Institut für Betriebswirtschaft
Institut für Ländliche Räume

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Endbericht

Modellgestützte Folgenabschätzungen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland

– FKZ 22008605 –

Laufzeit: 15.04.2007 bis 15.04.2010

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. agr. Andrea Rothe
Dipl.-Ing. agr. Bernhard Osterburg
M. Sc. Thomas de Witte
Dr. Yelto Zimmer

Braunschweig, September 2010

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Problemstellung und Zielsetzung 1

1.2 Vorgehensweise und Aufbau des Berichtes 2

2 Relevante Rohstoffe und die Rahmenbedingungen ihrer energetischen Verwertung 5

2.1 Auswahl relevanter Rohstoffe und Bioenergie-Linien 5

2.2 Rahmenbedingungen der Bioenergiebereitstellung 5

2.2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen der biogenen Strombereitstellung 6

2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen der biogenen Wärmebereitstellung 8

2.2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen der biogenen Kraftstoffproduktion 10

3 Regionale Unterschiede in der Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen 13

3.1 Konzeptionelle Vorüberlegungen 13

3.1.1 Beschreibung der Methode 14

3.1.2 Auswahl der Modellregionen 17

3.2 Biogasproduktion auf Basis des EEG 25

3.2.1 Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Gülleanteile 25

3.2.2 Wirtschaftlichkeit künftig relevanter Biogasanlagen 35

3.3 Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Milchviehregionen 49

3.3.1 Beschreibung eines typischen Milchviehbetriebes 50

3.3.2 Strategien zur Integration einer Biogasanlage 53

3.3.3 Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion in Milchviehregionen 57

3.4 Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Veredelungsregionen 67

3.4.1 Beschreibung eines typischen Veredelungsbetriebes 67

3.4.2 Wettbewerbsfähigkeit relevanter Biogasanlagen in Veredelungsregionen 70

3.5 Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Ackerbauregionen 81

3.5.1 Beschreibung des typischen Ackerbaubetriebes 81

3.5.2 Strategien für den Wirtschaftsdüngerimport 83

3.5.3 Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit relevanter Biogasanlagen in der Ackerbauregion 86

3.6 Zwischenfazit zur regionalen Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen 91

4 Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung von Stroh und Hackschnitzeln 101

4.1 Regionales Aufkommen und Bereitstellungskosten der Rohstoffe 101

4.2 Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Konversionsverfahren 112

4.3 Fazit 119

5 Bisherige Wirkungen der Produktion nachwachsender Rohstoffe auf die Flächennutzung 121

5.1 Veränderungen der Ackerflächennutzung 121

5.2 Anbau von Gärsubstraten für die Biogasproduktion im Jahr 2007 126

5.3 Umwandlung von Grünlandflächen in Ackerland – ein indirekter Effekt der Produktion nachwachsender Rohstoffe? 135

5.4 Analysen von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems am Beispiel Niedersachsen 140

5.5 Zwischenfazit zur Analyse der Flächennutzungsentwicklung 149

6 Modellgestützte Analyse eines weiteren Ausbaus der Produktion nachwachsender Rohstoffe 155

6.1 Methodische Überlegungen zur Modellierung des NR-Anbaus in RAUMIS 155

6.2 Szenarien und Annahmen 159

6.3 Ergebnisse der Modellierung 164

6.5 Zwischenfazit zur Modellierung mit RAUMIS 169

7 Umweltwirkungen ausgewählter Bioenergielinien 171

7.1 Flächenbezogene Umweltwirkungen des NR-Anbaus 171

7.2 Lagerung und Ausbringung von Gärrückständen 176

7.3 Einfluss der Transportkosten im Biogassektor auf die Flächennutzung 186

7.4 Flächenansprüche des Umwelt- und Naturschutzes 189

7.5 Zwischenfazit zur Analyse der Umweltwirkungen 192

8 Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe 195

8.1 Einleitung 195

8.2 Stoffliche Nutzung in Deutschland 196

8.2.1 Rohstoffeinsatz 196

8.2.2 Rohstoffbereitstellung 199

8.2.3 Relevante Produktlinien 200

8.3 Besonderheiten und Herausforderungen der industriellen Nutzung von Biomasse 205
8.3.1 Rohstoffqualität 205
8.3.2 Rohstoffversorgung 207
8.3.3 Technologie 210
8.3.4 Umweltbewertung 212
8.4 Forschungsbedarf 214
9 Fazit 215
10 Zusammenfassung 223
Literaturverzeichnis 229
Anhang A1-A10

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 3.1:	Vorgehen zur Ermittlung agrarstruktureller Effekte der Biogasförderung	14
Abbildung 3.2:	Substrateinsatz nach dem Biogasmessprogramm II	27
Abbildung 3.3:	Mögliche Leistung und Energieanteil aus Gülle bei unterschiedlichen Gülleanteilen in der Substratmischung	28
Abbildung 3.4:	Transportkosten für Gülle	29
Abbildung 3.5:	Maximale Zahlungsbereitschaft für Schweinegülle ohne Berücksichtigung des Endlagers	30
Abbildung 3.6:	Maximale Zahlungsbereitschaft für Gülle unter Berücksichtigung der Kosten für ein zusätzliches Gärrestlager	31
Abbildung 3.7:	Logistikkosten für Biogasanlagen	41
Abbildung 3.8:	Ökonomischer Vergleich der analysierten Biogasanlagen	45
Abbildung 3.9:	Wettbewerbsfähigkeit der analysierten Biogasanlagen	46
Abbildung 3.10:	Gleichgewichtspreis zwischen Gras- und Maissilage	61
Abbildung 3.11:	Gleichgewichtspreise Milchproduktion für Mais- und Grassilage	65
Abbildung 3.12:	Wettbewerbsfähigkeit der Milchviehhaltung bei verringerten Kosten	66
Abbildung 3.13:	Vergleich maximale Zahlungsbereitschaft für Fläche Biogasproduktion vs. Schweinemast in einer Veredelungsregion	80
Abbildung 3.14:	Vergleich Grundrente Weizen vs. Biogas in der Ackerbauregion	90
Abbildung 5.1:	Nutzung des Ackerlandes in Deutschland (Entwicklung 1991 bis 2009)	122
Abbildung 5.2:	Flächenzu- und -abnahmen bei Ackerkulturen zwischen 2003 und 2007 (berechnet auf Kreisebene)	122
Abbildung 5.3:	Entwicklung des Energiepflanzenanbaus auf Stilllegungsfläche und mit Energiepflanzenprämie (Entwicklung 1994 bis 2009)	124
Abbildung 5.4:	Entwicklung der Silomaisfläche zwischen 2003 und 2007 in Abhängigkeit vom Anteil der Silomaisfläche an der LF (2003)	129
Abbildung 5.5:	Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen je Hektar LF und Silomaisfläche als Biogas-Gärsubstrat in Prozent der LF (2007)	134
Abbildung 5.6:	Entwicklung der LF sowie der Acker- und Dauergrünlandflächen in den Bundesländern zwischen 1991 und 2009 in Prozent (gleitende 3-Jahresmittel)	137
Abbildung 5.7:	Jährliche Änderung der Grünlandflächenanteile nach Agrarförder-statistik (2005 bis 2009) und Agrarstatistik (1996 und 2004)	138

Abbildung 5.8:	Entwicklung der LF sowie der Acker- und Dauergrünlandflächen in den Bundesländern zwischen 2005 und 2009	140
Abbildung 5.9:	Bilanzierung der Grünlandflächen und „Sichtbarkeit“ der Flächenveränderungen im InVeKoS-System	142
Abbildung 5.10:	Verteilung der Maisanteile an der Ackerfläche auf Basis von InVeKoS-Daten, gruppiert auf Gemeindeebene (Anbauflächen)	145
Abbildung 5.11:	Anbauanteile an Biogas-Mais an der Ackerfläche in Abhängigkeit von der Entfernung zur nächsten Biogasanlage (auf Feldblock-Ebene)	146
Abbildung 5.12:	Grünlandumwandlung in Ackerland (2005 bis 2007) in Abhängigkeit von der Entfernung zur nächsten Biogasanlage (auf Feldblockebene)	147
Abbildung 5.13:	Umwandlung von Grünland in Ackerland (2005 bis 2007) in Betrieben bzw. auf Flächen mit und ohne Biogaskulturen	148
Abbildung 6.1:	Entwicklung der Silomaisfläche in Deutschland zwischen 1990 und 2009 sowie Trendschätzungen bis 2020	161
Abbildung 6.2:	Flächenzu- und abnahmen bei Ackerkulturen im Szenario „Biogas 1“ im Vergleich zum Szenario „ohne Biogas“	166
Abbildung 6.3:	Verteilung des Silomaisanbaus, geschichtet nach regionalen Ackerflächenanteilen in den Jahren 1999, 2003 und 2007	168
Abbildung 6.4:	Verteilung des Silomaisanbaus, geschichtet nach regionalen Ackerflächenanteilen, Szenario „Biogas 1“ und „ohne Biogas“	168
Abbildung 7.1:	Erntekosten für Silomais (Kosten je t FM) bei zunehmender Hof-Feld-Entfernung	187
Abbildung 7.2:	Kosten der Gärrestausbringung bei zunehmender Hof-Feld-Entfernung	188
Abbildung 8.1:	Globale Rohstoffverwendung	196
Abbildung 8.2:	Stoffliche Verwendungsmöglichkeiten land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe	201
Abbildung 8.3:	Chemische Eigenschaften der Biomasse	206
Abbildung 8.4:	Konkurrenzbeziehungen landwirtschaftlicher Rohstoffe	207
Abbildung 8.5:	Entwicklung der Rohstoffpreise	209

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1:	Vergütungssätze aus Biomasse nach dem EEG 2009 (in ct/kWh)	8
Tabelle 2.2:	Emissionsgrenzwerte für Stroh- und Holzfeuerungen der 1. BImSchV	9
Tabelle 2.3:	Emissionsgrenzwerte für Stroh- und Holzfeuerungen nach der TA-Luft	10
Tabelle 2.4:	Biokraftstoffquoten in Deutschland	11
Tabelle 3.1:	Eigenschaften von Maissilage und Wirtschaftsdünger	26
Tabelle 3.2:	Entwicklung der installierten elektrischen Leistung von Biogasanlagen in Niedersachsen	33
Tabelle 3.3:	Technische Parameter der kalkulierten Biogasanlagen	36
Tabelle 3.4:	Gasausbeute von Silomais und Mastschweinegülle	38
Tabelle 3.5:	Substratbedarf der analysierten Biogasanlagen	39
Tabelle 3.6:	Gleichgewichtspreis zwischen Weizen und Silomais	40
Tabelle 3.7:	Wirtschaftlichkeit der kalkulierten Biogasanlagen	43
Tabelle 3.8:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen	48
Tabelle 3.9:	Produktionstechnische Kennzahlen des typischen Milchviehbetriebes	50
Tabelle 3.10:	Erträge des typischen Milchviehbetriebes	51
Tabelle 3.11:	Energiebedarf der Milchviehfütterung	52
Tabelle 3.12:	Flächenüberschuss des typischen Milchviehbetriebes	52
Tabelle 3.13:	Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes	53
Tabelle 3.14:	Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage	54
Tabelle 3.15:	Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage und ganzjähriger Stallhaltung	55
Tabelle 3.16:	Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage, ganzjähriger Stallhaltung und Auslagerung der Jungviehaufzucht	56
Tabelle 3.17:	Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage und Abschaffung der Viehhaltung	56
Tabelle 3.18:	Unterschied der Investitionen und Betriebskosten zwischen gras- und maisbasierten Biogasanlagen (200 kW)	58
Tabelle 3.19:	Gleichgewichtspreis für Silomais in der Milchviehregion	59
Tabelle 3.20:	Produktionskosten von Grassilage in der Milchviehregion	60
Tabelle 3.21:	Methanertrag von Gras- und Maissilage	60
Tabelle 3.22:	Wirtschaftlichkeit einer 200 kW-Biogasanlage in der Milchviehregion	63

Tabelle 3.23:	Maximale Zahlungsbereitschaft einer 200 kW-Biogasanlage für Mais- und Grassilage	64
Tabelle 3.24:	Maximale Zahlungsbereitschaft Milchproduktion für Mais- undGrassilage	65
Tabelle 3.25:	Produktionstechnische Kennzahlen des typischen Veredelungsbetriebes	68
Tabelle 3.26:	Ackerbau-Kennzahlen des typischen Veredelungsbetriebes	68
Tabelle 3.27:	Vieheinheiten des typischen Veredelungsbetriebes	69
Tabelle 3.28:	Phosphatbilanz des typischen Veredelungsbetriebes	69
Tabelle 3.29:	Potenzielle elektrische Leistung des typischen Veredelungsbetriebes	70
Tabelle 3.30:	Gleichgewichtspreis für Silomais in der Veredelungsregion	72
Tabelle 3.31:	Wirtschaftlichkeit einer 200 kW-Anlage mit und ohne Hähnchenmist in einer Veredelungsregion.	73
Tabelle 3.32:	Trocknungsleistung der Gärresttrocknung	75
Tabelle 3.33:	Vergleich Phosphatexport getrockneter Gärrest vs. Hähnchenmist	75
Tabelle: 3.34:	Wirtschaftlichkeit der Gärresttrocknung	77
Tabelle 3.35:	Erträge und Anbaustruktur eines typischen Ackerbaubetriebes in der Hildesheimer Börde	82
Tabelle 3.36:	Deckungsbeiträge des typischen Ackerbaubetriebes	82
Tabelle 3.37:	Potenzielle elektrische Leistung des typischen Ackerbaubetriebes	83
Tabelle 3.38:	Kennzahlen zur Wirtschaftsdüngerbeschaffung in der Ackerbau-region	86
Tabelle 3.39:	Gleichgewichtspreis für Silomais in der Ackerbauregion	87
Tabelle 3.40:	Wirtschaftlichkeit einer 200 kW-Biogasanlage in der Ackerbau-region bei unterschiedlichen Strategien zur Beschaffung von Wirtschaftsdünger	89
Tabelle 3.41:	Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung in den analysierten Regionen	95
Tabelle 4.1:	Korn-Stroh-Verhältnis bei Getreide	102
Tabelle 4.2:	Vergleich bisheriger Kalkulationen zum Strohüberschuss	104
Tabelle 4.3:	Bereitstellungskosten Stroh	108
Tabelle 4.4:	Spannbreite der Produktionskosten für Kurzumtriebsplantagen	110
Tabelle 4.5:	Deckungsbeiträge Wintergerste (Alternativkultur für KUP)	111
Tabelle 4.6:	Wirtschaftlichkeit der energetischen Verwertung von Stroh und Hackschnitzeln	118

Tabelle 5.1:	Korrelation der Gärsubstrat-Anbauanteile an der LF sowie der Zuwachsrate der Silomaisfläche mit ausgewählten Indikatoren auf Kreisebene	135
Tabelle 6.1:	Szenarien für die RAUMIS-Berechnungen	161
Tabelle 6.2:	Entwicklung von Landnutzung, Produktion und Einkommen der deutschen Landwirtschaft in den Szenariorechnungen	165
Tabelle 7.1:	Umweltparameter beim Anbau ausgewählter Energiepflanzen für Deutschland (nach EEA, 2007)	172
Tabelle 7.2:	Berechnung von Spielräumen für die N-Ausbringung unter Ausschöpfung der Begrenzungen gemäß Düngeverordnung §§ 4 und 6	181
Tabelle 7.3:	Berechnung von maximalen N-Überschüssen unter Ausschöpfung der Begrenzungen gemäß Düngeverordnung §§4 und 6	183
Tabelle 7.4:	Datenbasis für die GIS-Analysen	189
Tabelle 7.5:	Flächenanteile „sensibler“ Acker- und Grünlandflächen (Schutzgebiete, Moorböden, Hanglagen) in Deutschland	191
Tabelle 8.1:	Rohstoffeinsatz im Bereich der stofflichen Nutzung (Stand: 2007)	197
Tabelle 8.2:	Anbauflächenumfang von Industrie- und Energiepflanzen in Deutschland (in Hektar)	199
Tabelle 8.3:	Elementare Zusammensetzung verschiedener Rohstoffe	206

Tabelle A1:	Investitionen der Biogasanlagen nach Anlagenkomponenten	A3
Tabelle A2:	Berechnung der Logistikkosten der kalkulierten Biogasanlagen	A5
Tabelle A3:	Nährstoffbilanz des typischen Milchviehbetriebes	A6
Tabelle A4:	Investitionen der 200 kW Anlagen mit und ohne Hähnchenmist in der Veredelungsregion	A7
Tabelle A5:	Annahmen zum Einstreubedarf in der Tierhaltung	A8
Tabelle A6:	Annahmen zum Wirtschaftsdüngeraufkommen und dessen Humuswirkung	A8
Tabelle A7:	Technische und ökonomische Parameter der Gärresttrocknung	A9

Verzeichnis der Karten

Karte 3.1: Anteil Acker, Grünland und Dauerkulturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche 19

Karte 3.2: Anbauanteile einzelner Kulturen an der Ackerfläche 20

Karte 3.3: GV-Dichte und GV-Anteile der Tierarten 22

Karte 3.4: Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger vor Abzug von Lagerverlusten 23

Karte 3.5: Landwirtschaftliche Produktionsregionen in Niedersachsen 24

Karte 3.6: Möglicher Anteil Energiemais an der AF bei Ausnutzung des Gülleaufkommens in Biogasanlagen mit 35 % Gülleanteil 32

Karte 3.7: Möglicher Anteil Energiemais an der AF bei Ausnutzung des Geflügelmistaufkommens in Biogasanlagen mit 20 % Hähnchenmistanteil 34

Karte 4.1: Regionale Strohüberschüsse auf Landkreisebene 106

Karte 5.1: Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegung in Prozent der gesamten Stilllegungsfläche (2003) 126

Karte 5.2: Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen in kWel je 100 ha LF (2007) 127

Karte 5.3: Anteil Silomais an der LF (2007) 128

Karte 5.4: Änderung Silomaisfläche in Prozent der LF, 2003 bis 2007 128

Karte 5.5: Anteil Silomais als Biogas-Gärsubstrat in Prozent der Ackerfläche (2007) 130

Karte 5.6: Anteil Silomais in Prozent der Anbaufläche für Biogas-Gärsubstrate (2007) 131

Karte 5.7: Flächenzunahme von Silomais (2003 bis 2007) in Prozent der Silomaisfläche für Biogasproduktion (2007) 132

Karte 5.8: Anteil Grünland in Prozent der Anbaufläche für Biogas-Gärsubstrate (2007) 133

Karte 5.9: Änderung der Grünlandfläche zwischen 1991 und 2003 136

Karte 6.1: Wirtschaftsdüngeraufkommen aus der Tierhaltung in t / ha Ackerfläche 163

Karte 6.2: Möglicher Anteil Energiemais an der AF bei Ausnutzung des Gülleaufkommens in Biogasanlagen mit 35 % Gülleanteil 163

Karte 6.3: Anteil Silomais in % der LF (Referenzszenario, ca. 2,1 Mio. ha) 167

Karte A1: Anteil des Silomais an der Ackerfläche A10

Abkürzungsverzeichnis

AF	Ackerfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
ct	Eurocent
DÜV	Düngeverordnung
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EU	Europäische Union
FECM	Fett- und eiweißkorrigierte Milchmenge
GasNEV	Gasnetzentgeltverordnung
GasNZV	Gasnetzzugangsverordnung
GJ NEL	Gigajoule Netto Energie Laktation
GV	Großvieh
KF	Katasterfläche
KUP	Kurzumtriebsplantage
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-Stunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LF	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LWK	Landwirtschaftskammer
MP	Mastplatz
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-Stunde
NaWaRo-Bonus	Nachwachsende Rohstoffe-Bonus
Nm^3	Normkubikmeter
NR	Nachwachsende Rohstoffe
ORC	Organic Rankine Cycle
oTS	Organische Trockensubstanz
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PLA	Polymilchsäure
RAM	Rohproteinarme Mischfutter
t	Tonne
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinerhaltung der Luft
TS	Trockensubstanz
VE	Vieheinheit

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

In den letzten Jahren wurden die energiepolitischen Rahmenbedingungen für nachwachsende Rohstoffe (NR) in Deutschland erheblich verbessert, um das politische Ziel einer stärkeren energetischen Nutzung von Biomasse zu erreichen. Bei gleichzeitig hohen Ölpreisen hat aufgrund der Förderung inzwischen ein regelrechter NR-Boom eingesetzt. In der Folge konnte der Anteil der Bioenergie an der Strom- und Kraftstoff- sowie Wärmebereitstellung erheblich gesteigert werden. Auch die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist in den letzten Jahren gestiegen.

