, 5,0 m	Winterroggen	1,0	150,0	150,0	11.9.	20.9.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Schnellläufer, Hof, dir. Verf.	Fenikan	1,0	2,0	2,0	11.10.	20.10.
	Dienstleistung - GPS mit SF-Feldhäcksler	-	1,0	200,0	200,0	11.6.	20.6.
	Ganzpflanzensilage, Paralleltransport	-	1,0	200,0	0,0	11.6.	20.6.
	Ganzpflanzensilage, Transport, Feld/Silo, 1 Anh., 60dt/TE	-	1,0	200,0	0,0	11.6.	20.6.
	Ganzpflanzensilage, einlagern, verteilen, festfahren in Flachsilo	-	1,0	200,0	0,0	11.6.	20.6.
	Ertrag an Produkten	EP Ganzpflanzensilage, Winterroggen, Energiepflanze	1,0	200,0	200,0	11.6.	20.6.

Tab. 6-3: In den Szenarien der Modellierungsphase C und D verwendete Verfahren auf Standorten der AZKI 38

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
EP Hirsen, Silage, Energiepflanze	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m+ Nachläufer	-	1,0	0,0	0,0	1.5.	10.5.
	Kurzgrubber, 4,0m	-	1,0	0,0	0,0	1.5.	10.5.
	Pumpentankwagen, 12.000 l, 10cbm/ha dir. Verfahren	Gärsubstrat	1,0	25,0	25,0	1.5.	10.5.
FGR11108r138_Epfl	Kreiseleggendrill, Ölfrüchte + Feinsämereien, 5,0 m	Zuckerhirse/Sudangras (Sorghum bicolor oder sudanense)	1,0	35,0	35,0	11.5.	20.5.
	Düngerstreuer, pneumat., 24m, 6.000 l, angeh., Hof füllen, 1dt,HS	Gärsubstrat	1,0	20,0	20,0	10.6.	20.6.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	20,0	0,0	10.6.	20.6.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Schnellläufer, Hof, dir. Verf.	Certrol B	1,0	1,5	1,5	10.6.	20.6.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 200-250 kW (272-340PS), Mais, 6-reihig	-	1,0	450,0	450,0	21.9.	30.9.
	Maistransp.+Pa-tr. 2Anh., 6-reihig, 13t/TE, 450dt/ha zu 140109000	-	1,0	450,0	0,0	21.9.	30.9.
	Mit Radlader Silomais, einlagern	-	1,0	450,0	0,0	21.9.	30.9.
	Ertrag an Produkten	Hirse, Silage, Energiepflanze	1,0	450,0	450,0	21.9.	30.9.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
EP Silomais, Silage, Energiepflanze SMA11108r138_Epfl	Kurzgrubber, 4,0m	-	1,0	0,0	0,0	11.4.	20.4.
	Pumpentankwagen, 12.000 l, 10cbm/ha dir. Verfahren	Gärsubstrat	1,0	25,0	25,0	11.4.	20.4.
	Einzelkorndrillmaschine mit Reihendüngung, 8-reihig, Mais, 6,0 m	Silomais, allgemein	1,0	2,2	2,2	20.4.	30.4.
	zusätzliches Betriebsmittel ohne eigenes Verfahren	Diammonphosphat, 18%N, 46%P2O5 ungesackt	1,0	110,0	110,0	20.4.	30.4.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Schnellläufer, Hof, dir. Verf.	Gardo Gold	1,0	4,0	4,0	11.5.	20.5.
	Pumpentankwagen, 12.000 l, 10cbm/ha dir. Verfahren	Gärsubstrat	1,0	20,0	20,0	21.5.	30.5.
	Anbaumaishäcksler, 3-reihig, Paralleltransport (3) Mais	-	1,0	533,0	533,0	11.9.	20.9.
	Mais-Paralleltransport zu (3) 140106000	-	1,0	533,0	0,0	11.9.	20.9.