Doch obwohl diese Entwicklung politisch erwünscht ist, wurde die Bioenergieförderung in jüngerer Vergangenheit zunehmend kritisiert. Die Kritik richtet sich vor allem gegen die geringe klimapolitische Effizienz der bisherigen Förderung (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: I-IV). Auf internationaler Ebene wird darüber hinaus zunehmend die Flächenkonkurrenz der Biokraftstoffproduktion mit der Nahrungsmittelproduktion diskutiert. Die unter dem Schlagwort „Teller vs. Tank“ geführte Kritik richtet sich vor allem gegen einen möglichen Anstieg der Agrarpreise aufgrund der Biokraftstoffproduktion (FAO, 2008: 9; VON BRAUN, 2008: 5; DOORNBOSCH und STEENBLICK, 2007: 4).

Kritik an der nationalen Bioenergiepolitik richtet sich insbesondere gegen die Förderung der Biogasproduktion. Mögliche Nutzungskonkurrenzen durch die Biogasförderung wurden in der Vergangenheit vor allem unter dem Aspekt eines negativen Einflusses auf die Wettbewerbsfähigkeit der Tierproduktion diskutiert (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 199; KEYMER, 2007: 8; HEIßENHUBER et al., 2008: 24; GÖMANN/KREINS, 2007: 267; BAHRS et al., 2007: 25).

Weiterhin wurden auch Auswirkungen der Biogasförderung auf den Naturschutz thematisiert. Hierzu überwiegen negative Einschätzungen gegenüber verschiedenen Schutzgütern, vor allem dem Naturschutz, der Wasserqualität (Nitratemissionen) (NITSCH et al., 2008: 84), aber auch dem Klimaschutz (Lachgasemissionen) (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 187).

In der Diskussion um mögliche Nutzungskonkurrenzen hat sich gezeigt, dass der bisherige Ansatz, die Flächenpotenziale für nachwachsende Rohstoffe aus der „Flächenstilllegung“ (nicht mehr für die Nahrungsmittelerzeugung benötigte Fläche) abzuleiten, nicht mehr tragfähig ist. Bei anhaltend hoher Förderung der Bioenergie und offenen Märkten wird die deutsche Landwirtschaft die Biomasseproduktion völlig unabhängig von dem Ziel „Selbstversorgung“ immer weiter ausdehnen, sodass es zu einer verschärften Flächennutzungskonkurrenz zwischen der Biomasseerzeugung einerseits und der Nahrungs-

mittelerzeugung, flächenbezogenen Naturschutzzielen und sonstigen Flächennutzungen andererseits kommt.

Vor diesem Hintergrund wurde zu Beginn des Jahres 2009 das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) novelliert. Hinsichtlich der zuvor dargestellten Problematik möglicher Nutzungskonkurrenzen ergeben sich zahlreiche Fragen aus der Novellierung:

- Wie wird die Bioenergieförderung die deutsche Agrarstruktur beeinflussen, wenn die NR-Förderung unverändert beibehalten wird?
- Inwieweit beeinträchtigt die politisch weiter gestärkte Wettbewerbskraft des NR-Anbaus die internationale Wettbewerbsfähigkeit der übrigen Produktionszweige der deutschen Agrarwirtschaft?
- Wie beeinflusst der zunehmende NR-Anbau die Umweltwirkungen der deutschen Landwirtschaft und den Umfang der Flächen, die für den Naturschutz zur Verfügung stehen?
- Wie kann der Staat seine Fördermaßnahmen so weiterentwickeln, dass die Nutzungskonkurrenzen verringert und ein möglichst großer Beitrag zum energiepolitischen Ziel erreicht wird?

Das Ziel des Berichtes ist es, die zuvor aufgeworfenen Fragen zu beantworten.

1.2 Vorgehensweise und Aufbau des Berichtes

Zur Beantwortung der im vorherigen Abschnitt aufgeworfenen Fragen werden Szenarioberechnungen des regionalisierten Angebotsmodells RAUMIS mit einzelbetrieblichen Analysen zur Bioenergieproduktion kombiniert. Einen Schwerpunkt der Untersuchungen bildet die regional differenzierte Abbildung der Nutzungskonkurrenz zwischen der Bioenergieerzeugung und der übrigen Agrarproduktion.

Zur Abschätzung sektoraler Entwicklungen kommt das regional differenzierte Agrarsektormodell RAUMIS zum Einsatz, das bezüglich der Abbildung von NR-Optionen weiterentwickelt wurde. Das mathematische Programmierungsmodell optimiert die landwirtschaftlichen Produktionsumfänge auf Ebene von Regionshöfen, die den Landkreisen Deutschlands entsprechen. Für jeden dieser Regionshöfe wird das optimale Anbauverfahren ermittelt, indem das regionale landwirtschaftliche Einkommen maximiert wird. Durch die Aggregation der kreisspezifischen Produktionsprogramme erhält man die deutsche Agrarproduktion, welche im Basisjahr konsistent zur Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung ist. Mit Hilfe von Szenariorechnungen können verschiedene, künftige Anbauumfänge für nachwachsende Rohstoffe und deren Wirkungen auf Agrarproduktion und Flächennutzung quantitativ dargestellt und verglichen werden. Das Modell arbeitet dabei kompa-

rativ-statisch, d. h., dass nicht die Entwicklung von Jahr zu Jahr unter Berücksichtigung von Investitionsprozessen abgebildet wird, sondern ein Gleichgewichtszustand unter vorgegebenen, veränderten Rahmenbedingungen.

Mit einem relativ stark aggregierten Modell auf Basis von Regionshöfen von etwa 50.000 ha können (a) die für einzelbetriebliche Investoren maßgeblichen Tatbestände sowie (b) die sonstigen betrieblichen Anpassungen (z. B. überregionaler Nährstofftransport) nur eingeschränkt erfasst werden. Weiterhin fehlt bei den bisherigen Modellierungsergebnissen eine Rückkopplung zu den Entscheidungsträgern in den Regionen. Insofern ist zu überprüfen, inwieweit die Modellergebnisse die tatsächlichen Auswirkungen realistisch abbilden. Da die komparativ-statischen Szenariorechnungen im Sektormodell RAUMIS keine realitätsgetreue Abbildung der Unternehmensentscheidungen für oder gegen die Bioenergieerzeugung gewährleisten, wird den Analysen mit RAUMIS ein betriebswirtschaftlicher Ansatz vorgeschaltet, der auf einzelbetrieblicher Ebene mögliche Anpassungsoptionen und Strukturwirkungen aufgrund des EEG erfasst. Ergebnisse der einzelbetrieblichen Analysen werden anschließend zur Kalibrierung des Modells RAUMIS sowie zur Überprüfung der Modellergebnisse genutzt.

Die betriebswirtschaftlichen und modellgestützten Untersuchungen werden durch eine Ex-post-Analyse der Flächennutzungsentwicklung auf Basis agrarstatistischer Daten ergänzt. Weiterhin werden Wirkungen ausgewählter Bioenergielinien auf umweltpolitische Ziele dargestellt und Flächenansprüche des Umwelt- und Naturschutzes diskutiert. Abschließend wird ein Überblick über stoffliche Nutzungen nachwachsender Rohstoffe gegeben.

Nachdem das generelle Vorgehen zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragestellungen vorgestellt wurde, wird im Folgenden der Aufbau des Berichtes beschrieben.

In Kapitel 2 werden die im Rahmen des Berichtes analysierten Konversionstechnologien sowie Rohstoffe ausgewählt und die zugehörigen Rahmenbedingungen der Bioenergieproduktion beschrieben.

Anschließend werden in den Kapiteln 3 und 4 von Thomas de Witte und Yelto Zimmer die Konzepte und Resultate der betriebswirtschaftlichen Analysen vorgestellt.

Die regionale Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion auf einzelbetrieblicher Ebene wird zunächst in Kapitel 3 analysiert. Hierfür werden die künftig relevanten Anlagenkonstellationen ermittelt und anschließend deren Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der klassischen Landwirtschaft herausgearbeitet. Dabei wird zwischen einer typischen Milchvieh-, Veredelungs- und Ackerbauregion unterschieden. Zum Abschluss des Kapitels werden Schlussfolgerungen zur Strukturwirkung der Biogasförderung gezogen.

In Kapitel 4 wird die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Anlagentypen zur energetischen Verwertung von Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) untersucht. Für Stroh wird zunächst regional differenziert das energetisch nutzbare Strohaufkommen abgeleitet. Weiterhin werden aus Sicht der landwirtschaftlichen Unternehmer die Mindestpreise für die Rohstoffe ermittelt. Abschließend wird die Wirtschaftlichkeit verschiedener Anlagenkonstellationen analysiert sowie Schlussfolgerungen hinsichtlich der künftigen Bedeutung der energetischen Verwertung von Stroh und Hackschnitzeln aus KUP formuliert.

In den Kapiteln 5 bis 8 folgen Analysen von Andrea Rothe und Bernhard Osterburg zur Flächennutzung, zu Umweltwirkungen sowie zu Optionen der stofflichen Nutzung.

Veränderungen der Flächennutzung, insbesondere seit Einführung des EEG im Jahr 2004, werden im Kapitel 5 auf Grundlage regionaler agrarstatistischer Daten beschrieben und Zusammenhänge zur Agrarstruktur sowie zur regionalen Verteilung von Biogasanlagen untersucht.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der modellgestützten Szenarioanalysen mit RAUMIS vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt auf der Simulation einer weiteren Ausdehnung des Silomaisanbaus als Gärsubstrat für Biogasanlagen und den dadurch ausgelösten Änderungen der Flächennutzung und der Agrarproduktion.

Potentielle Umweltwirkungen der Produktion nachwachsender Rohstoffe werden in Kapitel 7 thematisiert. Betrachtet werden Treibhausgas- und Ammoniakemissionen, Boden- und Gewässerschutz sowie Flächennutzungskonflikte mit Naturschutzzielen. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Biogasproduktion. Für ausgewählte, potentielle Umweltbelastungen werden mögliche Ansatzstellen für eine bessere Absicherung umweltpolitischer Ziele diskutiert.

In Kapitel 9 werden ein Fazit zu den vorgestellten Ergebnissen gezogen und darauf aufbauend Handlungsempfehlungen für eine künftige Weiterentwicklung der Förderpolitik abgeleitet.

Der Bericht schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse in Kapitel 10.

2 Relevante Rohstoffe und die Rahmenbedingungen ihrer energetischen Verwertung

2.1 Auswahl relevanter Rohstoffe und Bioenergie-Linien

Für das Ziel einer flächenbezogenen Prognose über die Auswirkungen der Bioenergiepolitik sowie der Förderung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe generell ist es zunächst entscheidend zu definieren, bei welchen Produkten überhaupt eine räumlich relevante Differenzierung sinnvoll ist. So ist es in diesem Kontext völlig unerheblich und auch unmöglich festzustellen, wo in Deutschland z. B. der Raps produziert wird, der für die Herstellung von Biodiesel benötigt wird.

Mit Blick auf die verschiedenen Optionen für die Bereitstellung von Agrarrohstoffen für die Bioenergieproduktion erweisen sich die Folgenden als relevant im Hinblick auf ihre Verteilung im Raum:

– Produktion von Hackschnitzeln auf Basis von Kurzumtriebsplantagen
– Bereitstellung von Stroh für energetische Zwecke
– Bereitstellung von Gülle bzw. anderen Wirtschaftsdünger und/oder Agrarprodukten wie Silomais für Biogasanlagen

Hintergrund für diese Einschätzung ist die Tatsache, dass die Produktion bzw. Nutzung dieser Rohstoffe entweder eine klar definierte und langfristige Einflussnahme auf die spezifische Flächennutzung impliziert oder aber, dass die produzierten Rohstoffe nicht oder nur sehr bedingt transportwürdig sind, sodass auf diesem Wege eine diskrete Festlegung der Flächennutzung im Raum erreicht wird.

In dem Maße, in dem diesen Rohstoffen mithilfe der staatlichen Förderung ein Wettbewerbsvorteil verschafft wird, werden die entsprechenden Verfahren an bestimmten Standorten betriebswirtschaftlich relevant. Unter Annahme eines Gewinn maximierenden Verhaltens der Landwirte werden sie die Flächennutzung und damit Landschaftsbild, Einkommen oder Umweltfaktoren prägen.

2.2 Rahmenbedingungen der Bioenergiebereitstellung

Bevor die Wettbewerbsfähigkeit der im vorherigen Abschnitt genannten Rohstoffe für die Bioenergieproduktion gegenüber der klassischen Landwirtschaft analysiert wird, ist es erforderlich, einen Überblick über die Rahmenbedingungen der Bioenergiebereitstellung zu vermitteln. Auf europäischer und deutscher Ebene besteht eine Vielzahl politischer Zielformulierungen und Potenzialabschätzungen hinsichtlich der Bioenergieerzeugung.

Mit dem Ziel einer besseren Übersichtlichkeit und eines besseren Verständnisses beschränken sich die folgenden Ausführungen jedoch auf die national bestehenden rechtlichen Vorgaben, die die Wettbewerbsfähigkeit der genannten Rohstoffe beeinflussen.

2.2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen der biogenen Strombereitstellung

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich, sofern nicht anderweitig gekennzeichnet, auf das EEG 2009 sowie die Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) und die Gasnetzentgeltverordnung (GasNEV).

In Deutschland wird die Strombereitstellung aus fester, gasförmiger sowie flüssiger Biomasse durch das EEG politisch gefördert. Damit wird das Ziel verfolgt, bis 2020 einen Anteil von 25 bis 30 % aus erneuerbaren Energien an der deutschen Strombereitstellung zu erreichen. Das zentrale Instrument ist hierbei die sogenannte „Einspeisevergütung“. Dabei handelt es sich um politisch administrierte Preise, zu denen die Energieversorger gezwungen sind, definierte Stromlieferungen abzunehmen und zu vergüten. Die Höhe der Vergütung ist dabei von der Anlagenleistung, dem eingesetzten Brennstoff, der Technologie, der Wärmeauskopplung sowie dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme abhängig. Die Vergütungsstruktur des EEG 2009 ist in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Die Grundvergütung ist für Anlagen bis zu einer Leistung von 150 kW_{el} mit 11,67 ct/kWh am höchsten und sinkt bis zu einer Leistung von 20 MW_{el} auf 7,79 ct/kWh. Biogasanlagen, die Gas aufbereiten und einspeisen, erhalten nur noch für den Anteil ihrer Gasproduktion die Einspeisevergütung, der in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) verstromt wird.

Weiterhin wird ein sogenannter KWK-Bonus gewährt, wenn der Strom in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird und die Form der Wärmenutzung in der Positivliste des Gesetzes aufgeführt ist. In der Positivliste sind neben anerkannten Formen der Wärmenutzung ebenfalls Höchstwerte für den jeweiligen Wärmeverbrauch angegeben. Dabei ist Trocknung von Gärresten aus Biogasanlagen zur Herstellung von transportwürdigen Düngemitteln ebenfalls eine zulässige Verwendung der anfallenden Wärme. Diese Option könnte insbesondere für Biogasanlagenbetreiber in Veredelungsregionen einen Anreiz zum kostengünstigen Export von Gärresten darstellen. Sie könnten somit gleichzeitig einen großen Anteil der bei der Verstromung anfallenden Wärme zumindest pro forma nutzen. Die Höhe des Bonus beträgt für alle Anlagengrößen 3 ct/kWh.

Beim NawaRo-Bonus, der speziellen Vergütung für die Verwendung landwirtschaftlicher Rohstoffe und Wirtschaftsdünger, wird zwischen einer thermochemischen Konversion,

wie beispielsweise in Heizkraftwerken und einer biochemischen Konversion wie bei Biogasanlagen unterschieden. Die Bonushöhe für die thermochemischen Konversionsverfahren schwankt je nach Anlagengröße zwischen 6 und 2,5 ct/kWh und beträgt für biochemische Konversationsverfahren bis zu einer Leistung von 500 kW 7 ct/kWh. Neu eingeführt wurde der Güllebonus, der den NawaRo-Bonus bis 150 kW um 4 ct/kWh und bis 500 kW um 1 ct/kWh erhöht, wenn der Gülleanteil am Gesamtinput jederzeit mindestens 30 Massenprozent beträgt. Allerdings gilt der Güllebonus nicht für Anlagen, die Biogas aufbereiten und in das Erdgasnetz einspeisen. Weiterhin erhöht sich der NawaRo-Bonus um 2 ct/kWh, wenn überwiegend Landschaftspflegematerial eingesetzt wird.

Der sogenannte Technologiebonus wird für den Einsatz neuer Technologien wie ORC-Anlagen oder Brennstoffzellen gezahlt. Beim Einsatz von innovativen Technologien für Verfahren zur Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität richtet sich die Höhe des Bonus nicht nach der Größe des BHKW, sondern nach der Aufbereitungskapazität. Bis zu einer Anlagenkapazität von 350 Nm³ Rohgas/h (dies entspricht in etwa einer konventionellen Biogasanlage in der Größenordnung von 1,4 MW) beträgt der Bonus 2 ct/kWh und bis zu einer Kapazität von 700 Nm³/h 1 ct/kWh.

Ebenfalls neu eingeführt wurde der Luftreinhaltungsbonus, der gewährt wird, wenn der Formaldehydgrenzwert nach dem Emissionsminderungsgebot der TA Luft eingehalten wird. Da es aber fraglich ist, ob die zur Verstromung eingesetzten Blockheizkraftwerke (BHKWs) ohne zusätzliche Katalysatoren den Grenzwert einhalten, wird empfohlen, den Bonus nicht bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu berücksichtigen (KEYMER, 2009: 269).

Für die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz sind weiterhin die GasNZV und die GasNEV bedeutend. Seit der novellierten GasNZV kann der örtliche Ergasnetzbetreiber sich nicht mehr unter Hinweis auf Kapazitätsengpässe weigern, das aufbreitete Gas einzuspeisen. Vielmehr muss der Netzbetreiber jetzt alle wirtschaftlich zumutbaren Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazität vornehmen, um eine ganzjährige Einspeisung zu gewährleisten.

Weiterhin muss der Netzbetreiber die Kosten für den Netzanschluss bis zu einer Leitungslänge von 10 km zur Hälfte tragen. Neben der eigentlichen Verbindungsleitung gehören hierzu auch die Gasdruck-Regel-Messanlage, die Einrichtung zur Druckerhöhung sowie die eichfähige Messung des einzuspeisenden Biogases. Darüber hinaus muss der Netzbetreiber künftig die jährlichen Kosten für den Betrieb der Einspeiseanlage, also die Kosten für die Druckerhöhung und Gasanpassung sowie der eichfähigen Messung tragen. Für vermiedene Netzentgelte erhalten die Transportkunden von Biogas vom Netzbetreiber ein pauschales Entgelt in Höhe von 0,7 ct/kWh eingespeistem Biogas.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass mit der Novellierung des EEG sowie der GasNZV insbesondere die Rahmenbedingungen für die Biogasproduktion deutlich verbessert wurden - – dies gilt insbesondere für die Gasaufbereitung und -einspeisung.

Tabelle 2.1: Vergütungssätze aus Biomasse nach dem EEG 2009 (in ct/kWh)

Anlagen-leistungs-äquivalent	Grund-ver-gütung[a)]	KWK[1)]	Technologiebonus[2)]			NawaRo[3)]						Emmis-sions-bonus[4)]
			Klein-anlagen	Biogas-aufbereitung[2a)]		Therm.-chem. Konversion		Bio.-chem. Konversion		Güllebonus (≥ 30 %)		
				bis 350 Nm³/ha	bis 700 Nm³/ha	Basis	KUP + LP	Basis	LP-Bonus	Klein-anlagen	Bio-methan	
≤ 150 kW	11,67	+3,0	+2,0	+2,0	+1,0	+6,0	+6,0	+7,0	+2,0	+4,0	0	+1,0
≤ 500 kW	9,18	+3,0	+2,0	+2,0	+1,0	+6,0	+6,0	+7,0	+2,0	+1,0	0	+1,0
≤ 5.000 kW	8,25	+3,0	+2,0	+2,0	+1,0	+2,5	+4,0					
≤ 20.000 kW[b)]	7,79	+3,0										

a) Die jährliche Degression für die Mindestvergütung und Boni beträgt 1 %.

b) Anlagen >5 MW haben nur einen Anspruch auf EEG-Vergütung, wenn dieser KWK erzeugt wird.

Bonusleistungen: Alle Boni sind addierbar (Ausnahme KUP + LP) Bonus zu Basis NawaRo-Bonus).

1) Anspruch besteht, wenn die Wärmenutzungsvariante auf der Positivliste benannt ist (einmalige Nachweispflicht) oder nachweislich fossile Energieträger ersetzt werden und die Mehrkosten dieser Wärmebereitstellung 100 €/kW überschreiten (jährliche Nachweispflicht nach Arbeitsblatt FW 308 durch Umweltgutachter; Ausnahme Klein KWK-Anlagen bis MW nach Herstellerunterlagen).

2) Gilt nur im KWK-Betrieb oder bei einem elektr. Anlagenwirkungsgrad von ≥ 45 % bei Anwendung innovativer Technologien/Verfahren (therm.-chem. Vergasung, Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmotoren, ORC- oder Mehrstoffgemisch-Anlagen (insb. Kalina-Cycle), Stirling-Motoren, therm.-chem. Konversion von Stroh oder halmgutartiger Biomasse, Bioabfallanlagen mit Nachrotte der Gärungsrückstände zur stoffl. Verwertung).

2a) Wenn die max. Methanemissionen während der Biogasaufbereitung 0,5 % und der dazu notwendige Strom 0,5 kWh/Nm³ (Rohgas) nicht überschritten werden sowie die dazu angewandte Prozesswärme nicht aus fossilen Energiequellen stammt.

3) Bonus gilt nur für den nachgewiesenen Anteil der Stromerzeugung aus NawaRo (einschl. Gülle; Nachweistagebuchpflicht für NawaRo-Input lt. Positivliste). Ab 150 kW sind als NawaRo's nur noch gasförmig und feste Biomassen zulässig. Bei Biogaseinsatz in BlmSchV-Anlagen müssen die Gärrestlager der Biogasanlage stofflich verwertet werden.

4) Für genehmigungspflichtige Anlagen zur anaeroben Vergärung nach BlmSchG, die kein Biogas aus dem Erdgasnetz entnehmen und die dem Emissionsminimierungsgebot der TA-Luft entsprechende Formaldehydgrenzwerte (FAH) einhalten und bescheinigen können.

Quelle: Thrän et al. (2009).

2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen der biogenen Wärmebereitstellung

Nachdem im vorherigen Abschnitt die gesetzlichen Vorgaben zur biogenen Strombereitstellung beschrieben wurden, werden im Folgenden die Rahmenbedingungen der biogenen Wärmebereitstellung dargestellt.

Erneuerbare Energien Wärmegesetz (EEWärmeG)

Mit dem Ziel, die Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmesektor auf 14 % zu erhöhen, trat zum Januar 2009 das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) in Kraft. Darin werden Eigentümer von Neubauten verpflichtet, ihren Wärmebedarf zu 15 % aus erneuerbaren Energien zu decken. Neben der Wärmebereitstellung aus Bioenergie können

jedoch auch Solar- und Geothermieanlagen eingesetzt werden. Alternativ können die Vorgaben auch durch eine verstärkte Gebäudeisolierung erfüllt werden. Es ist noch offen, welche der genannten Technologien sich für die Bereitstellung der Wärme durchsetzen werden. Insgesamt ist jedoch erst langfristig von einer spürbaren Wirkung des Gesetzes auszugehen. Ursache dafür ist, dass jährlich nur etwa 175.000 Neubauten von dem Gesetz betroffen sein werden, was nicht einmal 1 % des aktuellen Gebäudebestandes entspricht (THRÄN et al., 2009: 95).

Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. BImSchV)

In der ersten Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BImSchV) werden die Emissionsgrenzen kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen vorgeschrieben. Dabei handelt es sich um Feuerungsanlagen, die nicht genehmigt werden müssen. Dagegen müssen die Errichtung und der Betrieb großer Anlagen, wie etwa Heizkraftwerke, nach der 4. BImSchV von den Behörden genehmigt werden.

Da kleine und mittlere Feuerungsanlagen eine bedeutende Quelle für Feinstaub und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind, wurde die 1. BImSchV im März 2010 novelliert. Das Ziel der Novelle ist es, durch striktere Emissionsgrenzen die Feinstaubbelastung zu reduzieren. Die neuen Grenzwerte für Staub und CO-Emissionen sind in Tabelle 2.2 dargestellt. Der Feinstaubgehalt muss ab 2010 für stroh- und holzgefeuerte Anlagen unter 100 mg/Nm³ liegen. Allerdings gilt dieser Wert bei Holz auch bei einer Anlagengröße über 500 kW_{th} während Stroh bereits ab einer Leistung von 100 kW nach der 4. BImSchV genehmigungsbedürftig ist. Für die CO-Emissionen gelten je nach Brennstoff und Anlagengröße unterschiedliche Grenzwerte. Für Holzfeuerungsanlagen mit weniger als 500 kW_{th} und Strohfeuerungsanlagen mit weniger als 100 kW_{th} beträgt der Grenzwert 1.000 mg/Nm³. Für holzgefeuerte Anlagen mit einer Leistung von über 500 kW_{th} liegt der Grenzwert bei 500 mg/Nm³. Nach 2014 gelten für alle Anlagen einheitliche Grenzwerte in Höhe von 20 mg Feinstaub und 400 mg CO/Nm³ Abluft.

Tabelle 2.2: Emissionsgrenzwerte für Stroh- und Holzfeuerungen der 1. BImSchV

	Brennstoff	Anlagengröße kW	Staub mg/Nm³	CO mg/Nm³
Stufe 1 (ab 22. März 2010)	Naturbelassenes Holz	> 4 < 500	100	1.000
		> 500	100	500
	Stroh	< 4 < 100	100	1.000
Stufe 2 (nach 2014)	Naturbelassenes Holz	> 4	20	400
	Stroh	< 4 < 100	20	400

Quelle: 1. BImSchV.

TA Luft für Anlagen nach der 4. BImSchV

Die TA-Luft beschreibt die immissionsschutzrechtlichen Anforderungen für genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen. Strohgefeuerte Anlagen unterliegen ab einer Feuerungsleistung von 100 kW der TA-Luft, während bei naturbelassenem Holz die TA-Luft erst ab einer Feuerungsleistung von 1 MW greift.

Die Grenzwerte für Staub und CO-Emissionen sind in Tabelle 2.3 dokumentiert. Es ist ersichtlich, dass bei strohgefeuerten Anlagen ab einer Feuerungswärmeleistung von 100 kW deutlich schärfere Grenzwerte für Staub gelten als bei holzgefeuerten Anlagen. Der Staubgehalt darf bei Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung zwischen 0,1 und 1 MW nicht über 50 mg/Nm³ liegen. Bei holzbasierten Anlagen gelten bei dieser Leistungsgröße jedoch noch die Vorgaben der 1. BImSchV mit 100 mg/Nm³. Auch hinsichtlich der CO-Emissionen sind für strohgefeuerte Anlagen in diesem Leistungsbereich deutlich schärfere Grenzwerte vorgeschrieben.

Tabelle 2.3: Emissionsgrenzwerte für Stroh- und Holzfeuerungen nach der TA-Luft

		Stroh		Holz		
Anlagengröße	MW	< 1 MW	>1 MW	<2,5 MW	< 5 MW	> 5 MW
Staub	mg/Nm³	50	20	100	50	20
CO	mg/Nm³	250	250	150	150	150

Quelle: BMU (2002).

2.2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen der biogenen Kraftstoffproduktion

Obwohl Rohstoffe der Biokraftstofferzeugung aufgrund ihrer hohen Transportwürdigkeit nicht im Rahmen des vorliegenden Berichtes berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 2.1), werden im Folgenden die Rahmenbedingungen der Biokraftstoffproduktion dargestellt. Dies ist notwendig, da sie über die Wirtschaftlichkeit der Produktionsanlagen das Agrarpreisniveau beeinflussen können und somit über den Umweg der Flächennutzungskosten wiederum die Wettbewerbsfähigkeit der in Kapitel 2.1 ausgewählten Rohstoffe beeinflussen.

Biokraftstoffquotengesetz

In Anbetracht der zunehmenden Steuerausfälle beschloss der Gesetzgeber, die Förderung der Biokraftstoffe mit Wirkung vom 1. Januar 2007 grundlegend zu verändern. Die zuvor geltende Steuerbegünstigung für reine Biokraftstoffe wird in einer Übergangszeit, die bis 2012 dauert, schrittweise aufgehoben. Lediglich Ethanol in Form von E85 sowie Biokraftstoffe der 2. Generation bleiben bis 2015 von der Steuer befreit. Die Steuerbegünsti-

gung für Biokraftstoffe, die in Beimischungen eingesetzt werden, wurde sofort aufgehoben und durch eine Beimischungspflicht ersetzt.

Durch das Biokraftstoffquotengesetz wird die Mineralölwirtschaft verpflichtet, einen stetig wachsenden Mindestanteil an Biokraftstoffen zu verwenden. Die jeweils geltenden Unter- und Gesamtquoten sind in Tabelle 2.4 dargestellt. Nach derzeitigem Gesetzesstand (April 2010) liegt die Mindestquote für Ethanol zwischen 2010 und 2015 bei 2,8 % (bezogen auf den Energiegehalt). Die Mindestquote für Biodiesel liegt für den genannten Zeitraum bei 4,4 %. Über diese beiden Mindestquoten (Unterquoten) hinaus ist eine Gesamtquote für Biokraftstoffe festgelegt, die zwischen 2010 und 2015 6,25 % beträgt. Ab 2015 wird die Beimischungsquote durch eine Klimaschutzquote ersetzt. Das bedeutet, dass ab dem Jahr 2015 nicht mehr ein energetischer Anteil beigemischt werden muss, sondern durch die Beimischung der CO_2-Ausstoß im Transportsektor um 3 % verringert werden muss. Dieser Wert wird in 2017 auf 4,5 % und in 2020 auf 7 % erhöht. Dabei ist der Mineralölindustrie freigestellt, über welchen Kraftstoff bzw. andere Maßnahmen sie die Vorgaben der Treibhausgasemissionen erreicht, solange dieser den Vorgaben der Nachhaltigkeitsverordnung erfüllt. Derzeit ist noch nicht klar, mit welchen Biokraftstoffen die Klimaschutzquote in Zukunft erfüllt wird und welche Nachfrage sich daraufhin für die unterschiedlichen Rohstoffe entwickelt.

Tabelle 2.4: Biokraftstoffquoten in Deutschland

	2009	2010-2015	ab 2015	ab 2017	ab 2020
Gesamtquote	5,25	6,25			
Unterquote Ottokraftstoffe	2,8	2,8	3%*	4,5%*	7%*
Unterquote Dieselkraftstoffe	4,4	4,4			

* Ab 2015 werden die kalorischen Mindestanteile ersetzt durch eine Klimaschutzquote zur Reduzierung der Treibhausgase.
Quelle: BMU (2010).

Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung

Ab 1. Januar 2011 tritt die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung in Kraft. Sie soll dazu führen, dass durch die Förderung von Biokraftstoffen bei der Herstellung der biogenen Rohstoffe und ihrer Verarbeitung eine positive Klimabilanz sowie die Einhaltung von Umweltstandards gewährleistet werden. Gemäß dieser Verordnung werden Biokraftstoffe nur für die im vorherigen Abschnitt genannten Quoten angerechnet, wenn durch ihren Einsatz gegenüber der fossilen Referenz mindestens 35 % CO_2 eingespart werden. Dieser Wert erhöht sich ab 2017 auf 50 % und ab 2018 auf 60 %.

Weiterhin macht die Nachhaltigkeitsverordnung Vorgaben zur Rohstoffproduktion für die Biokraftstoffe. Diese muss nach guter fachlicher Praxis (Cross Compliance) erfolgen. Folgende Flächen dürfen nicht für die Rohstoffproduktion genutzt werden:

– Flächen mit hohem Naturschutzwert, z. B. Grünland mit hoher biologischer Vielfalt, Naturschutzflächen.
– Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand, z. B. Moorflächen, Feuchtgebiete.
– Flächen, die zum 1. Januar 2008 Torfmoor waren.

Inwiefern die Veränderungen der Rahmenbedingungen für die Biokraftstoffproduktion die Nachfrage nach Agrarrohstoffen verändern werden, kann derzeit nicht abschließend beantwortet werden. Biodiesel aus Raps sowie Ethanol aus Getreide kann die Vorgaben der Nachhaltigkeitsverordnung bis 2015 ohne Probleme einhalten. Die erhöhte CO_2-Mindesteinsparung von 50 % erreicht Biodiesel aus Raps nach den Standardwerten nicht. Weiterhin steht der Mineralölindustrie nach der Umstellung von einer energetischen Beimischung auf ein CO_2-Reduktionsziel ab 2015 frei, welche Biokraftstoffe sie einsetzt. Daraus erwächst für Biokraftstoffe mit einer hohen CO_2-Einsparung ein Wettbewerbsvorteil.

3 Regionale Unterschiede in der Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen

3.1 Konzeptionelle Vorüberlegungen

Wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, hat die Politik seit Januar 2009 die Förderbedingungen für Biogasanlagen stark verbessert. Allein durch den Güllebonus kann beispielsweise eine 150 kW-Anlage mit etwa 1.500 t Schweinegülle einen Erlös von 48.000 € erzielen, was einer Wertschöpfung von etwa 32 €/t Gülle entspricht. Ferner wurden die Fördersätze insgesamt verbessert, sodass ein neuer Biogasboom zu erwarten ist (OLZEM, 2008: 18; KEYMER, 2009: 274). Welche Strukturwirkungen sich aus der veränderten Förderung ergeben, ist jedoch unklar.

Es ist insbesondere offen, wie sich

(1) die veränderten Förderkonditionen (Güllebonus, Kleinanlagenförderung, Gärresttrocknung) auf die Wettbewerbsfähigkeit und damit auf die künftige Struktur der Biogasanlagen sowie die Nährstofftransporte auswirken;

(2) die möglicherweise veränderte Verwendung der Wirtschaftsdünger sowie entstehende Nährstofftransporte auf regionale Nährstoffüberschüsse auswirken und

(3) durch den Güllebonus Standortvorteile für die Veredelungsproduktion verändern.

Solange diese agrarstrukturellen Wirkungen ungeklärt sind, ist es nur schwer möglich, die Politik bezüglich künftig anstehender EEG-Reformen zur Optimierung der Biogasförderung zu beraten.

Bisher ist die wissenschaftliche Agrarökonomie nur begrenzt in der Lage, belastbare Abschätzungen zu agrarstrukturellen Wirkungen der Biogasförderung vorzunehmen. Primär wird das regionalisierte Agrarsektormodell „RAUMIS“ für die Analyse möglicher Auswirkungen des EEG auf die Landnutzung, Produktion und das Einkommen verwendet (GÖMANN und KREINS, 2007). Es ist aber fragwürdig, ob mit einem relativ hoch aggregierten Modell - Regionshofhöfen von etwa 50.000 ha – (a) die für die Investoren maßgeblichen Tatbestände sowie (b) die sonstigen betrieblichen Anpassungen (z. B. überregionaler Nährstofftransport) insgesamt erfasst werden können.

BRAUN et al. (2007) analysierten mithilfe eines linear optimierten Betriebsmodells die Strukturwirkung des EEG für Nordrhein-Westfalen. Relevante Anpassungsstrategien oder Wachstumsprozesse der Betriebe sowie interregionale Zusammenhänge können mit der Linearen Programmierung jedoch nur unzureichend berücksichtigt werden (THOBE, 2008: 34; EBMEYER, 2008: 112; JACOBS, 1998: 235).

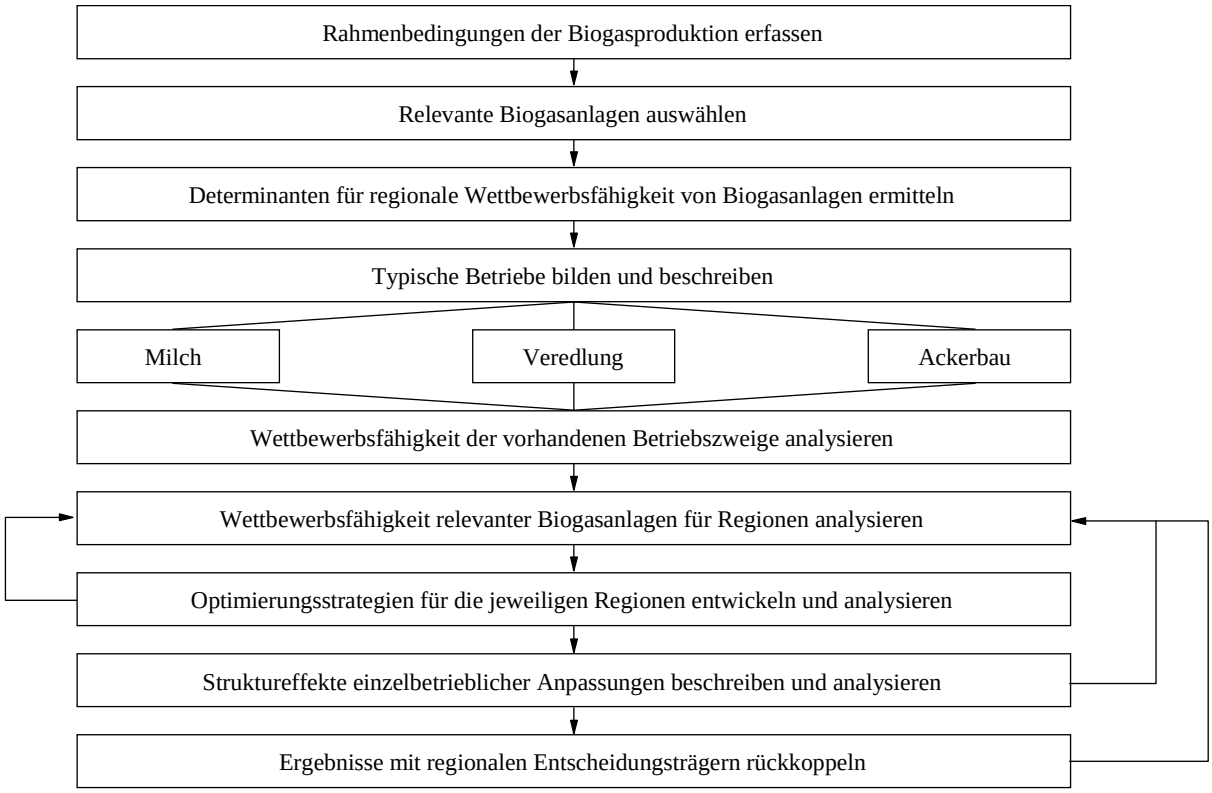
Weiterhin fehlt bei den bisherigen Modellierungsergebnissen eine Rückkopplung zu den Entscheidungsträgern in den Regionen. Insofern ist offen, ob und inwiefern die Modellergebnisse überhaupt die tatsächlichen Auswirkungen realistisch abbilden können.

Daher wird nachstehend ein betriebswirtschaftlicher Ansatz entwickelt, der unter Berücksichtigung einzelbetrieblicher Anpassungsoptionen die Strukturwirkungen des EEG erfasst. Auf dieser Grundlage sollen sich strukturelle Veränderungen darstellen lassen.