	Maistransp. Feld-Silo zu (3) 6,5t/TE 140106000	-	1,0	533,0	0,0	11.9.	20.9.
	Siloverteiler, Angeb. Silomais, einlagern zu 140106000 bis 140109000	-	1,0	533,0	0,0	11.9.	20.9.
	Ertrag an Produkten	EP Silomais, Silage, Energiepflanze	1,0	533,0	533,0	11.9.	20.9.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Luzernegras, Grünfutter	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	0,3	0,0	0,0	16.3.	5.5.
LZG1100a38_BBIn	Ackeregge, schwer, 9 m	-	0,3	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Ölfrüchte + Feinsämereien	Luzerne, allgemein	0,3	20,0	20,0	16.3.	5.5.
	Frontmäherwerk (2,4m), Ladewagen (4,0t/TE)	Luzernegras, Grünfutter	1,7	156,3	156,3	6.5.	4.7.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	308,3	61,7	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	610,5	244,2	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	1,0	500,0	250,0	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	1418,8	0,0	21.7.	31.8.
	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m	-	0,3	0,0	0,0	1.9.	17.11.
	Frontmäherwerk (2,4m), Ladewagen (4,0t/TE)	Luzernegras, Grünfutter	0,3	183,9	183,9	1.9.	20.10.
	Frontmäherwerk (2,4m), Ladewagen (4,0t/TE)	Luzernegras, Grünfutter	0,7	126,4	126,4	1.10.	17.11.
	Ertrag an Produkten	Luzernegras, Grünfutter	0,3	1,0	1218,1	1.10.	17.11.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Luzernegras, Silage	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m	-	0,3	0,0	0,0	1.9.	17.11.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	0,3	0,0	0,0	16.3.	5.5.
LZS1100138_BBin	Ackeregge, schwer, 9 m	-	0,3	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Ölfrüchte + Feinsämereien	Luzerne, allgemein	0,3	20,0	20,0	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	246,6	49,3	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	488,4	195,4	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	1,0	500,0	250,0	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	1235,0	0,0	21.7.	31.8.
	Kreiselm. mit Aufbereiter, 4,5m Front- + Heckanbau	Luzernegras, Silage	0,3	66,9	66,9	1.9.	20.10.
	Kreiselzettwender, 8,5 m	-	0,3	66,9	0,0	1.9.	20.10.
	Kreiselschwader, 6,2 m	-	0,3	66,9	0,0	1.9.	20.10.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 150-200 kW, Welkgut verteilen, festf., zud. Welkgut 120dt	-	0,3	66,9	0,0	1.9.	20.10.
	Kreiselm. mit Aufbereiter, 4,5m Front- + Heckanbau	Luzernegras, Silage	1,0	58,5	58,5	6.5.	4.7.
	Kreiselzettwender, 8,5 m	-	1,0	58,5	0,0	6.5.	4.7.
	Kreiselschwader, 6,2 m	-	1,0	58,5	0,0	6.5.	4.7.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 150-200 kW, Welkgut verteilen, festf., zud. Welkgut 120dt	-	1,0	58,5	0,0	6.5.	4.7.
	Kreiselm. mit Aufbereiter, 4,5m Front- + Heckanbau	Luzernegras, Silage	1,0	50,1	50,1	21.7.	31.8.
	Kreiselzettwender, 8,5 m	-	1,0	50,1	0,0	21.7.	31.8.
	Kreiselschwader, 6,2 m	-	1,0	50,1	0,0	21.7.	31.8.
	verteilen, festf., zud. Welkgut 120dt	-	1,0	50,1	0,0	21.7.	31.8.
	Kreiselm. mit Aufbereiter, 4,5m Front- + Heckanbau	Luzernegras, Silage	0,3	50,1	50,1	1.10.	17.11.
	Kreiselzettwender, 8,5 m	-	0,3	50,1	0,0	1.10.	17.11.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 150-200 kW, Welkgut	-	1,0	50,1	0,0	21.7.	31.8.
	Kreiselzettwender, 8,5 m	-	0,3	66,9	0,0	1.9.	20.10.
	Kreiselschwader, 6,2 m	-	0,3	50,1	0,0	1.10.	17.11.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 150-200 kW, Welkgut verteilen, festf., zud. Welkgut	-	0,3	50,1	0,0	1.10.	17.11.
	Ertrag an Produkten	Luzernegras, Silage	0,3	1,0	443,0	21.7.	31.8.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Speisekartoffeln (10% Futter)	Schwergrubber, 6 m	-	1,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
SKA1100a38_BBIn	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	17.11.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO gesackt	1,0	500,0	250,0	1.9.	17.11.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	500,0	0,0	1.9.	17.11.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Reglone	0,5	200,0	1,0	1.10.	17.11.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l, Hof füllen, 2dt/ha	Ammonsulfatsalpeter 26% N ungesackt	1,0	287,4	287,4	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	210,6	42,1	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	489,7	195,9	16.3.	5.5.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	2,0	567,9	0,0	16.3.	5.5.
	Kartoffellegegerät, Anhänge-, vollautom., Kippbunker, 6-reihig, 4t, 4,5m	Speisekartoffeln	1,0	25,0	25,0	16.3.	5.5.
	Pflanzk.transp. zu Anbaulegem. vollautom., Kippbunker, 6-reihig 3t, 4,5m	-	1,0	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	(W) Breitblättrige Unkräuter in Kartoffeln VA VA	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l, Hof füllen, 2dt/ha	Ammonsulfatsalpeter 26% N ungesackt	1,0	148,0	148,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Phytophthora	2,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Ungräser in Kartoffeln NA	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Phytophthora	3,0	200,0	1,0	5.7.	20.7.
	Kartoffelsammelroden 2-reihig, mit Überladeband (1)	Speisekartoffeln (10% Futter)	1,0	263,3	263,3	1.10.	17.11.
	Kartoffeln, Paralleltransport 80dt/Wagen zu 90106100	-	1,0	263,3	0,0	1.10.	17.11.
	Kartoffeltransport vom Feldrand zum Lager, 12,0t/TE aller 901-Verf. lose Ware	-	1,0	263,3	0,0	1.10.	17.11.
	Ertrag an Produkten	Speisekartoffeln (10% Futter)	1,0	1,0	263,3	1.10.	17.11.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Silomais, Silage SMA1100a38_BBIn	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m	-	1,0	0,0	0,0	1.10.	17.11.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	1,0	314,3	314,3	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	405,7	162,3	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	16.3.	5.5.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	2,3	906,7	0,0	16.3.	5.5.
	Einzelkorndrillmaschine mit Reihendüngung, 8-reihig, Mais, 6,0 m	Silomais, allgemein	1,0	2,2	2,2	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	breitblättrige Unkräuter in Körnermais VA + NA	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Samenunkräuter u. Unkrauthirsen in Körnermais VA + NA	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Schwergrubber, 6 m	-	1,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 200-250 kW (272-340PS), Mais, 6-reihig	Silomais, Silage	1,0	288,5	288,5	1.9.	20.10.
	Maistransp.+Pa-tr. 2Anh., 6-reihig, 13t/TE, 450dt/ha zu 140109000	-	1,0	288,5	0,0	1.9.	20.10.
	Mit Radlader Silomais, einlagern zu 140106000 bis 140109000	-	1,0	288,5	0,0	1.9.	20.10.
	Ertrag an Produkten	Silomais, Silage	1,0	1,0	288,5	1.9.	20.10.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Silomais, Silage SMA1206a38_BBin	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	aufgesattelte Scheibenegge, 6m	-	1,0	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	1,0	314,3	314,3	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	405,7	162,3	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	16.3.	5.5.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	2,3	906,7	0,0	16.3.	5.5.