3.1.1 Beschreibung der Methode

Das methodische Vorgehen ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

Abbildung 3.1: Vorgehen zur Ermittlung agrarstruktureller Effekte der Biogasförderung



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Rahmenbedingungen der Biogasproduktion wurden bereits in Kapitel 2.1.1 dargestellt. Um die regionale Wettbewerbsfähigkeit und strukturelle Wirkung der Biogasproduktion analysieren zu können, ist es zunächst notwendig die relevanten Anlagenkonstel-

lationen festzulegen. Hierfür ist a) der künftige relevante Wirtschaftsdüngereinsatz sowie b) die künftig relevante Anlagengröße zu identifizieren.

Folglich werden in Kapitel 3.2.1 die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen unterschiedlicher Wirtschaftsdünger anhand ihrer Eigenschaften beschrieben. Anschließend wird unter Berücksichtigung notwendiger Investitionen für Lagerkapazitäten sowie Transportkosten die Zahlungsbereitschaft für Gülle bei unterschiedlichen Maispreisen ermittelt und der zukünftig relevante Gülleanteil abgeleitet.

Die künftig relevanten Anlagengrößen ergeben sich aus dem Zusammenhang zwischen der Vergütungsstruktur des EEG, möglichen Größendegressionen und den Transportkosten. In Kapitel 3.2.2 werden verschiedene Anlagengrößen kalkuliert und anhand des Gewinns und der Kapitalrentabilität die Anlage für den weiteren Verlauf der Arbeit ausgewählt.

Für die im nächsten Schritt vorzunehmende Ermittlung möglicher regionaler Strukturwirkungen sind vor allem drei Faktoren bedeutsam, die sich systematisch im Raum unterscheiden:

(1) **Ertragsrelation:** Die Substratkosten können sich je nach Standortbedingungen deutlich unterscheiden. Mit einem Anteil von 40 bis 50 % an den Gesamtkosten haben sie einen entscheidenden Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit (Wissenschaftlicher Beirat, 2007: 152). Als häufigster Rohstoff wird in 90 % der Biogasanlagen Maissilage eingesetzt (Weiland, 2007: 113). Da Mais mit anderen Kulturen um die gleiche Fläche konkurriert, führen vor allem die Nutzungskosten der Fläche zu regional unterschiedlichen Substratkosten. Diese entsprechen dem entgangenen Gewinnbeitrag der verdrängten Kultur und werden neben den Marktpreisen vor allem aus der Ertragsrelation der Alternativkultur zu Silomais bestimmt. Annahmegemäß wird Weizen als Alternativkultur verdrängt, weshalb die Ertragsrelation zwischen Weizen und Silomais die Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen beeinflusst.

(2) **Wirtschaftsdüngeraufkommen:** Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, wird durch das novellierte EEG ein erheblicher Anreiz geschaffen, Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen einzusetzen. Die meisten Wirtschafsdünger sind jedoch nur begrenzt transportwürdig. Daher ist die Verfügbarkeit der Wirtschaftsdünger ein wesentlicher Standortvorteil für Biogasanlagen. Das Aufkommen hängt wiederum von der Viehdichte ab, die regional sehr unterschiedlich ist.

(3) **Flächenkonkurrenz:** Anders als in der Schweine- und Geflügelmast besteht in der Rinderhaltung ein hoher Bedarf an Raufutter, das nicht wirtschaftlich importiert werden kann. Hier konkurrieren Biogasanlagen direkt mit der Rinderhaltung um die Fläche zur Rohstoffversorgung. In intensiven Veredelungsregionen kommt es

aufgrund der Vorgaben der Düngeverordnung (DÜV) bereits heute zu Nährstoffüberschüssen. Daher konkurrieren Gärreste aus Biogasanlagen mit Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung um die Ausbringungsfläche.

Eine Berücksichtigung sämtlicher Standortbedingungen in Deutschland kann im Rahmen des FNR-Projektes jedoch nicht geleistet werden. Stattdessen werden Regionen ausgewählt, in denen die Streuung der oben genannten Parameter zu erwarten ist, sodass Rückschlüsse auf mögliche regional differenzierte Strukturwirkungen gezogen werden können. Für die ausgewählten Regionen werden in Zusammenarbeit mit Beratern und Landwirten typische Betriebe[1] definiert. Die für die typischen Betriebe notwendigen Parameter ergeben sich aus den oben genannten regionalen Determinanten für die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion. Es werden folgende Größen berücksichtigt:

– Tierzahl
– Flächenausstattung
– Erträge
– Nährstoffbilanz/Nährstoffströme

Im nächsten Schritt wird die Wettbewerbsfähigkeit der Biogaserzeugung für die typischen Betriebe analysiert. Hierfür sind die bestehenden Betriebsstrukturen zu berücksichtigen, da sie mögliche Anpassungsoptionen der Betriebe bestimmen. Da Produktionssysteme in der Landwirtschaft um die Nutzfläche konkurrieren, wird die maximale Zahlungsbereitschaft für die Rohstoffe bzw. für die Fläche als Kennzahl der Wettbewerbsfähigkeit herangezogen. Die maximale Zahlungsbereitschaft gibt an, bei welchen Kosten für Rohstoffe bzw. Fläche das Produktionsverfahren einen Gewinn von null erwirtschaftet.

Eine detaillierte Analyse der Wettbewerbsfähigkeit herkömmlicher Produktionszweige erfolgt jedoch nicht, da innerhalb Niedersachsens nur mit marginalen Unterschieden hinsichtlich der Betriebsgröße, Maschinenausstattung und der Produktionssysteme zu rechnen ist. Stattdessen wird die Zahlungsbereitschaft der herkömmlichen Produktionszweige für die Fläche anhand von Arbeitskreisauswertungen regionaler Berater sowie aus der agrarökonomischen Literatur abgeleitet.

Weiterhin kann das EEG Anreize zur Optimierung der bestehenden Betriebsorganisation schaffen, die wiederum die Struktur beeinflusst. Diese möglichen Optimierungspotenziale und daraus resultierenden Strukturwirkungen werden mithilfe von „engineering cost studies“ sowie in Expertengesprächen erarbeitet.

---

[1] Ein typischer Betrieb repräsentiert den vorherrschenden landwirtschaftlichen Betrieb einer Region hinsichtlich des Betriebstyps, der Flächen- und Maschinenausstattung sowie des Produktionssystems (EBMEYER, 2008: 62).

Anschließend werden auf Basis der ermittelten Anpassungsreaktionen der typischen Betriebe Strukturwirkungen für die ausgewählten Regionen abgeleitet.

3.1.2 Auswahl der Modellregionen

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die regionale Verteilung der funktionalen Zusammenhänge zwischen der Biogasproduktion und der klassischen Landwirtschaft zu ermitteln. Darauf aufbauend werden Regionen für die Analyse der Strukturwirkungen ausgewählt.

Die regionale Verteilung von Synergie- bzw. Konkurrenzbeziehungen zwischen der Biogasproduktion und der klassischen Landwirtschaft werden anhand folgender statistischer Daten ermittelt:

- Der Acker- und Grünlandflächenanteil an der LF ermöglicht es, Regionen mit geringem Ackerflächenanteil zu identifizieren, in denen eine Konkurrenz zum Futterbau zu erwarten ist.
- Die Anbauanteile der einzelnen Kulturen an der Ackerfläche ermöglichen es, weitere Rückschlüsse auf die Konkurrenz zu bestehenden Produktionsrichtungen zu schließen.
- Im Hinblick auf mögliche Synergie- bzw. Konkurrenzbeziehungen zur Tierhaltung durch den Güllebonus können anhand der Großvieh(GV)-Dichte zunächst Regionen mit hohem und geringem Gülleaufkommen ermittelt werden. Weiterhin werden die Anteile der verschiedenen Tierarten am GV-Aufkommen berücksichtigt, um Regionen mit potenziellen Konkurrenzbeziehungen zur Rinderhaltung von Regionen mit potenziellen Konkurrenzbeziehungen zur Veredelung abzugrenzen.
- Regionen mit Nährstoffüberschüssen werden anhand des Nährstoffanfalls aus der Tierhaltung ermittelt.

Abschließend werden die Ergebnisse der einzelnen Teilaspekte zusammengefasst, um unterschiedliche Regionen abzugrenzen und auszuwählen.

Austauschbeziehungen zwischen unterschiedlichen Regionen können die regionalen Strukturwirkungen innerhalb der verschiedenen Regionen beeinflussen. Die Transportwürdigkeit der Rohstoffe für die Biogaserzeugung (Wirtschaftsdünger und Maissilage) ist jedoch sehr begrenzt, sodass eine Verteilung der Regionen über das gesamte Bundesgebiet für die Analyse von Strukturwirkungen nicht zielführend ist. Stattdessen ist eine räumliche Eingrenzung erforderlich, sodass sich die Auswahl der Regionen auf Niedersachsen beschränkt.

Folgende Gründe rechtfertigen die Auswahl Niedersachsens als Untersuchungsgebiet:

- Mit einem Anteil von 30 bzw. 45 % des deutschen Schweine- und Geflügelbestandes ist Niedersachsen einer der bedeutendsten Veredelungsstandorte Deutschlands. Auch in der Rinderhaltung nimmt Niedersachsen mit einem Anteil von 20 % des deutschen Rinderbestandes eine führende Stellung ein (LWK NIEDERSACHSEN, 2008).
- Niedersachsen verfügt über regional differenzierte Produktionszentren in der Landwirtschaft.
- Mehr als 25 % des in Deutschland produzierten Stroms aus Biogas stammt aus niedersächsischen Anlagen. Damit nimmt Niedersachsen auch in der Biogasproduktion eine führende Stellung ein (ML, 2009: 2).

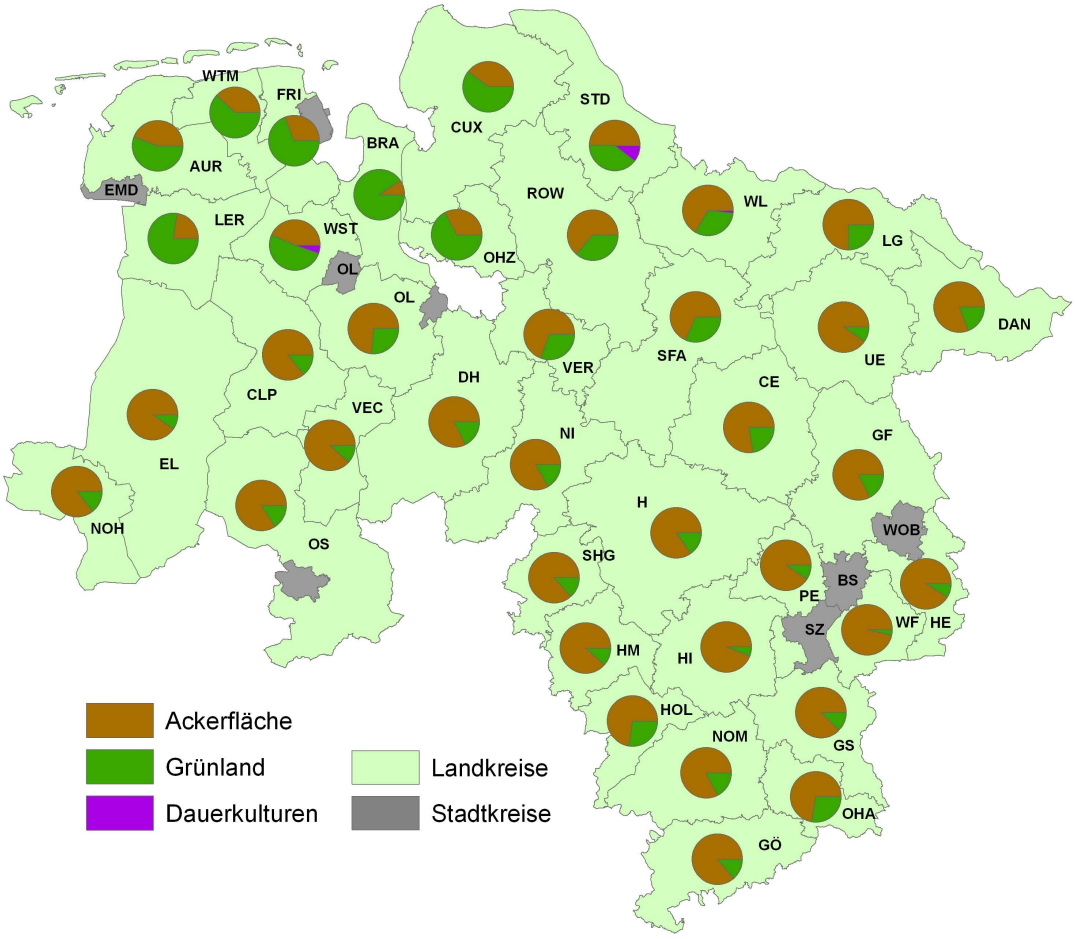
Die Schlussfolgerungen aus Niedersachsen lassen sich auch auf Regionen mit ähnlichen Standortbedingungen übertragen.

In Karte 3.1 sind die Anteile Ackerfläche, Dauergrünland und Dauerkulturen in den einzelnen Landkreisen dargestellt. Insgesamt stehen in Niedersachen 2,62 Mio. ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LF) zur Verfügung. Der größte Anteil (1,86 Mio. ha) wird als Ackerland genutzt. Weitere 0,73 Mio. ha sind Dauergrünland, während die Fläche für Dauerkulturen nur bei 18.000 ha liegt.

In den Küstenregionen dominiert mit einem Anteil von über 50 % der LF das Dauergrünland. Bei einer zusätzlichen Ausdehnung der Biogasproduktion stellt sich in diesen Regionen die Frage, ob ausreichend Ackerflächen zur Verfügung stehen oder die Biogasproduktion auf dem Grünland erfolgt.

Von Nordwesten in Richtung Südosten steigt der Ackerflächenanteil von 75 % in den südlichen Teilen des Weser-Ems-Gebietes bis über 90 % im Südosten Niedersachsens an. Hier steht prinzipiell ausreichend Ackerfläche für den Anbau von Biogasmais zur Verfügung.

Karte 3.1: Anteil Acker, Grünland und Dauerkulturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche



Quelle: Eigene Darstellung nach LWK Niedersachsen (2008).

Weiterhin stellt sich jedoch die Frage, mit welchen klassischen Produktionsrichtungen der Landwirtschaft die Biogasproduktion in den Regionen konkurriert. Erste Rückschlüsse zur Beantwortung dieser Fragestellung ermöglichen die Anbauanteile der unterschiedlichen Kulturen an der Ackerfläche (vgl. Karte 3.2). Es lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

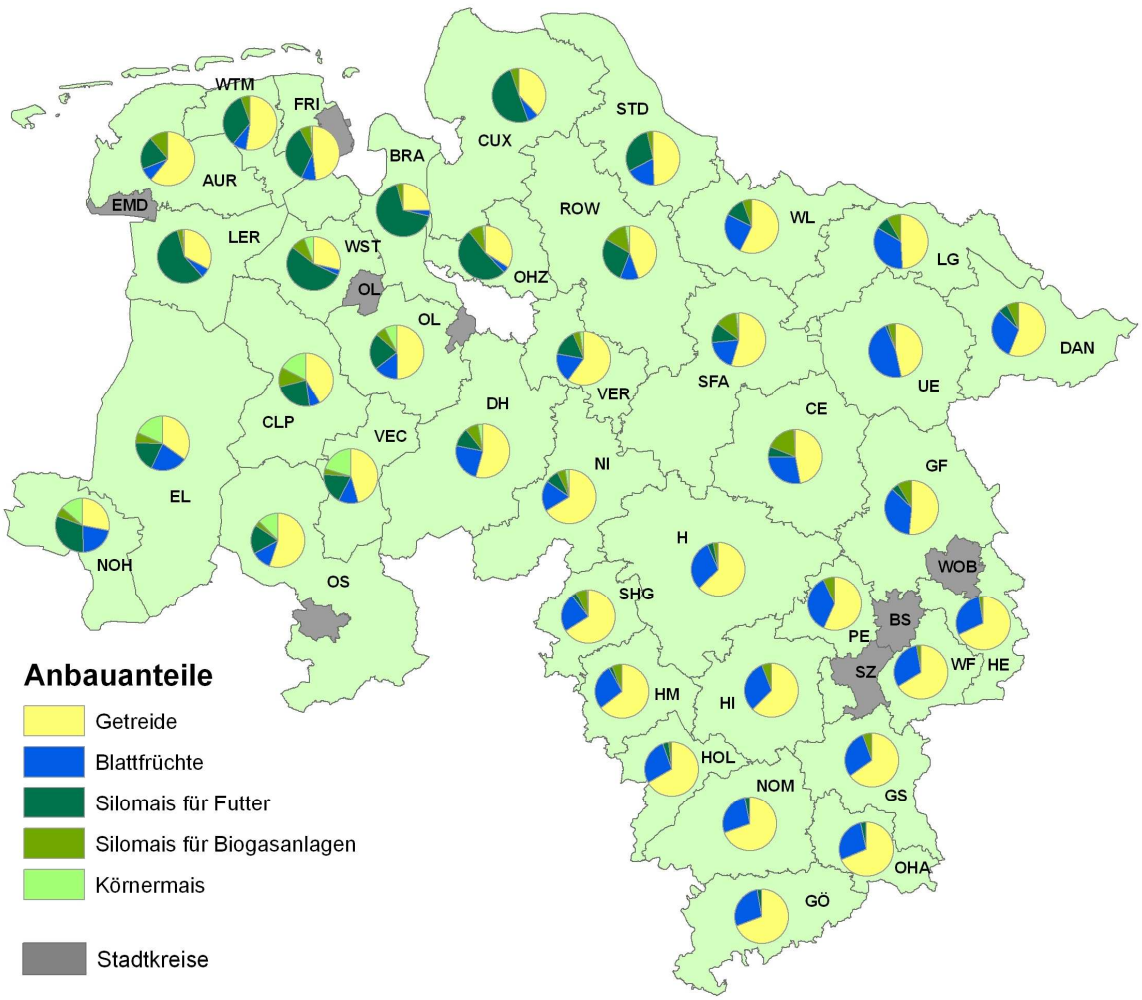
– Im Südosten Niedersachsens dominiert der Getreideanbau mit Anteilen von über 50 % an der Ackerfläche. Der Maisanteil liegt hier deutlich unter 10%, wobei der Großteil des Silomais in Biogasanlagen verwertet wird. In dieser Region konkurriert die Biogasproduktion somit lediglich mit dem Ackerbau.

– In den Kreisen der Lüneburger Heide reicht der Anteil des Silomais an der Ackerfläche bis zu 20 %, wobei mehr als 50 % des Silomais für Biogas verwendet wird. Hier ist ebenfalls nur von einer geringen Konkurrenz zum Futterbau auszugehen.

– In den südlichen Kreisen des Weser-Ems-Gebietes liegt der Maisanteil an der Ackerfläche bereits zwischen 40 und 50 %. Allerdings entfallen hiervon etwa 30 % auf den Körnermaisanbau. Weitere 15 bis 20 % des Maisanteils werden bereits für die Erzeugung von Biogas genutzt. Da nur die Hälfte des Maisanteils für die Rinderfütterung verwendet wird, ist die Konkurrenz zur Rinderhaltung nur begrenzt vorhanden.

– In den nordwestlichen Kreisen Niedersachsens verschärft sich diese Konkurrenz jedoch. Hier liegt der Silomaisanteil an der Ackerfläche in vielen Kreisen über 50 %. Da 70 bis 80 % des Silomais für die Rinderfütterung verwendet werden, ist hier von einer verstärkten Konkurrenz zur Rinderhaltung auszugehen. Bei einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion muss daher entweder der Futterbau auf das Gründland verdrängt werden oder die Biogasproduktion auf Basis von Grassilage erfolgen.

Karte 3.2: Anbauanteile einzelner Kulturen an der Ackerfläche



Quelle: Eigene Darstellung nach LWK Niedersachsen (2008).