	Einzelkorndrillmaschine mit Reihendüngung, 8-reihig, Mais, 6,0 m	Silomais, allgemein	1,0	2,2	2,2	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	breitblättrige Unkräuter in Körnermais VA + NA	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Samenunkräuter u. Unkrauthirsen in Körnermais VA + NA	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 200-250 kW (272-340PS), Mais, 6-reihig	Silomais, Silage	1,0	288,5	288,5	1.9.	20.10.
	Maistransp.+Pa-tr. 2Anh., 6-reihig, 13t/TE, 450dt/ha zu 140109000	-	1,0	288,5	0,0	1.9.	20.10.
	Mit Radlader Silomais, einlagern zu 140106000 bis 140109000	-	1,0	288,5	0,0	1.9.	20.10.
	Ertrag an Produkten	Silomais, Silage	1,0	1,0	288,5	1.9.	20.10.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Silomais, Silage SMA1208a38_BBIn	aufgesattelte Scheibenegge, 6m	-	1,0	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	16.3.	5.5.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67 % KAS, 33,3% N, gesackt	1,0	14,0	14,0	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100 % K2O ungesackt	1,0	62,0	24,8	16.3.	5.5.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	16.3.	5.5.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	2,3	692,0	0,0	16.3.	5.5.
	Einzelkorndrillmaschine mit Reihendüngung, 8-reihig, Mais, 6,0 m	Silomais, allgemein	1,0	2,2	2,2	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	breitblättrige Unkräuter in Körnermais VA + NA	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Samenunkräuter u. Unkrauthirsen in Körnermais VA + NA	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Kompressor-, 12.000 l Gülle,10cbm/ha dir. Verfahren	Gülle, Rind 8% TS	1,0	25,0	25,0	21.7.	31.8.
	Exaktfeldhäcksler, Selbstfahrer, 200-250 kW (272-340PS), Mais, 6-reihig	Silomais, Silage	1,0	288,5	288,5	1.9.	20.10.
	Maistransp.+Pa-tr. 2Anh., 6-reihig, 13t/TE, 450dt/ha zu 140109000	-	1,0	288,5	0,0	1.9.	20.10.
	Mit Radlader Silomais, einlagern zu 140106000 bis 140109000	-	1,0	288,5	0,0	1.9.	20.10.
	Ertrag an Produkten	Silomais, Silage	1,0	1,0	288,5	1.9.	20.10.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Winterraps	Schwergrubber, 6 m	-	1,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
WRA1206a38_BBin	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	367,8	73,6	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	345,8	138,3	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	713,7	0,0	21.7.	31.8.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	1,0	90,0	90,0	1.9.	20.10.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	399,8	0,0	1.9.	20.10.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Ungräser und Ausfallgetreide in Raps NA	1,0	200,0	1,0	1.9.	20.10.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	1.10.	17.11.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Ölfrüchte + Feinsämereien	Winterraps	1,0	3,0	3,0	1.10.	17.11.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	2,0	154,9	154,9	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Ungräser und Ausfallgetreide in Raps NA	0,5	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Rapsglanzkäfer	1,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Kohlschotenrüßler	1,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Weißstängligkeit	0,5	200,0	1,0	5.7.	20.7.
	Mähdrusch 160-200 kW (218-273 PS), 6m, Raps	Winterraps	1,0	31,4	31,4	21.7.	31.8.
	Lohntrocknung - Ölsaaten o. Sonnenbl. b. 5% Wasserentzug	-	1,0	31,4	0,0	21.7.	31.8.
	Getreidetransp. 2Anhänger, 15,2t/TE, 60dt/ha, vom Mähdr. Feld/Hof	-	1,0	31,4	0,0	21.7.	31.8.
	Elevator, 20 t/h 1,5kW, Korn, 10m	-	1,0	31,4	0,0	21.7.	31.8.
	Ertrag an Produkten	Winterraps	1,0	1,0	31,4	21.7.	31.8.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Winterroggen	Schwergrubber, 6 m	-	1,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
WRO1102a38_BBIn	Kompressor-, 12.000 l Gülle, 10cbm/ha dir. Verfahren	Gülle, Rind 8% TS	1,0	25,0	25,0	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	11,5	2,3	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,3	1005,7	0,0	21.7.	31.8.
	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m+ Nachläufer	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	20.10.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	20.10.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Getreide	Winterroggen	1,0	100,0	100,0	1.10.	17.11.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Ungräser außer Klettenlabkraut in Getreide	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Mehltau u. Blattflecken	1,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Halmverkürzung, Getreide	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Strohhäcksler für Mähdrusch	-	1,0	50,3	0,0	21.7.	31.8.
	Mähdrusch 160-200 kW (218-273 PS), 6m, Getreide	Winterroggen	1,0	50,3	50,3	21.7.	31.8.
	Lohntrocknung - Getreide, b. 4% Wasserentzug	-	1,0	50,3	0,0	21.7.	31.8.
	Getreidetransp. 2Anhänger, 15,2t/TE, 60dt/ha, vom Mähdr. Feld/Hof	-	1,0	50,3	0,0	21.7.	31.8.
	Elevator, 20 t/h 1,5kW, Korn, 10m	-	1,0	50,3	0,0	21.7.	31.8.
	Ertrag an Produkten	Winterroggen	1,0	1,0	50,3	21.7.	31.8.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Winterroggen	Schwergrubber, 6 m	-	1,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
WRO1103a38_BBin	Kompressor-, 12.000 l Gülle, 10cbm/ha dir. Verfahren	Gülle, Rind 8% TS	1,0	25,0	25,0	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	11,5	2,3	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,3	1005,7	0,0	21.7.	31.8.
	Aufsattelbeetpflug, 8-furchig, 2,8m+ Nachläufer	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	20.10.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	20.10.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Getreide	Winterroggen	1,0	100,0	100,0	1.10.	17.11.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Ungräser außer Klettenlabkraut in Getreide	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Mehltau u. Blattflecken	1,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Halmverkürzung, Getreide	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Mähdrusch 160-200 kW (218-273 PS), 6m, Getreide	Winterroggen	1,0	50,3	50,3	21.7.	31.8.
	Lohntrocknung - Getreide, b. 4% Wasserentzug	-	1,0	50,3	0,0	21.7.	31.8.
	Getreidetransp. 2Anhänger, 15,2t/TE, 60dt/ha, vom Mähdr. Feld/Hof	-	1,0	50,3	0,0	21.7.	31.8.
	Elevator, 20 t/h 1,5kW, Korn, 10m	-	1,0	50,3	0,0	21.7.	31.8.
	Rundballen pressen, 1,8m, Stroh, 50dt	Stroh, Einstreuqualität	1,0	40,2	40,2	21.7.	31.8.
	Rundballen, 1,8m, Stroh, laden, Transp., stapeln, zu 130411000	Bindegarn, HD-Ballen	1,0	40,2	40,2	21.7.	31.8.
Stroh, Einstreuqualität	Ertrag an Produkten	Stroh, Einstreuqualität	1,0	1,0	40,2	21.7.	31.8.
	Ertrag an Produkten	Winterroggen	1,0	1,0	50,3	21.7.	31.8.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Winterroggen	Schwergrubber, 6 m	-	2,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
WRO1206a38_BBin	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	298,0	59,6	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	223,5	89,4	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,3	1260,8	0,0	21.7.	31.8.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	17.11.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Getreide	Winterroggen	1,0	100,0	100,0	1.9.	17.11.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	2,0	163,5	163,5	16.3.	5.5.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	327,0	0,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Ungräser außer Klettenlabkraut in Getreide	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Mehltau u. Blattflecken	1,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Halmverkürzung, Getreide	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Strohhäcksler für Mähdrusch	-	1,0	57,3	0,0	21.7.	31.8.
	Mähdrusch 160-200 kW (218-273 PS), 6m, Getreide	Winterroggen	1,0	57,3	57,3	21.7.	31.8.