Der Güllebonus erhöht die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion erheblich. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein ausreichendes Wirtschaftsdüngeraufkommen, welches durch die Viehdichte bestimmt wird. Daher sind in Karte 3.3 die GV-Dichte sowie die Anteile der einzelnen Tierarten am GV-Aufkommen dargestellt. Folgende regionale Unterschiede lassen sich festhalten:

– In den küstennahen Kreisen liegt das GV-Aufkommen über 1,5 GV/ha LF, weshalb hier von einem ausreichenden Wirtschaftsdüngerangebot ausgegangen werden kann. Allerdings bestätigt sich die Konkurrenz zur Rinderhaltung, da in fast allen Kreisen die Rinderhaltung das GV-Aufkommen mit einem Anteil von über 70 % dominiert.

– In den südlichen Kreisen des Weser-Ems-Gebietes (Vechta, Cloppenburg, Emsland, Osnabrück, Grafschaft Bentheim, Oldenburg) ist die GV-Dichte mit über 2 GV/ha LF noch höher. Anders als in der Küstenregion dominiert jedoch die Veredelung. Da die Futtermittel in der Veredelung importiert werden können, ist die Konkurrenz um Raufutterfläche deutlich geringer als in den nördlichen Kreisen. Weiterhin hat die Geflügelhaltung einen Anteil von 20 bis 30 % am GV-Aufkommen, sodass es zu einem erhöhten Geflügelmistanfall kommt. Dies kann aufgrund der hohen Energiedichte des Geflügelmistes wiederum die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion verbessern.

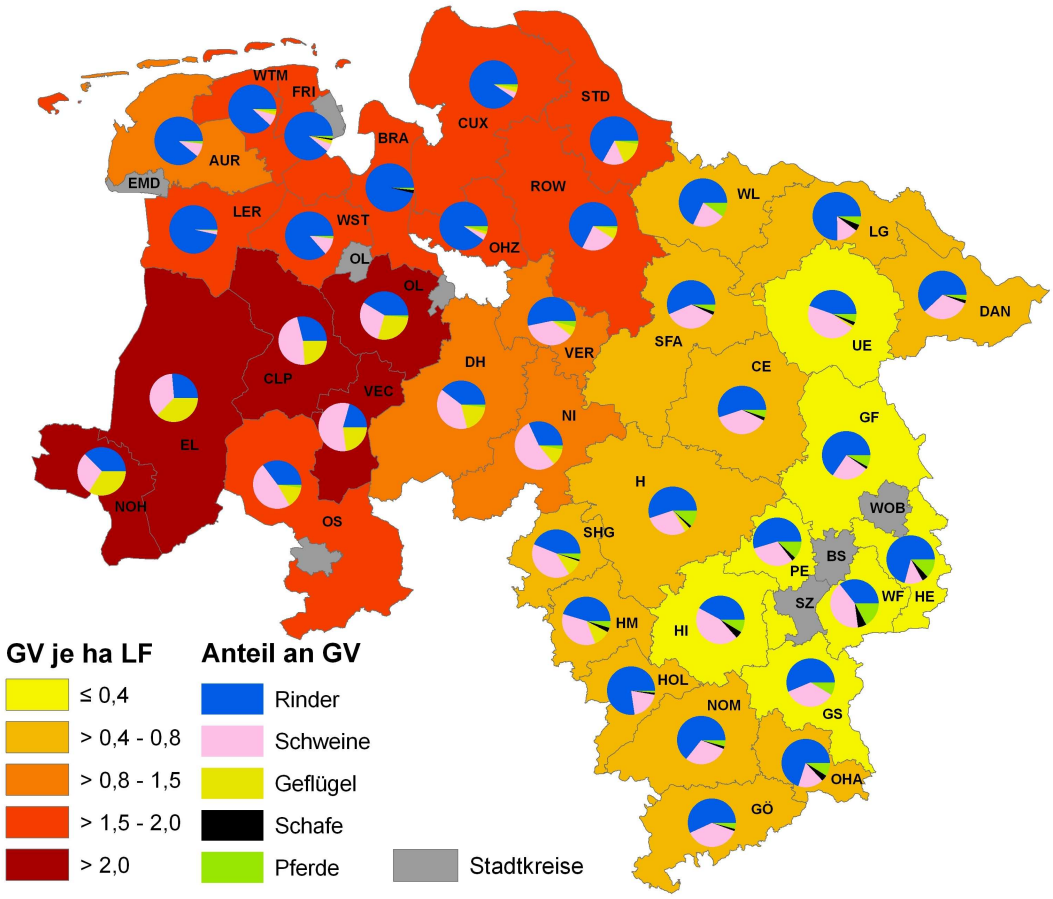
– Je weiter man sich von dieser Region in den Südosten bewegt, desto stärker sinkt das GV-Aufkommen. In den Kreisen Nienburg, Diepholz und Verden liegt die GV-Dichte noch zwischen 0,8 und 1,4 GV/ha LF und sinkt in den Kreisen der Lüneburger Heide und des südlichen Niedersachsens auf 0,4 bis 0,8 GV/ha LF. Die geringste Viehdichte liegt mit weniger als 0,4 GV/ha LF in der Region Salzgitter, Braunschweig, Wolfsburg vor. Bei einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion könnte sich das Wirtschaftsdüngeraufkommen in diesen Kreisen daher am ehesten verknappen.

Die DüV begrenzt die auszubringende Nährstoffmenge je Hektar LF, da sie vorschreibt, dass:

– maximal 170 kg N aus tierischen Ausscheidungen je Hektar LF ausgebracht werden dürfen;

– bestimmte Nährstoffüberschüsse nicht überschritten werden dürfen (im dreijährigen Mittel 70 kg N, im sechsjährigen Mittel 20 kg P_2O_5).

Karte 3.3: GV-Dichte und GV-Anteile der Tierarten



Quelle: Eigene Darstellung nach LWK Niedersachsen (2008).

Bei einer hohen Viehdichte kann es daher regional zu Nährstoffüberschüssen kommen, was sich auf die Bewertung organischer Dünger auswirkt. Sofern wenig organische Nährstoffe in einer Region anfallen, kann für den Gärrest ein Düngewert angerechnet werden, was die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion erhöht. In Regionen mit Nährstoffüberschüssen konkurriert die Biogasproduktion jedoch mit der Tierhaltung um Ausbringungsflächen für den Gärrest bzw. der Wirtschaftsdünger. Im Extremfall muss der Gärrest überregional exportiert werden, sodass anstatt eines Nährstoffwertes Entsorgungskosten anzusetzen sind.

In Karte 3.4 ist der Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger je Hektar LF dargestellt. Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

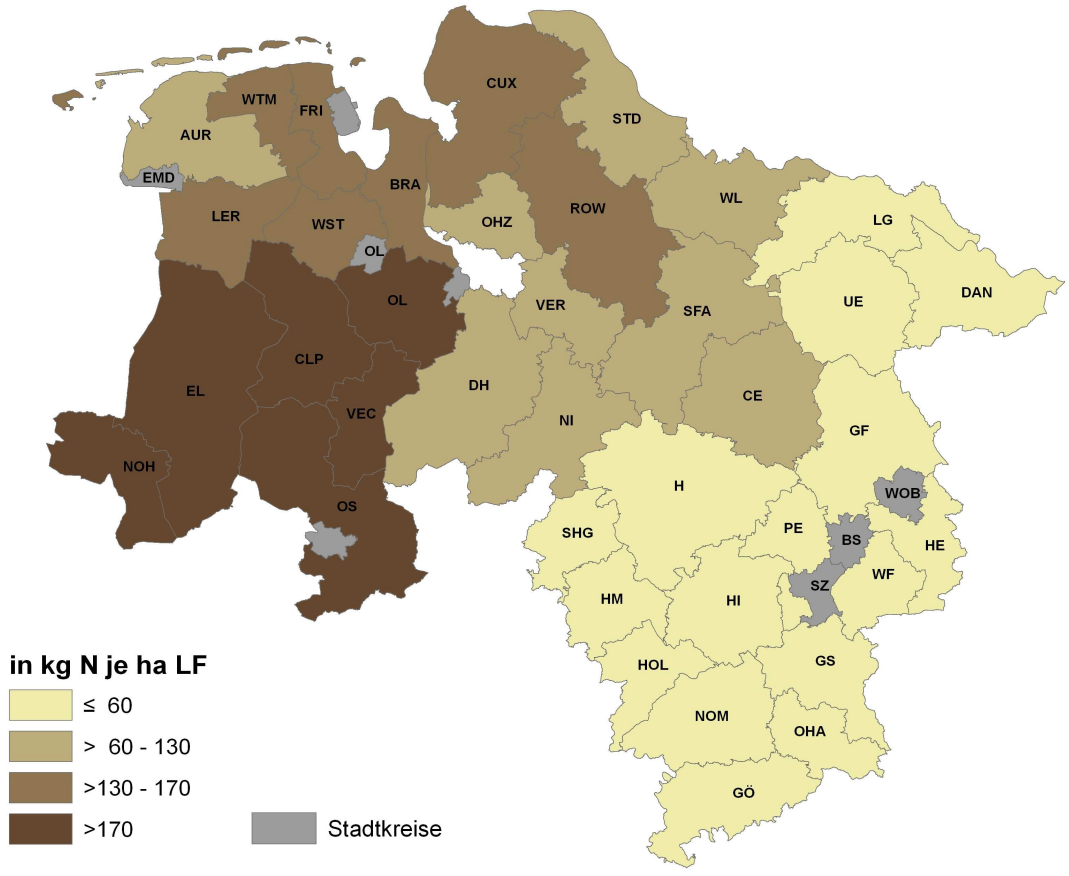
– Die Obergrenze von 170 kg N/ha LF wird in sechs Kreisen (Cloppenburg, Emsland, Grafschaft Bentheim, Vechta, Osnabrück und Oldenburg) überschritten, sodass hier kein Düngewert für den Gärrest berücksichtigt werden kann.

– In den nordwestlichen Kreisen, in denen die Rinderhaltung dominiert, liegt der Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger über 130 kg N/ha LF. Sollten die Vorgaben hinsichtlich der auszubringenden Nährstoffmengen verschärft werden, ist auch in diesen Kreisen künftig mit Nährstoffüberschüssen zu rechnen.

– Südwestlich der zuvor genannten Kreise beträgt der Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger 60 bis 130 kg/ha. Hier ist nicht mit einem Überschuss an Wirtschaftsdünger zu rechnen. Allerdings ist auch fraglich, ob der volle Düngewert des Gärrestes in diesen Regionen berücksichtigt werden kann.

– In den Kreisen Südostniedersachsens kann der volle Düngewert des Gärrestes berücksichtigt werden, da weniger als 60 kg N/ha aus Wirtschaftsdünger anfallen.

Karte 3.4: Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger vor Abzug von Lagerverlusten

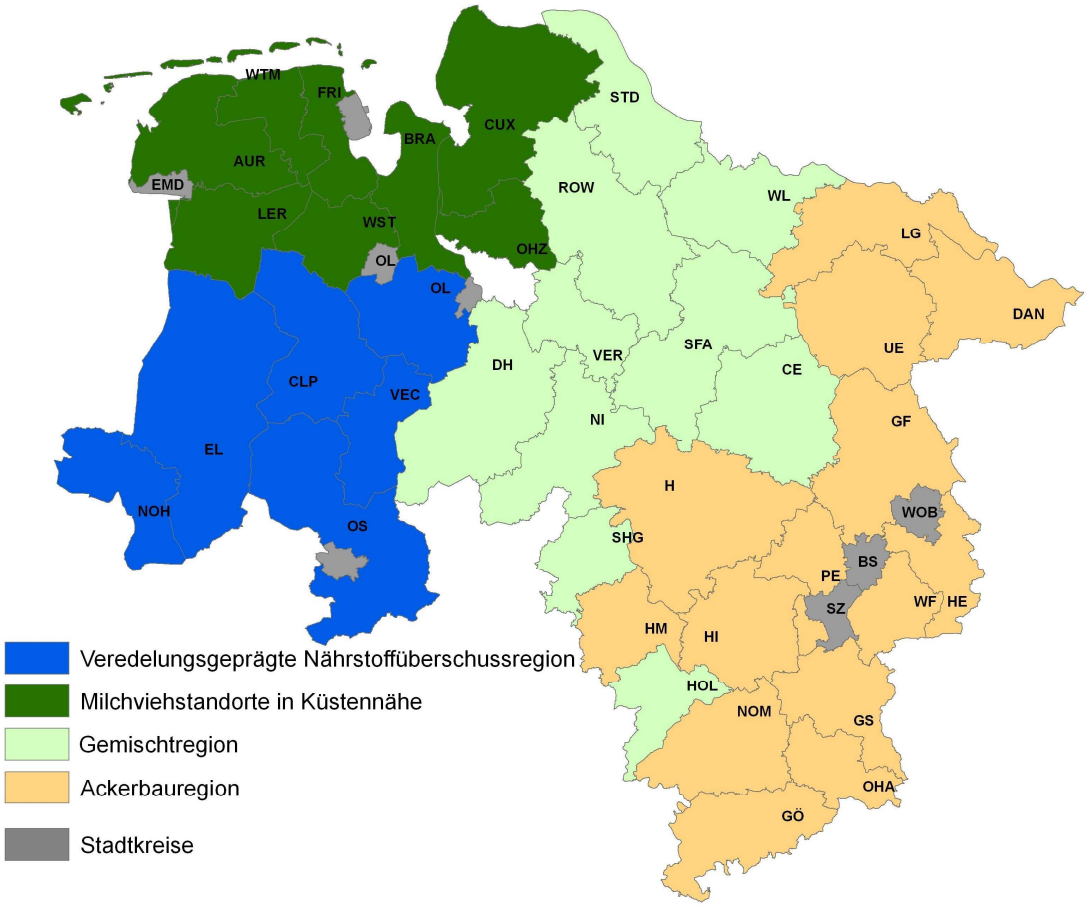


Quelle: Eigene Darstellung nach Osterburg (2008).

Zusammenfassende Darstellung und Auswahl der Regionen

In Karte 3.5 werden die vorherigen Ausführungen gedanklich zu einer Karte zusammengefasst. Daraus lassen sich vier typische Produktionsregionen für Niedersachsen ableiten:

Karte 3.5: Landwirtschaftliche Produktionsregionen in Niedersachsen



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Windhorst und Grabowsky (2008).

(1) Veredelungsgeprägte Nährstoffüberschussregion

In dieser Region dominieren die Schweine- und Geflügelhaltung. Die Viehdichte liegt über 2 GV/ha LF. Der Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger je Hektar LF übersteigt die nach der DÜV geltende Obergrenze von 170 N, sodass Nährstoffe aus der Region exportiert werden müssen. In der Region wird bereits auf mehr als 30 % der Ackerfläche Mais angebaut. Hiervon entfällt jedoch etwa ein Drittel auf den Körnermaisanbau, sodass bei einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion Körnermais durch Silomais substituiert werden kann, ohne den Maisanteil zu erhöhen. Der typische Betrieb wird in Abstimmung mit Beratern der Landwirtschaftkammer Niedersachsen für den Landkreis Cloppenburg erhoben.

(2) Küstennahe Milchviehstandorte

Aufgrund des hohen Grünlandanteils (über 50 %) sind Ackerflächen nur begrenzt verfügbar. Die Viehdichte liegt unter 2 GV/ha LF, wobei die Rinderhaltung mit mehr als 50 % am GV-Aufkommen dominiert. In der Folge wird auf etwa der Hälfte der Ackerfläche Silomais für die Rinderfütterung angebaut. Der Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger liegt noch unter 170 kg N, sodass keine überregionalen Gülletransporte notwendig sind. Der typische Betrieb wird hier exemplarisch für den Landkreis Aurich erhoben.

(3) Ackerbauregion

In der Ackerbauregion beträgt der Gründlandanteil weniger als 20 %. Weiterhin ist die Region durch eine geringe GV-Dichte unter 0,5 GV/ha LF geprägt. In der Folge ist auch der Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger kleiner als 55 kg/ha LF, sodass für organische Dünger der volle Nährstoffwert angerechnet werden kann. Aufgrund des bisher geringen Maisanteils besteht noch ein erhebliches Potenzial für die Ausdehnung des Maisanbaus. Der Silomaisanbau für die Produktion von Biogas konkurriert hier lediglich mit dem Ackerbau.

(4) Gemischtregionen

Anders als in den vorherigen Regionen ist in der Gemischtregion keine Produktionsrichtung eindeutig dominierend. Das GV-Aufkommen liegt zwischen 0,4 und 1,5 GV/ha LF, wobei die Anteile der Rinderhaltung und der Veredelung am GV-Aufkommen in etwa gleich sind. In der Folge sind die Rahmenbedingungen für die Biogasproduktion in der Gemischtregion auch weniger stark ausdifferenziert als in den vorherigen Produktionszentren. Beispielsweise ist der Stickstoffanfall mit 60 bis 130 kg/ha LF deutlich geringer als in den Veredelungs- oder Milchviehregionen, jedoch deutlich höher als in der Ackerbauregion. Daher ist zu erwarten, dass auch die Strukturwirkungen weniger eindeutig sind. Je nachdem, welcher Produktionsschwerpunkt regional dominiert, wird sich eine ähnliche, jedoch abgeschwächte Strukturwirkung wie in den Produktionszentren ergeben. Daher werden die Gemischtregionen für die weitere Arbeit nicht berücksichtigt.

3.2 Biogasproduktion auf Basis des EEG

3.2.1 Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Gülleanteile

Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, wird durch den Güllebonus der Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen zur direkten Verstromung bis 500 kW-Leistung gefördert. Bevor jedoch die künftig relevanten Anlagen kalkuliert und ihre strukturellen Folgen abgeschätzt werden können, müssen vorab offene Fragen zum Einsatz von Wirtschaftsdünger geklärt werden.

(1) Zunächst stellt sich die Frage, welche Wirtschaftsdünger bevorzugt in Biogasanlagen eingesetzt werden. Insbesondere bei Wirtschaftdünger mit hohem Gasertrag können Eigenschaften wie die Ammoniakkonzentration den Einsatz limitieren.

(2) Weiterhin ist fraglich, ob sich der künftige Gülleeinsatz auf 30 % zur Inanspruchnahme des Güllebonus beschränkt. Insbesondere in Veredelungsregionen könnten auch deutlich höhere Gülleanteile zu geringeren Produktionskosten und damit einer höheren Rentabilität führen.

(3) Ein regionaler Mangel an Gülle kann über das Entstehen von Marktpreisen oder über den Umweg von Transportkosten für Gülle zu einer geringeren Rentabilität der Biogasproduktion führen. Daher ist zu klären, ob und welche Wirtschaftsdünger sich regional verknappen können.

Die Vorzüglichkeit und mögliche Grenzen für den Einsatz unterschiedlicher Wirtschaftdünger lassen sich aus ihren Eigenschaften ableiten. Der Tabelle 3.1 ist zu entnehmen, dass der Methanertrag vom flüssigen Wirtschaftsdünger viel niedriger ist als bei Maissilage oder Festmisten. Ursache ist der hohe Wassergehalt. Um 1 t Maissilage zu ersetzen, werden 6 bis 9 t Gülle benötigt. Bei Rinder- und Geflügelmist ist die Substitutionsbeziehung mit 2,1 bzw. 1,4 t je t Maissilage hingegen wesentlich enger. Weiterhin müssen die Fermenter und Gärrestlager aufgrund der geringen Energiedichte bei Gülle größer dimensioniert sein als bei Rohstoffen, wie z. B. Maissilage.