	Lohntrocknung - Getreide, b. 4% Wasserentzug	-	1,0	57,3	0,0	21.7.	31.8.
	Getreidetransp. 2Anhänger, 15,2t/TE, 60dt/ha, vom Mähdr. Feld/Hof	-	1,0	57,3	0,0	21.7.	31.8.
	Elevator, 20 t/h 1,5kW, Korn, 10m	-	1,0	57,3	0,0	21.7.	31.8.
	Ertrag an Produkten	Winterroggen	1,0	1,0	57,3	21.7.	31.8.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Winterroggen	Schwergrubber, 6 m	-	2,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
WRO1207a38_BBIn	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	298,0	59,6	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	223,5	89,4	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,3	1260,8	0,0	21.7.	31.8.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	1.9.	17.11.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Getreide	Winterroggen	1,0	100,0	100,0	1.9.	17.11.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	2,0	163,5	163,5	16.3.	5.5.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	327,0	0,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Ungräser außer Klettenlabkraut in Getreide	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Mehltau u. Blattflecken	1,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Halmverkürzung, Getreide	0,5	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Mähdrusch 160-200 kW (218-273 PS), 6m, Getreide	Winterroggen	1,0	57,3	57,3	21.7.	31.8.
	Lohntrocknung - Getreide, b. 4% Wasserentzug	-	1,0	57,3	0,0	21.7.	31.8.
	Getreidetransp. 2Anhänger, 15,2t/TE, 60dt/ha, vom Mähdr. Feld/Hof	-	1,0	57,3	0,0	21.7.	31.8.
	Elevator, 20 t/h 1,5kW, Korn, 10m	-	1,0	57,3	0,0	21.7.	31.8.
	Rundballen pressen, 1,8m, Stroh, 50dt	Stroh, Einstreuqualität	1,0	45,8	45,8	21.7.	31.8.
	Rundballen, 1,8m, Stroh, laden, Transp., stapeln, zu 130411000	Bindegarn, HD-Ballen	1,0	45,8	45,8	21.7.	31.8.
Stroh, Einstreuqualität	Ertrag an Produkten	Stroh, Einstreuqualität	1,0	1,0	45,8	21.7.	31.8.
	Ertrag an Produkten	Winterroggen	1,0	1,0	57,3	21.7.	31.8.

Kultur	Beschreibung des Arbeitsganges	Betriebsmittel	Mas Häuf	Meng	Nat Gr	AZS Beg	AZS Ende
Winterweizen	aufgesattelte Scheibenegge, 6m	-	1,0	0,0	0,0	21.7.	31.8.
WWE1206a38_BBIn	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Phosphat, allgemein, 100% P2O5 ungesackt	1,0	324,9	65,0	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kali, allgemein, 100% K2O ungesackt	1,0	258,7	103,5	21.7.	31.8.
	Düngerstreuer mit Großbehälter, Schnellläufer, 8 t, 12m, Hof füllen, 6dt	Kalk, allgemein, 100 % CaO ungesackt	0,3	2000,0	1000,0	21.7.	31.8.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,3	1291,8	0,0	21.7.	31.8.
	Gerätekombination SBB, aufgesattelt, 10 m	-	1,0	0,0	0,0	1.10.	17.11.
	Drillmaschine, pneumatisch, 8 m, Getreide	Winterweizen	1,0	180,0	180,0	1.10.	17.11.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	2,0	187,6	187,6	16.3.	5.5.
	Dünger laden mit Hublader in Düngerstreuer 100 kg, 1x dir. Verfahren	-	1,0	469,1	0,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Halmbruch	0,5	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Vogelmiere, Klettenlabkraut in Getreide	1,0	200,0	1,0	16.3.	5.5.
	Schleuderdüngerstr., 18m, 1.500 l,Hof füllen,2dt/ha	Stickstoff: 33% Harnst.+ 67% KAS, 33,3% N, gesackt	1,0	93,8	93,8	6.5.	4.7.