Tabelle 3.1: Eigenschaften von Maissilage und Wirtschaftsdünger

		Maissilage	Schweinegülle	Rindergülle[1)]	Rindermist	Geflügelmist
TS-Gehalt	%	33	6	10	25	40
Methanertrag	m³/t FM	106	12	17	55	83
N-Gehalt	kg/t FM	4	4-6	5	5	25
NH4-Gehalt	kg/t FM	2,4	2,9-4,3	2,7	0,4	9,5
Gärrestanfall	m³/t FM	0,74	0,98	0,98	0,89	0,81
Substitutionsverhältnis zu Mais	t/t Maissilage		8,8	6,2	2,1	1,4
Benötigtes Fermentervolumen[2)]	m³/kW	7,9	11,3	13	11	8,4

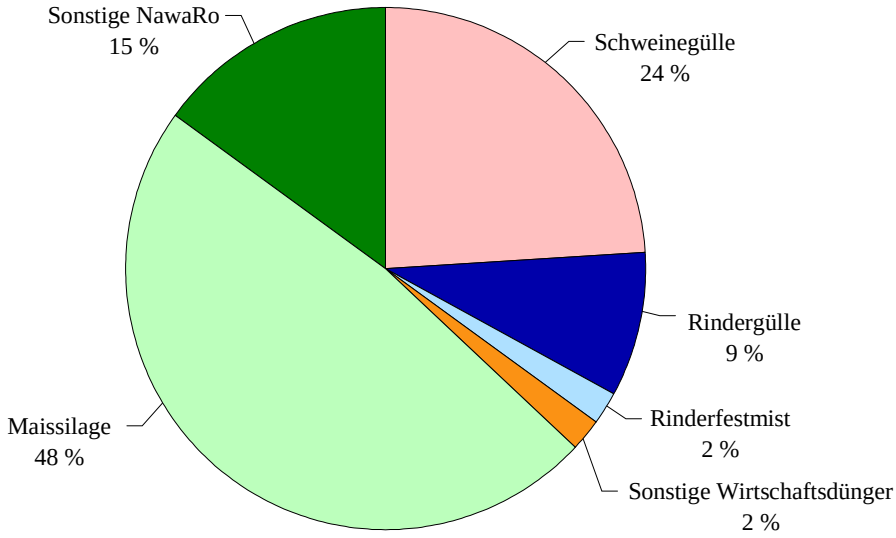
1) Mit Futterresten.

2) Bei einem jeweiligen Anteil von 100% und einer Raumbelastung von 2,5 kg oTS/m³/d.

Quelle: KTBL (2005); KTBL (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

Aufgrund ihrer Eigenschaften müssten Biogasanlagenbetreiber daher bestrebt sein, feste Wirtschaftsdünger einzusetzen. Die Ergebnisse des Biogasmessprogramms II (Abbildung 3.2) zeigen allerdings, dass der Gülleeinsatz deutlich überwiegt. Insgesamt liegt der Anteil von Wirtschaftsdünger am gesamten Substratinput bei lediglich 37 %. Rinder- und Schweinegülle stellen zusammen 89 % der eingesetzten Wirtschaftsdünger.

Abbildung 3.2: Substrateinsatz nach dem Biogasmessprogramm II



Quelle: FNR 2009: 13.

Als wahrscheinliche Ursachen für den geringen Einsatz von Rindermist ist anzuführen, dass

- aus arbeitswirtschaftlicher Sicht in der Rinderhaltung Haltungsverfahren mit Flüssigmist dominieren. In der Regel werden lediglich die Kälber auf Mist gehalten.
- Gülle pumpfähig und daher einfach zu verarbeiten ist. Bei Festmist ist hingegen ein wesentlich höherer Verarbeitungs- und Lageraufwand in der Biogasanlage zu erwarten.

Geflügelmiste haben einen fünfmal höheren Stickstoff- und Ammoniumgehalt als andere Wirtschaftsdünger (vgl. Tabelle 3.1). Daher steigt mit zunehmendem Geflügelmistanteil die Ammoniakbelastung im Fermenter. Bei Ammoniakkonzentrationen von 1,7 bis 4 g/l wird der Biogasprozess gehemmt (BAUER et al., 2009: 31). In einer Substratmischung aus Silomais (NH_4-Gehalt: 2 g/kg FM) und Geflügelmist (NH_4-Gehalt: 9,5 g/kg FM) ergibt sich der maximale Geflügelmistanteil nach folgender Berechnung:

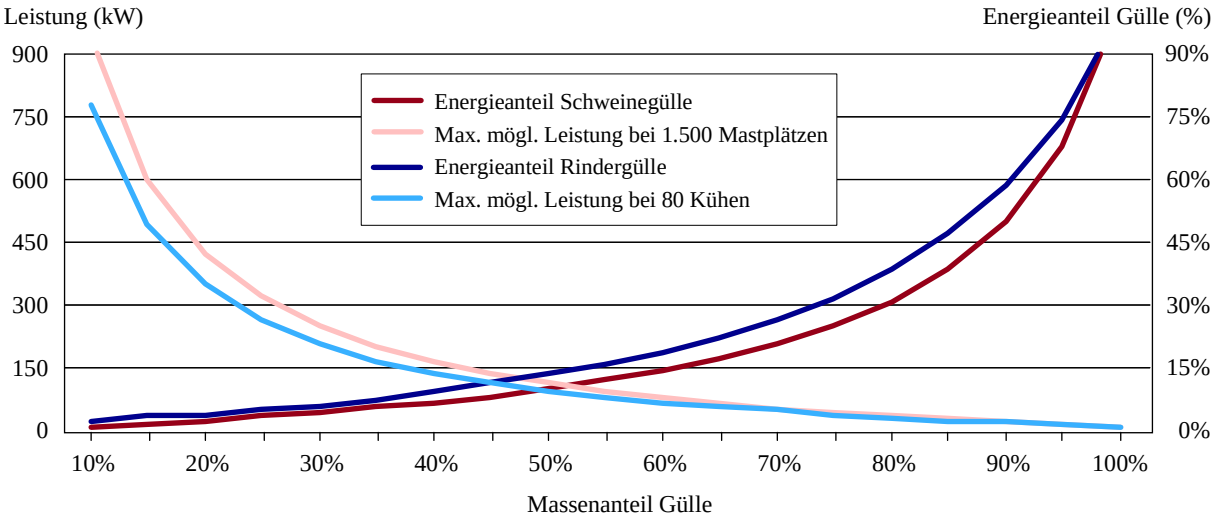
$$9{,}5\ g\ NH_4/l * x\ \%\ HTK + 2\ g\ NH_4/l * (1\text{-}x\ \%\ Maissilage) = 4\ g\ NH_4/l$$

Nach Umformen der Gleichung ergibt sich somit ein maximaler Anteil von 26 % Geflügelmist. Zwar können sich die Bakterien langsam an höhere NH_4-Gehalte gewöhnen, jedoch steigt während der Fermentation auch der NH_4-Gehalt. Die Werte für den Anstieg des NH_4-Anteils am Gesamtstickstoff schwanken in der Literatur zwischen 10 und 70 % (REINHOLD und ZORN, 2008: 4; LAUSEN, 2007: 34; FNR, 2006: 153-164). Daher empfehlen Berater, den Geflügelmistanteil unter 20 % zu halten (RUMP, 2010).

Es lässt sich also festhalten, dass der Einsatz von Festmisten in Biogasanlagen zwar wirtschaftlich interessant ist, das geringe Aufkommen und die Ammoniakkonzentration aber deren Einsatz limitieren.

Um zu analysieren, welche Gülleanteile der Substratzusammensetzung künftig in Veredelungsregionen relevant sind, ist in Abbildung 3.3 zunächst dargestellt, welche elektrische Leistung von Biogasanlagen in typischen westdeutschen Betrieben bei unterschiedlichen Gülleanteilen erzielt werden kann. Dabei wurden Bestandsgrößen von 80 Milchkühen bzw. 1.500 Mastscheinen unterstellt.[2] Für eine 150 kW-Anlage sind demnach lediglich Gülleanteile von 40 bis 45 % möglich. Wie die rechte Y-Achse verdeutlicht, liegt die Ursache in der geringen Energiedichte der Gülle. Erst bei Gülleanteilen von über 90 % wird mehr als die Hälfte der Energie aus der Gülle gewonnen. Biogasanlagen mit höheren Gülleanteilen als die für den Güllebonus geforderten 30 % lassen sich demnach für den typischen westdeutschen landwirtschaftlichen Betrieb nur realisieren, wenn die elektrische Leistung der Biogasanlagen sehr gering ist oder in größerem Umfang Gülle von anderen Betrieben importiert wird.

Abbildung 3.3: Mögliche Leistung und Energieanteil aus Gülle bei unterschiedlichen Gülleanteilen in der Substratmischung



Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

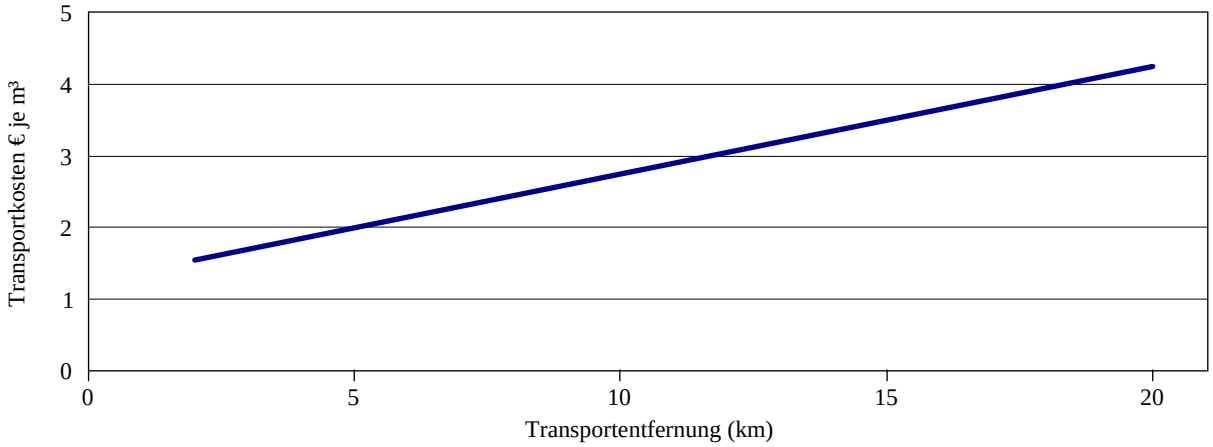
Somit ist zu klären, zu welchen Kosten Gülle beschafft werden kann. Abbildung 3.4 zeigt die Transportkosten für Gülle mit einem 21 m³ Güllefass und einem 138 kW-Schlepper.[3]

[2] Diese Bestände entsprechen einer typischen Größenordnung für westdeutsche Betriebe.

[3] Die Kosten wurden nach KTBL (2010) berechnet.

Für den Zeitbedarf wurden neben dem Straßentransport eine Befüllzeit von 4,6 Minuten/Fass und eine Endladezeit von 3,5 Minuten/Fass unterstellt. Die Kosten für einen 2 km-Transport liegen bei etwa 1,60 €/m³ und steigen bis 10 km auf etwa 3 €/m³.

Abbildung 3.4: Transportkosten für Gülle



Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010).

Ob und wie weit Gülle transportiert werden kann, hängt jedoch von der Zahlungsbereitschaft des Biogasanlagenbetreibers für Gülle ab. Daher wird im Folgenden am Beispiel von Schweinegülle erläutert, ob auch ohne Güllebonus ein wirtschaftlicher Gülletransport möglich ist. Aufgrund ähnlicher Eigenschaften sind die Ergebnisse auf Rindergülle übertragbar.

Die Zahlungsbereitschaft für Gülle hängt zunächst von dem Maispreis und der Möglichkeit, bestehende Güllelager aus der Tierhaltung mitnutzen zu können, ab.

Bei steigendem Maispreis verteuert sich die Energie aus Maissilage, sodass gleichzeitig die Zahlungsbereitschaft für die Energie aus Gülle steigt. Zusätzlich sind jedoch noch folgende Faktoren zu berücksichtigen:

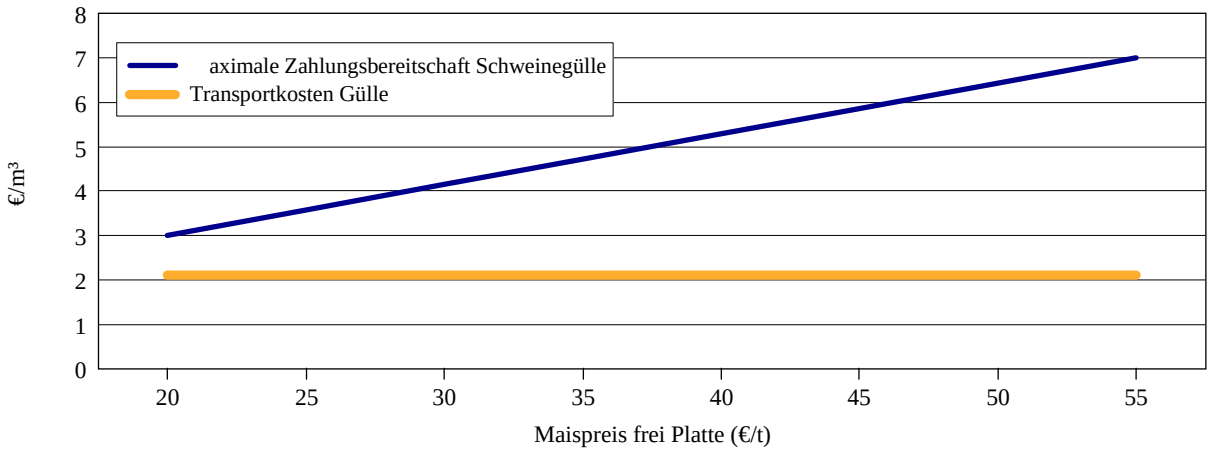
(1) Für Maissilage muss die Biogasanlage auch die Kosten der Gärrestausbringung tragen, während diese bei Gülle der Tierhaltung anzulasten sind. Bei einem Gärrestanfall von 0,7 m³ pro t Maissilage und Ausbringungskosten für den Gärrest von 3 €/m³ erhöht dies die Kosten der Maissilage um 2,10 €/t FM.

(2) Sofern die Biogasanlage noch nicht gebaut ist, verringert sich durch einen vermehrten Einsatz von Gülle der Lagerraumbedarf von Maissilage. Für die Lagerung der Maissilage ist ein Investitionsbedarf von 50 €/m³ anzunehmen (KTBL, 2005a: 527).

(3) Aufgrund des geringeren Trockensubstanzgehaltes wird bei der Vergärung von Gülle ein größeres Fermentervolumen benötigt. Hierfür wurde ein Investitionsbedarf von 98 €/m³ Fermentervolumen (KTBL, 2009: 192) angesetzt.

In Abbildung 3.5 ist die Zahlungsbereitschaft für Gülle bei unterschiedlichen Maispreisen dargestellt. Es zeigt sich, dass selbst bei niedrigen Maispreisen von 20 €/t die Zahlungsbereitschaft höher ist als die Transportkosten für Gülle bei einer Entfernung von 3 km. Somit wäre zunächst auch ohne Güllebonus ein überbetrieblicher Gülleeinsatz rentabel zu bewerten.

Abbildung 3.5: Maximale Zahlungsbereitschaft für Schweinegülle ohne Berücksichtigung des Endlagers



Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2005); KTBL (2009); KTBL (2010).

Allerdings besteht der Anspruch auf den NawaRo-Bonus nach Anlage II EEG 2009 für nach dem Bundesemissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftige Anlagen nur, wenn das Gärrestlager gasdicht abgedeckt ist. Nach der 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) ist eine Biogasanlage genehmigungsbedürftig, wenn

a) die Gesamtfeuerungsleistung über 1 MW (ca. 350 kW el.) liegt,

b) das Fassungsvermögen des Gärrestlagers 6.500 m³ übersteigt und

c) die Biogasanlage eine Nebenanlage einer nach BImSchV genehmigungsbedürftigen Tierhaltungsanlage ist.

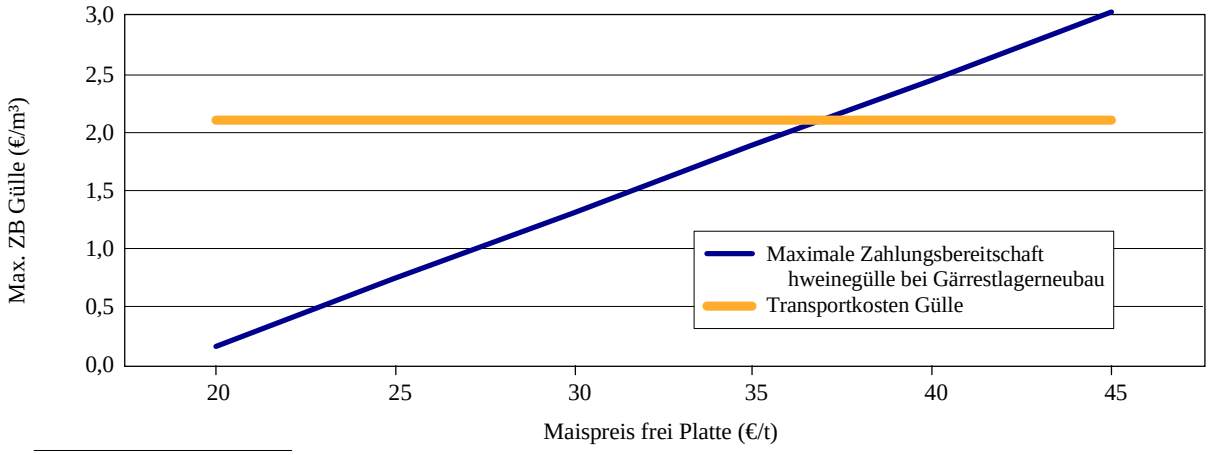
Biogasanlagen unter 100 kW-Leistungen erreichen auch bei hohen Gülleanteilen nicht die unter a) und b) genannten Schwellenwerte. Allerdings können sie leicht zur Nebenanlage einer genehmigungsbedürftigen Tierhaltung werden. Mastschweineställe sind bereits ab 1.500 Mastplätzen genehmigungsbedürftig. Daher müssen selbst bei kleinen Gülleanlagen die Gärrestlager in der Regel gasdicht abgedeckt werden. Dies ist wiederum nur möglich,

wenn sich das Gärrestlager in unmittelbarer Nähe des BHKWs befindet und das entstehende Gas verbraucht wird. Somit können in aller Regel vorhandene Güllelager anderer Betriebe nicht mitgenutzt werden.

Für die Kalkulation der Zahlungsbereitschaft für Gülle bedeutet dies, dass zusätzlich die Investitionen für ein Gärrestlager zu berücksichtigen sind.

Der Investitionsbedarf für ein 1.000 m³ abgedecktes Gärrestlager liegt bei ca. 74 €/m³ (KTBL, 2009: 191). Werden die daraus resultierenden Kapitalkosten berücksichtigt, reduziert sich die Zahlungsbereitschaft für Gülle massiv (Abbildung 3.6). Ein überbetrieblicher Gülleeinsatz ohne Güllebonus wird demnach erst rentabel, wenn der Maispreis auf 35 €/t steigt.

Abbildung 3.6: Maximale Zahlungsbereitschaft für Gülle unter Berücksichtigung der Kosten für ein zusätzliches Gärrestlager



Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2005); KTBL (2009); KTBL (2010).

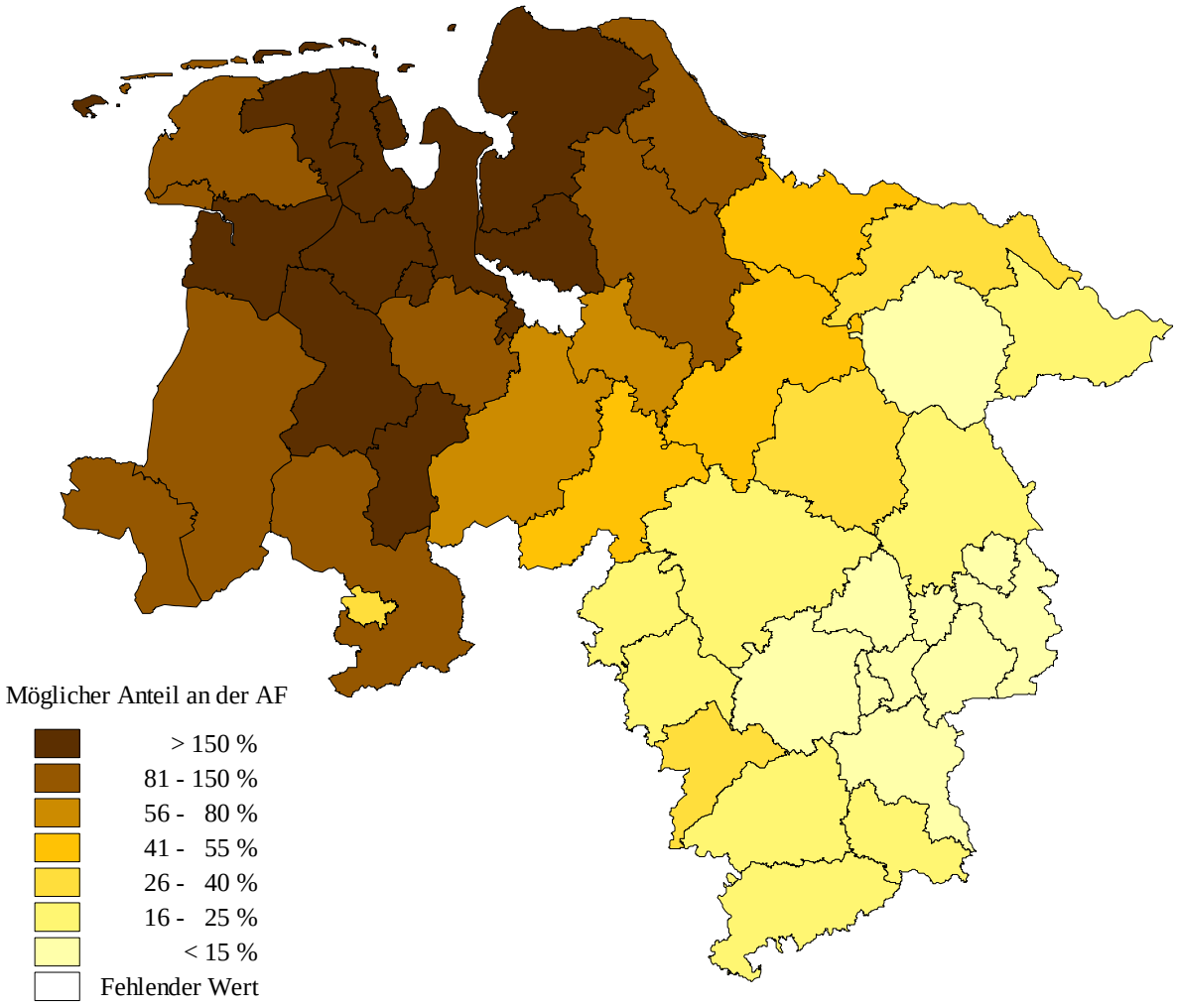
Die Kalkulationen haben gezeigt, dass trotz des hohen Gülleaufkommens in Veredelungsregionen in der Regel nur der für den Güllebonus notwendige Mindestgülleanteil von 30 % eingesetzt wird. Diese Güllemenge steht den Betrieben jedoch in der Regel kostenfrei zur Verfügung. Somit ist zu erwarten, dass die Anlagenbetreiber den Güllebonus auf eine höhere Zahlungsbereitschaft für pflanzliche Rohstoffe umlegen anstatt höhere Gülleanteile in der Substratmischung zu fahren.

Neben der Frage nach dem künftigen Gülleeinsatz in Veredelungsregionen ist im Zusammenhang mit dem Güllebonus weiterhin fraglich, ob sich Gülle aufgrund eines geringen Viehaufkommens auch regional verknappen kann.

Zur Beantwortung dieser Frage ist in Karte 3.6 zunächst dargestellt, welcher Anteil der Ackerfläche (AF) für die Erzeugung von Biogas genutzt werden kann, bis das vorhandene

Gülle- und Festmistaufkommen erschöpft ist. Dabei werden ein konstanter Maisertrag von 45 t/ha und ein Gülleanteil von 35 % bei der Biogaserzeugung unterstellt.

Karte 3.6: Möglicher Anteil Energiemais an der AF bei Ausnutzung des Gülleaufkommens in Biogasanlagen mit 35 % Gülleanteil



Quelle: Eigene Berechnung nach Thiering (2009) auf Basis von Döhler et al. (2002), LWK Niedersachsen (2008), LWK Niedersachsen (2009a), KTBL (2009).

In Niedersachsen ist das vorhandene Gülleaufkommen erst verbraucht, wenn 77 % der AF für die Erzeugung von Biogas genutzt werden. Regional ist die Situation jedoch sehr unterschiedlich. Während in den Kreisen Vechta und Cloppenburg mehr als das 1,5 fache der AF für den Anbau von Biogasmais genutzt werden könnte, ist in den südwestlichen Kreisen Niedersachsens, wie Hildesheim, das Gülleaufkommen bereits erschöpft, wenn weniger als 15 % der AF für die Biogaserzeugung genutzt werden.

Wie wahrscheinlich eine derartige Entwicklung ist, lässt sich an der bisherigen Verbreitung von Biogas in Niedersachsen zeigen. In Tabelle 3.2 ist dargestellt, wie sich die installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen in den letzten Jahren entwickelt hat. Im Jahr 2009 betrug die installierte elektrische Biogasleistung in Niedersachsen 400 MW. Im Durchschnitt der letzten vier Jahre stieg die installierte elektrische Leistung jährlich um 15 % an. Wird unterstellt, dass sich dieses Wachstum fortsetzt und die entstehenden Biogasanlagen 35 % Gülle einsetzen, werden niedersachsenweit bereits im Jahr 2014 mehr als 16 % der AF für die Erzeugung von Biogas genutzt.

Tabelle 3.2: Entwicklung der installierten elektrischen Leistung von Biogasanlagen in Niedersachsen

	Jahr	Installierte Leistung	Jährlicher Zuwachs (relativ)	Benötigte Fläche	Anteil an der AF
		MW	%	ha	%
Vergangenheit	2001	37			
	2002	45	22		
	2003	95	111		
	2004	112	18		
	2005	230	105		
	2006	300	30		
	2007	344	15		
	2008	365	6		
	2009	400	10	145.000	8
Mittelwert der letzten 4 Jahre			**15**		
Mögliche Entwicklung bei 15 % Wachstum	2010	460	15	169.000	9
	2011	529	15	196.600	11
	2012	608	15	228.340	12
	2013	700	15	264.841	14
	2014	805	15	306.817	16
	2015	925	15	355.090	19
	2016	1.064	15	410.603	22
	2017	1.224	15	474.444	25

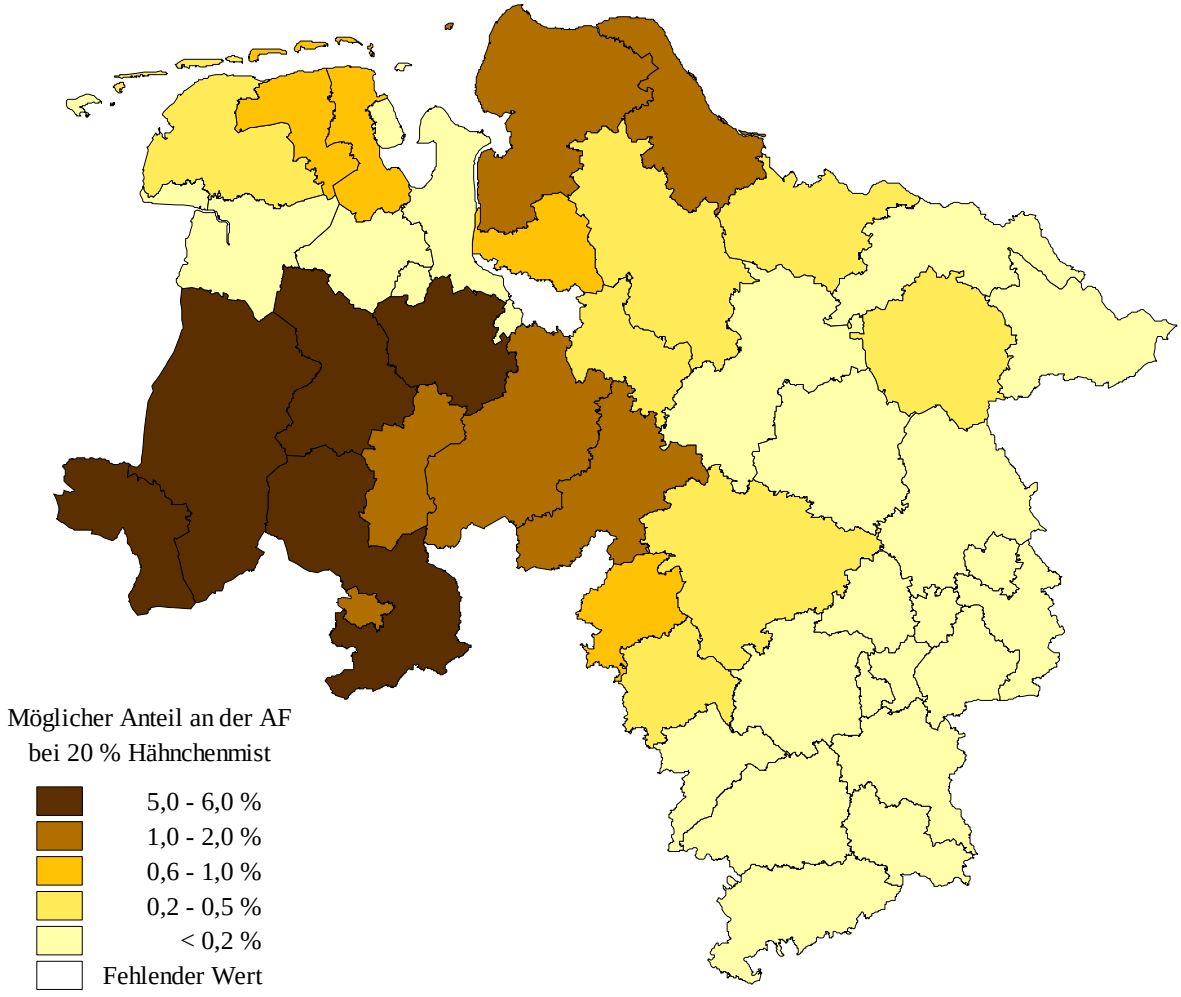
Quelle: Eigene Berechnung nach Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung (ML) (2009), LWK Niedersachsen (2009b).

Diese überschlägige Kalkulation verdeutlicht, dass sich insbesondere in den südwestlichen Kreisen Niedersachsens Gülle verknappen wird, wenn das Wachstum bei der Errichtung von Biogasanlagen anhält. Dabei ist anzunehmen, dass sich bereits vorher ein regionaler Markt für Gülle entwickeln wird. Unter der Voraussetzung, dass nicht zusätzliche Tierhaltungsanlagen in der Region entwickelt werden, wird sich der Güllepreis mit zunehmender Verknappung an den Transportkosten von Gülle aus den Überschussgebieten orientieren. Grund hierfür ist, dass die Anbieter von Gülle die Knappheit von Gülle reali-

sieren und versuchen, ihren Erlös zu maximieren. Inwiefern dies die Rentabilität der Biogaserzeugung verändert, wird in Kapitel 3.5.2 analysiert.

Aufgrund der hohen Vorzüglichkeit von Geflügelmist wird das Wirtschaftsdüngeraufkommen differenzierter betrachtet. In Karte 3.7 ist dargestellt, bei welchem Anteil Energiemais an der AF das vorhandene Geflügelmistaufkommen verbraucht ist. Hierfür werden ein Geflügelmistanteil von 20 % und ein Maisertrag von 45 t/ha unterstellt.

Karte 3.7: Möglicher Anteil Energiemais an der AF bei Ausnutzung des Geflügelmistaufkommens in Biogasanlagen mit 20 % Hähnchenmistanteil



Quelle: Eigene Berechnung nach Thiering (2009) auf Basis von Döhler et al. (2002), LWK Niedersachsen (2008), LWK Niedersachsen (2009a), KTBL (2009).

Im Ergebnis können in ganz Niedersachsen 2 % der AF für die Erzeugung von Biogas genutzt werden, bis das Geflügelmistaufkommen verbraucht ist. Wiederum ist die Situation regional sehr unterschiedlich. Während in den Kreisen der Veredelungsregionen, wie

Cloppenburg, das Geflügelmistaufkommen erst erschöpft ist, wenn 5 bis 6 % der AF für die Erzeugung von Biogas genutzt werden, reicht es in den südöstlichen Kreisen lediglich für einen Ackerflächenanteil unter 0,2 %. Daraus folgt, dass bereits jetzt das gesamte Geflügelmistaufkommen in Biogasanlagen verwertet werden könnte. Somit steigt der Wert von Geflügelmist durch den zu erzielenden Gasertrag und Güllebonus über den eigentlichen Nährstoffwert. Es ist jedoch unklar, ob der Geflügelmist künftig in den Biogasanlagen der Veredelungsregionen genutzt wird und somit den regionalen Nährstoffüberschuss (vgl. Kapitel 3.1.2) erhöht oder in Ackerbauregionen transportiert wird. Diese Frage hat unmittelbaren Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit sowie die Strukturwirkung der Biogaserzeugung und ist daher im weiteren Verlauf dieses Kapitels zu beantworten.

3.2.2 Wirtschaftlichkeit künftig relevanter Biogasanlagen

Die regionale Wettbewerbsfähigkeit der Biogaserzeugung und damit die regionale Strukturwirkung der Biogasförderung hängen von der Wettbewerbfähigkeit künftig relevanter Anlagengrößen und -konstellationen ab. Nachdem im vorherigen Kapitel festgestellt wurde, dass ein Gülleeinsatz über die 30 %-Grenze des Güllebonus in der Regel nicht wirtschaftlich ist, wird daher in diesem Kapitel analysiert, welche Biogasanlagengröße künftig aller Voraussicht nach relevant sein werden.

Auswahl der berücksichtigten Anlagentypen

Im vorherigen Kapitel wurde gezeigt, dass aufgrund der Transportkosten für Gülle bei Anlagengrößen über 100 kW selbst in Veredelungsregionen der Gülleeinsatz in der Regel auf etwa 30 % beschränkt sein wird. Für höhere Gülleanteile muss bei westdeutschen Strukturen die Anlagengröße deutlich reduziert werden. Daher wird eine 50 kW-Anlage als Gülleanlage für den Vergleich berücksichtigt. Bei reinen Gülleanlagen besteht aufgrund des geringen Trockensubstanz- (TS) und damit Energiegehaltes in der Gülle im Winter die Gefahr, dass die anfallende Wärmemenge nicht ausreicht, um den Prozess aufrecht zu erhalten (DRESCHER, 2009: 19). Zur Absicherung der Wärmebilanz wird daher ein Maisanteil von 5 % unterstellt.

Vor der EEG-Novelle 2009 wurden vor allem Biogasanlagen mit einer Leistung von 500 kW gebaut (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 100). Seit der Novellierung des EEG ist jedoch ein „Bauboom“ von Biogasanlagen in der Leistungsgröße von 150 bis 250 kW zu beobachten (CLEMENS, 2009: 6). Daher werden ebenfalls Anlagen mit 100, 150, 200, 350 und 500 kW-Leistung analysiert. Der Anspruch auf den Güllebonus erlischt dauerhaft, wenn der Mindestanteil Gülle nur kurzzeitig unterschritten wird. Daher wird für Gülle ein 5 % Sicherheitszuschlag berücksichtigt und ein Gülleanteil von 35 % unterstellt. Dieser Sicherheitszuschlag deckt sich mit Beratungsempfehlungen aus der Praxis (FREYTAG, 2009).

Weiterhin konkurrieren Anlagen zur direkten Verstromung mit Anlagen zur Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz. Die Dimensionierung der Einspeiseanlage leitet sich aus einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (URBAN et al., 2009) ab. In der Studie wird die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz untersucht. Der höchste Gewinn wird in Anlagen mit Druckwasserwäsche und einer Aufbereitungskapazität von 1.000 Nm³ Rohgas/h (entspricht 499 Nm³ aufbereitetes Biogas/h) erwirtschaftet. Diese Anlagengröße erzielt noch den Technologiebonus, der an die Kapazität der Aufbereitungsanlage gekoppelt ist und bis zu einer Kapazität von 350 Nm³ aufbereitetes Gas 2 ct/kWh und bis 700 Nm³ 1 ct/kWh beträgt. Als nächste Anlagengröße wird in der Studie von URBAN et al. (2009) eine Anlage mit einer Aufbereitungskapazität von 1.500 Nm³/h Rohgas (entspricht 749 Nm³ aufbereitetes Gas) betrachtet. Da die Anlage keinen Technologiebonus mehr erhält, ist der Gewinn deutlich geringer.

Eine Anlage mit einer Aufbereitungskapazität von 1.400 Nm³ Rohgas (entspricht 699 Nm³ aufbereitetes Biogas)[4] würde jedoch ebenfalls noch 1 ct/kWh Technologiebonus erhalten und könnte weitere Kostendegressionen nutzen, sodass der Gewinn höher ausfallen müsste (TOEWS, 2009: 243). Daher wird diese Anlagengröße für den Vergleich berücksichtigt.

Annahmen für die Kalkulationen

Bevor die Anlagen miteinander verglichen werden, ist es erforderlich, die Annahmen der Modellanlagen näher zu beschreiben. Die wichtigsten technischen Parameter der Biogasanlagen sind in Tabelle 3.3 zusammengefasst.

Tabelle 3.3: Technische Parameter der kalkulierten Biogasanlagen

Leistung	kW *(Nm³)*	50	100	150	200	350	500	*(1.400)*
Gülleanteil	%	95	35	35	35	35	35	-
el. Wirkungsgrad	%	30	36	36,3	36,5	37	38	38
th. Wirkungsgrad	%	51	45	44,7	44,5	44	42	42
Verweilzeit	Tage	25	90	90	90	90	90	125
Jährlicher Arbeitszeitbedarf	h/a	794	1.047	1.202	1.355	1.810	2.232	9.899
Verkaufte Wärme	MWh/a	23	450	450	450	450	450	22.370
Eigenstrombedarf	%	6	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8,5

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2009); Keymer (2009); Urban et al. (2008); Reinhold (2005).

Es werden folgende Annahmen getroffen:

[4] Annahmen: Methangehalt Rohgas: 53 %, Methanverlust bei der Aufbereitung: 1 %, Methangehalt aufbereitetes Gas: 96 %, Auslastung der Aufbereitungsanlage: 8.000 h.

- Der Wirkungsgrad des BHKWs steigt mit zunehmender Anlagengröße von 30 % bei der 50 kW-Anlage bis 38 % bei der 500 kW-Anlage. Der Gesamtwirkungsgrad der BHKWs beträgt 81 %.
- Das Fermentervolumen und die Verweilzeit der Anlagen werden auf eine Raumbelastung von 2,5 kg oTS/m³/Tag ausgelegt.
- Für die Kalkulation der Personalkosten wird angenommen, dass unabhängig von der Anlagengröße täglich zwei Stunden für die Verwaltung und Kontrolle der Anlage benötigt werden. Für das Einbringen der Silage wurde ein Zeitbedarf von 10 Minuten/t Maissilage unterstellt (REINHOLD, 2005: 14). Der Lohnansatz beträgt 15 €/h.
- Das Potenzial eines Standortes für die Wärmenutzung ist unabhängig von der Größe einer Biogasanlage und kleinräumig sehr unterschiedlich. Bisher verfügen viele landwirtschaftliche Biogasanlagen jedoch nur über ein unzureichendes Wärmekonzept. In den häufigsten Fällen werden lediglich eigene Wirtschaftsgebäude oder Privathäuser beheizt (FNR, 2009: 20). Daher wird eine von der Größe der Biogasanlage unabhängige Wärmeabnahme von jährlich 450.000 kWh unterstellt. Dies entspricht dem Wärmebedarf von etwa 20 Wohnhäusern. Der Wärmeerlös beträgt nur 2 ct/kWh, da die Wärmeabnehmer die Kosten für das Nahwärmenetz tragen. Bei der Gülleanlage wird im Winter der Großteil der anfallenden Wärme als Prozesswärme verbraucht. Daher kann hier mit der anfallenden Wärme nur ein Wohnhaus mit einem jährlichen Wärmebedarf von 22.500 kWh beheizt werden. Bei den Einspeiseanlagen wird das Gas hingegen in wärmegeführten BHKWs verstromt. Das bedeutet, dass die BHKWs an Orten mit hohem Wärmebedarf aufgestellt werden und sich die Laufzeit der BHKWs nach dem Wärmebedarf richtet. Auf diese Weise können 90 % der anfallenden Wärme genutzt werden. Die Wärme fällt unmittelbar am Bedarfsort an, sodass, anders als bei den Anlagen zur Direktverstromung, keine Investitionen mehr für den Transport der Wärme erforderlich sind. Daher wird ein höherer Wärmeerlös von 5 ct/kWh für die Einspeiseanlage angenommen.
- Die Anlagen zur direkten Verstromung erzielen eine jährliche Auslastung der BHKWs von 8.000 Volllaststunden. Das Gas der Einspeiseanlage wird hingegen in wärmegeführten BHKWs verstromt, weshalb diese nur 5.250 Volllaststunden erreichen.
- Bei der Einsspeisung des Stroms in das öffentliche Netz entstehen Transformationsverluste in Höhe von 1 %.
- Der Eigenstrombedarf der Anlage sinkt mit zunehmenden Gülleanteil. Der benötigte Strom wird zum Preis von 13 ct/kWh zugekauft.
- Die Wartung des BHKW erfolgt über einen Wartungsvertrag, der Kosten in Höhe von 1 ct/kWh verkauftem Strom verursacht.
- Als weitere Fixkosten werden Versicherungskosten in Höhe von 0,6 % des Investitionsvolumens, Laboranalysen in Höhe von 700 € und Buchführungskosten in Höhe von 4.000 € pro Jahr berücksichtigt.