	Aufbau-PS-Spritze, 2.000 l, 24m, 200 l, Feldrand, gebr. Verf.	Mehltau u. Septoria	1,0	200,0	1,0	6.5.	4.7.
	Strohhäcksler für Mähdrusch	-	1,0	62,5	0,0	21.7.	31.8.
	Mähdrusch 160-200 kW (218-273 PS), 6m, Getreide	Winterweizen	1,0	62,5	62,5	21.7.	31.8.
	Lohntrocknung - Getreide, b. 4% Wasserentzug	-	1,0	62,5	0,0	21.7.	31.8.
	Getreidetransp. 2Anhänger, 15,2t/TE, 60dt/ha, vom Mähdr. Feld/Hof	-	1,0	62,5	0,0	21.7.	31.8.
	Elevator, 20 t/h 1,5kW, Korn, 10m	-	1,0	62,5	0,0	21.7.	31.8.
	Ertrag an Produkten	Winterweizen	1,0	1,0	62,5	21.7.	31.8.

Das im Folgenden zur Verdeutlichung der speziellen Anbauintensität dargestellte Zweikulturnutzungssystem kam nicht in die Lösung der Szenarioergebnisse.

Tab. 6-4: Verfahrensschritte bei Zwei-Nutzungsverfahren Silomais-Winterroggen

JdArbErl	AZSBeg	AZSEnde	ArbGangNr	Beschreibung	BetrMtNr	BetrMt
0	1.9	10.9	402	Pflügen mit Nachläufer, Pflugarten: 401 bis 406	0	-
0	1.9	10.9	502	Flüssigmist ausbringen, Transport	86888500	Gärsubstrat
0	11.9	20.9	603	Aussaat Getreide mit Kreiseleggendrill	30603000	Winterroggen
0	11.10	20.10	711	Pflanzenschutzmittel ausbringen	32341480	Fenikan
1	1.4	10.4	502	Flüssigmist ausbringen, Transport	86888500	Gärsubstrat
1	11.5	15.5	1405	Ganzpflanzenernte, Getreide	0	-
1	11.5	15.5	1465	Ganzpflanzengut laden	0	-
1	11.5	15.5	1475	Ganzpflanzengut Transport, Feld/Silo	0	-
1	11.5	15.5	1485	Ganzpflanzengut einlagern und festf., Flachsilo	0	-
1	11.5	15.5	3000	Ertrag an Produkten	65658330	EP Ganzpflanzensilage, Winterroggen, Energiepflanze
1	15.5	20.5	402	Pflügen mit Nachläufer, Pflugarten: 401 bis 406	0	-
1	15.5	20.5	421	Feingrubbern	0	-
1	15.5	20.5	502	Flüssigmist ausbringen, Transport	86888500	Gärsubstrat
1	15.5	20.5	611	Drillen, Mais/Sonnenbl. m. Reihendüngung	30664000	Silomais, allgemein
1	15.5	20.5	9999	allgemeine Arbeiten	31321300	Diammonphosphat, 18%N, 46%P2O5 ungesackt
1	11.6	20.6	711	Pflanzenschutzmittel ausbringen	32341822	Gardo Gold
1	21.6	30.6	502	Flüssigmist ausbringen, Transport	86888500	Gärsubstrat
1	1.7	10.7	711	Pflanzenschutzmittel ausbringen	32341822	Gardo Gold
1	11.9	20.9	1401	Silomais häckseln	0	-
1	11.9	20.9	1471	Silomais, Transport	0	-
1	11.9	20.9	1471	Silomais, Transport	0	-
1	11.9	20.9	1481	Silomais einlagern	0	-
1	11.9	20.9	3000	Ertrag an Produkten	65658420	EP Silomais, Silage, Energiepflanze

Tab. 6-5: Besuchte Tagungen zum aktuellen Energiepflanzenanbau in Deutschland

Datum	Veranstaltung (Veranstaltungsort; Veranstalter)	Teilnehmer/Vortrag
10. Oktober 2006	Expertenworkshops zur Akteursanalyse im Rahmen des „SUNREG II“-Projektes: Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover	G. Uckert
30. Mai 2007	Arbeitskreis „Energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse“, Fachhochschule Eberswalde	G. Uckert
23. Juli 2007	Expertenworkshop in München Regierung von Oberbayern, München, Maximilianstraße 35, 5. Stock, Sitzungssaal 5223	G. Uckert
24.-25. Oktober 2007	Symposium Energiepflanzen, Berlin	G. Uckert
8.-9. November 2007	Jahrestagung Agrarsoziale Gesellschaft Göttingen Thema: Nahrung und Energie aus der Landwirtschaft, Göttingen	G. Uckert
21. November 2007	Arbeitskreis „Energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse“ Eberswalde (Landkreis Barnim)	M. Glemnitz
15. Januar 2008	Jahrestagung Fachverband Biogas 2008, Workshop 5 Maiswüste oder intelligente Fruchtfolge – Nachhaltige Ressourcebewirtschaftung bei der Erzeugung nachwachsender Rohstoffe in der Landwirtschaft, Nürnberg	G. Uckert
6. März 2007	Expertenworkshop „Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf Natur und Landschaft“, Bundesumweltministerium Berlin	J. Schuler

DLG-Futterwerttabelle: Auswahl einiger Silagen																			
DLG-Futterwerttabelle, 7. Auflage 1997, S. 98ff. Silage (2)																			
Anteil g/kg TM																			
TM	Rohasche	Organische Masse	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	N-freie Extraktstoffe	Stärke	Zucker	Organische Masse	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	N-freie Extraktstoffe	Verdaulichkeit %	unabbaubares Rohprotein in % des Rohproteins	nutzbares Rohprotein	Umsetzbare Energie ME	Nettoenergie Laktation	MJ
Maissilage Beginn der Teigreife (Kolbenanteil hoch > 45)																			
g/kg TM	280	51	949	87	36	186	268	6	78	57	83	64	78	64	25	133	10,8	6,52	
+/- (n=374)		9	8	8	7	14	25	6	3	5	5	5	3						
Maissilage Ende der Teigreife (Kolbenanteil niedrig 45)																			
g/kg TM	320	50	950	82	31	235	213	13	72	58	77	66	78	25	129	10,41	6,23		
+/- (n=191)		10	10	10	6	17	22	8	4	9	9	6	4						
Luzerne in der Knospe																			
g/kg TM	350	118	882	207	38	254	0	1	66	73	57	54	72	15	132	9,28	5,43		
+/- (n=23)		19	19	23	13	15			3	6	12	9	5						
Luzerne Beginn der Blüte																			
g/kg TM	350	125	875	179	37	294	0	1	63	69	57	54	68	20	128	8,71	5,04		
+/- (n=43)		31	31	27	12	16			4	7	11	7	5						
Roggen GPS Beginn Ährenschieben																			
g/kg TM	170	106	884	174	53	242	0	-	79	79	79	78	79	15	147	11,24	6,84		
+/- (n=11)		10	10	46	9	22			2	4	2	7	3						
Roggen GPS Ende Blüte																			
g/kg TM	240	108	882	101	41	380	0	-	68	67	67	78	60	15	119	9,3	5,45		
+/- (n=37)		24	24	22	8	21			4	4	11	4	4						
Sonnenblume Ende der Blüte																			
g/kg TM	350	122	878	88	39	354	0	-	49	54	75	42	50	20	89	6,75	3,75		
+/- (n=30)		15	15	18	15	34			6	8	13	4	9						
Sudangras Ende der Blüte																			
g/kg TM	240	97	903	90	32	363	0	-	58	46	64	64	53	20	105	7,9	4,48		
+/- (n=23)		23	23	28	12	34			6	14	14	7	7						