– Im Unterschied zu den Anlagen mit direkter Verstromung fällt keine Abwärme am Fermenter an, sodass die Wärme extern bereitgestellt werden muss. Für die Bereitstellung der Wärme mithilfe einer Hackschnitzelheizung werden Kosten von 4,7 ct/kWh unterstellt (URBAN et al., 2009: 83).
– Der kalkulatorische Zinssatz beträgt 6 %.
– Es wird ein Silierverlust von 10 % angenommen.

Substrateigenschaften und Substratbedarf der Anlagen

Der Substratbedarf der Anlage hängt neben den bereits beschriebenen Parametern (Anlagengröße, jährliche Auslastung, elektrischer Wirkungsgrad) von der Methanausbeute der Substrate ab. Schweinegülle und Maissilage sind die mit Abstand am häufigsten eingesetzten Substrate in deutschen Biogasanlagen (vgl. Kapitel 3.2.1). Daher wird für die Kalkulation der Anlagen ebenfalls eine Substratmischung aus diesen Rohstoffen angenommen. Die Methanerträge für Maissilage und Schweinegülle entsprechen mit 106 bzw. 12 Nm³/t FM den üblichen Literaturangaben (vgl. Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Gasausbeute von Silomais und Mastschweinegülle

	TS-Gehalt %	oTS-Gehalt %	Biogasertrag l/kg oTM	CH4-Anteil %	CH4-Ertrag m³CH4/t FM
Silomais	33	95	650	52	106
Mastschweinegülle	6	80	420	60	12

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2009).

In Tabelle 3.5 ist der Substrat- und Flächenbedarf der einzelnen Anlagen dargestellt. Für die Versorgung der 50 kW-Anlage mit Gülle werden nur etwa 10 ha Silomais benötigt. Allerdings sind zur Versorgung der Anlage mit Gülle über 5.000 Schweinmastplätze erforderlich. Damit muss die Anlage als Nebenanlage einer nach BImSchV genehmigungsbedürftigen Tierhaltung ebenfalls nach BImSchV genehmigt und das Gärrestlager gasdicht abgedeckt werden.

Mit zunehmender Anlagengröße steigt der Rohstoffbedarf. Die 100 kW-Anlage benötigt 1.000 m³ Gülle und 2.200 t Silomais. Hierfür sind 700 Schweinemastplätze bzw. 50 ha Mais erforderlich. Ab einer Anlagengröße von 500 kW ist bei westdeutschen Betriebsstrukturen der Rohstoffbedarf kaum noch durch die Flächenausstattung eines einzelnen Betriebes zu decken. Für die Rohstoffversorgung einer derartigen Anlage werden 230 ha Mais und über 3.000 Mastplätze benötigt.

Da der Güllebonus nicht für Einspeiseanlagen gewährt wird, setzt die Einspeiseanlage auch keine Gülle ein. Der Flächenbedarf der Anlage liegt bei 1.330 ha.

Tabelle 3.5: Substratbedarf der analysierten Biogasanlagen

Leistung	kW *(Nm³)*	50	100	150	200	350	500	*(1.400)*
Gülleanteil	%	90	35	35	35	35	35	0
Silomaisbedarf	t FM/a	438	2.180	3.243	4.300	7.423	10.326	61.005
Flächenbedarf	ha/a	10	48	72	96	165	229	1.326
Güllebedarf	m³/a	7.567	1.067	1.587	2.105	3.634	5.054	0
Erforderliche Mastplätze	MP	5.045	711	1.058	1.403	2.423	3.370	0

Quelle: Eigene Berechung nach KTBL (2009).

Kosten für Silomais

Die Rohstoffkosten haben einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen und können bis zu 40 % der Gesamtkosten verursachen. Daher werden im Folgenden die Annahmen zu den Substratkosten näher beschrieben.

Ein Landwirt wird nur bereit sein, Silomais für die Biogasproduktion anzubauen, wenn er damit mindestens den gleichen Gewinnbeitrag erzielt wie mit einer alternativen Kultur. Somit beeinflusst der Preis der Alternativkultur über die Nutzungskosten der Fläche den Maispreis. Im Rahmen dieses Berichtes wird Weizen als Alternativkultur unterstellt.

Der Weizenpreis lag im März 2010 bei 127 €/t an der Euronext (LWK NORDRHEIN-WESTFALEN, 2010). Allerdings gehen mittelfristige Prognosen von deutlich höheren Getreidepreisen aus. Das Food and Agricultural Research Insitute (FAPRI) schätz den europäischen Weizenpreis für das Jahr 2018 auf 169 €/t (FAPRI, 2008). Daher wird im Rahmen dieses Berichtes der Weizenpreis als Mittelwert der Jahre 2009 bis 2018 nach FAPRI (2008) ermittelt und beträgt 172 €/t.

In Tabelle 3.6 ist dargestellt, wie sich der Maispreis aus dem Weizenpreis ableitet. Bei einem Weizenpreis von 172 €/t und einem Ertrag von 8 t/ha erzielt der Weizenanbau einen Gewinn von 416 €/ha. Der entgangene Gewinnbeitrag aus dem Weizenanbau sind die Nutzungskosten der Fläche für den Maisanbau. In Lieferverträgen für Biogassubstrate ist in der Regel vereinbart, dass der anfallende Gärrest wieder auf der Fläche ausgebracht wird. Dies reduziert die Düngekosten für den Maisanbau erheblich. Zur Sicherung einer raschen Jugendentwicklung werden lediglich 100 kg 20/20-Dünger als mineralische Unterfußdüngung gegeben. Um den gleichen Gewinn wie im Weizenanbau zu erreichen, muss bei einem Weizenpreis von 172 €/t mit Silomais ein Erlös von 1.100 €/ha erzielt werden. Dies entspricht bei 45 t Maisertrag einem Preis von 25 €/t frei Halm.

Tabelle 3.6: Gleichgewichtspreis zwischen Weizen und Silomais

	Weizen	Mais (frei Halm)
Ertrag	8	45
Preis	170	22,8
Leistung	1.360	1.116
Saatgut	87	177
Pflanzenschutz	169	150
Dünger[1)]	186	97
Arb. Erl. Kosten	373	277
Erntekosten	130	0
Summe Kosten	944	701
Gewinnbeitrag	416 →	416

1) Als Nährstoffpreise wurden die Mittelwerte der Weltmarktpreise für den Zeitraum 2007 bis 2009 in Höhe von 0,56 €/kg N; 0,83 €/kg P_2O_5 und 0,55 €/kg K_2O nach World Bank 2010 ermittelt.

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010a); LWK Niedersachsen (2008a).

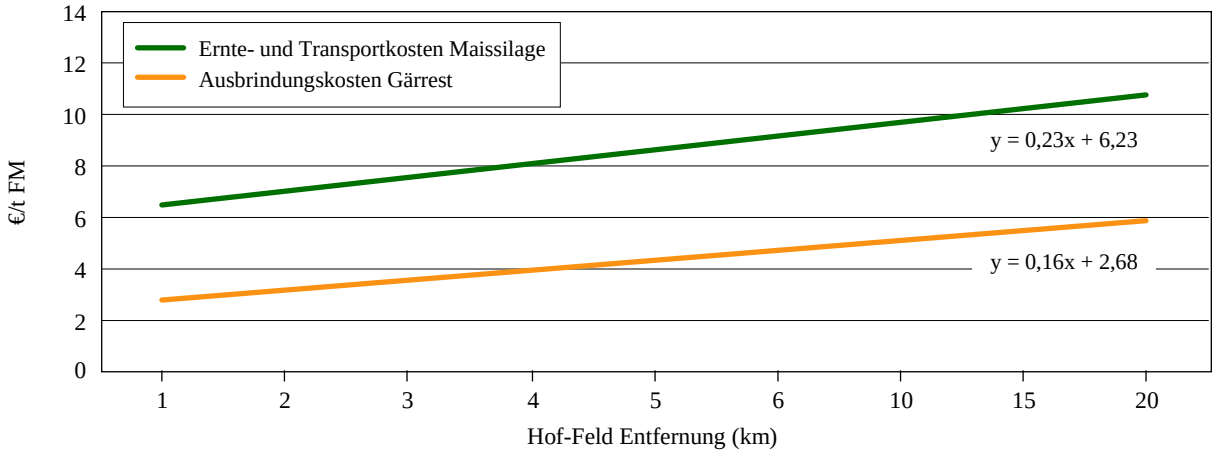
Logistikkosten der Biogasanlagen

Weiterhin sind die Ernte- und Transportkosten für Silomais sowie Ausbringungskosten für den Gärrest zu berücksichtigen. Dabei stellt sich die Frage, ob die Rentabilität größerer Biogasanlagen aufgrund weiterer Transportentfernungen und damit –kosten verringert wird. In Abbildung 3.7 sind die Logistikkosten für steigende Transportentfernungen dargestellt. Für die Ernte des Silomais entstehen Kosten in Höhe von 6,2 €/t. Die spezifischen Transportkosten liegen bei 23 ct/t/km. Das Befüllen und Entleeren des Güllefasses verursacht Kosten von 2,7 €/m³. Die spezifischen Transportkosten betragen 16 ct/m³/km.

Mit zunehmender Anlagengröße steigen der Flächenbedarf und damit die Transportentfernungen sowie Transportkosten. Die Berechnung der Logistikkosten der einzelnen Anlagen in Abhängigkeit von der Größe ist in Tabelle A2 im Anhang dargestellt. Dabei wird nach TOEWS (2009) angenommen, dass die Anlagen 10 % der umliegenden Gesamtfläche für den Maisanbau nutzen können und der Straßenverlauf die durchschnittliche Transportentfernung gegenüber der Luftlinie um den Faktor 1,5 erhöht. Die Ernte- und Transportkosten für Silomais steigen von 6,4 €/t bei der 50 kW-Anlage auf 7,8 €/t bei der Einspeiseanlage an. Auch für die Gärrestausbringung steigen die Kosten von 2,8 €/m³ bei der 50 kW-Anlage lediglich auf 3,8 €/m³ bei der Einspeiseanlage. Somit ist nur von einem geringen Einfluss der Transportkosten auf die Rentabilität unterschiedlicher Anlagengrößen auszugehen.

Für die Gülle wird angenommen, dass sie in unmittelbarer Nähe der Biogasanlage anfällt und somit keine Transportkosten verursacht. Die Ausbringungskosten für den Gärrest aus der Schweinegülle werden verursachergemäß der Schweinehaltung angelastet.

Abbildung 3.7: Logistikkosten für Biogasanlagen



Anmerkung:
Die Maisernte erfolgt mit einem 8-reihigen 400 kW Feldhäcksler sowie 50m³ Häckselwagen mit 160 kW Schleppern und einem 105 kW Radlader. Die Ausbringung des Gärrestes erfolgt mit einem 24 m³ Güllefass mit Schleppschläuchen und einem 200 kW Schlepper. Es ist ein Ertragsniveau von 45 t Maissilage und eine Gärrestausbringungsmenge von 25m³/ha unterstellt.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010a).

Rentabilität der Biogasanlagen

Das betriebswirtschaftliche Ergebnis der einzelnen Anlagen ist in Tabelle 3.7 zusammengefasst. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

Anschließend wird das Investitionsvolumen der einzelnen Anlagenkomponenten auf Basis unterschiedlicher Literaturangaben ermittelt. Dabei wurde unterstellt, dass das vorhandene Güllelager weitergenutzt werden kann, jedoch gasdicht abgedeckt werden muss.

– Die spezifischen Investitionen[5] der Anlagen zur Direktverstromung sinken mit zunehmender Anlagengröße. Ursache für das hohe spezifische Investitionsvolumen (8.500 €/kW) der 50 kW-Anlage sind neben den Kosten für die gasdichte Abdeckung der Güllelager mangelnde Kostendegressionen. Im Vergleich zur Gülleanlage können bereits bei der 100 kW-Anlage erhebliche Skaleneffekte realisiert werden. Das spezifische Investitionsvolumen sinkt um 1.800 € auf 6.700 €/kW. Bis zur Anlagengröße von 500 kW sinken die spezifischen Investitionen weiter auf 3.900 €/kW. Damit liegen die spezifischen Investitionen jedoch höher als in bisherigen Veröffentlichungen (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 100; KTBL, 2008; FNR, 2006). Die Ergebnisse decken sich jedoch mit Erfahrungen aus der Beratungspraxis, nach der es seit der Novellierung des EEG zu einem Preisanstieg für Biogasanlagen kam (RUMP, 2010; FREYTAG, 2009).

[5] Eine Aufschlüsselung der Investitionen nach einzelnen Anlagenkomponenten sowie den zugehörigen Quellen, Abschreibungssätzen sowie Wartungskosten ist Tabelle A1 im Anhang zu entnehmen.

- Aufgrund des Investitionsbedarfs für die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz liegen die spezifischen Investitionen der Einspeiseanlage bei 9.100 €/Nm³. Aufgrund der veränderten Bezugsbasis ist dieser Wert nicht mit den spezifischen Investitionen bei den Anlagen zur Direktverstromung zu vergleichen.
- Die Vergütung des EEGs verläuft degressiv. Dabei erhalten größere Anlagen jedoch für die unteren Leistungsabschnitte dieselben Tarife wie Kleinanlagen. Somit ergibt sich für die 200, 350 und 500 kW-Anlagen ein Durchschnittspreis für den Strom, der sich aus der ersten und zweiten Vergütungsstufe des EEG zusammensetzt (vgl. Kapitel 2.1.1). Im Ergebnis verringert sich der Strompreis von 24 ct/kWh bei der 100 und 150 kW-Anlage über 22 und 20 ct/kWh bei der 200 bzw. 350 kW-Anlage auf 19 ct/kWh bei der 500 kW-Anlage. Die Stromvergütung der 50 kW-Gülleanlage ist geringer als bei der 100 kW-Anlage, da kaum Wärme genutzt und somit der KWK-Bonus geringer ist.
- Da das Gas der Einspeiseanlage in wärmegeführten 500 kW-BHKWs verstromt wird, erreicht die Anlage die gleiche Grundvergütung und den gleichen NawaRo-Bonus wie die 500 kW-Anlage mit Direktverstromung. Aufgrund der hohen Wärmenutzung kann jedoch fast der gesamte KWK-Bonus in Höhe von 3 ct/kWh erreicht werden. Zusätzlich erhöht der Technologiebonus die Stromvergütung um 1 ct/kWh. Lediglich der Güllebonus in Höhe von 2 ct/kWh entfällt. Insgesamt beträgt die Einspeisevergütung damit 21 ct/kWh.
- Insgesamt steigen die Stromerlöse hingegen mit zunehmender Anlagengröße von 90.000 € bei der 100 kW-Anlage bis 764.000 € bei der 500 kW-Anlage bzw. 4,7 Mio. € bei der Einspeiseanlage.
- Die Wärmeerlöse der Anlagen zur Direktverstromung liegen bei maximal 9.000 € und haben somit nur eine geringe Bedeutung für den Gesamterlös. Im Gegensatz dazu haben die Wärmeerlöse der Einspeiseanlage mit 1,1 Mio. € eine hohe Relevanz für den Gewinn.

Tabelle 3.7: Wirtschaftlichkeit der kalkulierten Biogasanlagen

Leistung	kW/*(Nm³)*	50	100	150	200	350	500	*(1.400)*
Gülleanteil	%	90	35	35	35	35	35	-
Investment	€/kW *(Nm³)*	8.500	6.700	5.500	5.000	4.400	3.900	*(9.100)*
Verkaufte Strommenge	MWh/a	396	792	1.188	1.584	2.772	3.960	22.042
Verkaufe Wärmemenge	MWh/a	23	450	450	450	450	450	22.147
Strompreis	€/kWh	0,23	0,24	0,24	0,22	0,20	0,19	0,21
Stromerlös	€/a	90.000	190.000	280.000	355.000	559.000	764.000	4.663.000
Wärmeerlös	€/a	-	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	1.107.000
Gesamterlös	**€/a**	**91.000**	**199.000**	**289.000**	**364.000**	**568.000**	**773.000**	**5.770.000**
Kosten Maissilage	€/a	11.000	54.000	80.000	107.000	184.000	256.000	1.513.000
Ernte- und Transport-kosten Maissilage	€/a	3.000	14.000	21.000	29.000	50.000	71.000	476.000
Sonstige Direktkosten	€/a	1.000	6.000	14.000	18.000	32.000	30.000	200.000
Abschreibung	€/a	32.000	47.000	57.000	68.000	104.000	130.000	679.000
Zinskosten Anlagevermögen	€/a	13.000	20.000	25.000	30.000	46.000	59.000	292.000
Sonstige Anlagenkosten	€/a	9.000	17.000	24.000	30.000	50.000	69.000	340.000
Lohnkosten	€/a	12.000	21.000	24.000	20.000	36.000	45.000	192.000
Sonstige Betriebskosten	€/a	8.000	13.000	18.000	22.000	35.000	48.000	447.000
Summe Kosten BGA und BHKW	**€/a**	**89.000**	**193.000**	**263.000**	**325.000**	**538.000**	**707.000**	**4.138.000**
Kosten Aufbereitung und Einspeisung								
Abschreibung	€/a	-	-	-	-	-	-	301.000
Zinskosten Anlagevermögen	€/a	-	-	-	-	-	-	90.000
Sonstige Anlagenkosten	€/a	-	-	-	-	-	-	40.000
Netznutzungsentgelte	€/a	-	-	-	-	-	-	-105.000
Sonstige Betriebskosten	€/a	-	-	-	-	-	-	432.000
Summe Kosten Aufbereitung/Einspeisung	**€/a**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**757.000**
Summe Kosten	**€/a**	**89.000**	**193.000**	**263.000**	**325.000**	**538.000**	**707.000**	**4.895.000**
Gewinn	**€/a**	**2.000**	**7.000**	**26.000**	**39.000**	**30.000**	**66.000**	**875.000**
Rendite	%	7	8	12	14	10	13	20

Quelle: Eigene Berechnungen nach Urban et al. (2008); KTBL (2009).

– Die Vollkosten steigen von 88.000 € bei der 50 kW-Anlage auf 4,8 Mio. € bei der Einspeiseanlage an. Dabei haben die Anlagen unterschiedliche Kostenstrukturen. Aufgrund des hohen Maisbedarfs bei größeren Anlagen steigt der Anteil der Rohstoffkosten, während die Bedeutung der Kapitalkosten sinkt. Bei der 50 kW-Anlage beträgt der Anteil der Kapitalkosten an den Gesamtkosten 50 %, bei der 500 kW sowie Einspeiseanlage nur noch 28 %. Der Anteil der Rohstoffkosten steigt hingegen mit zunehmender Anlagengröße von 15 % bei der 50 kW-Anlage auf 48 % bei der 500 kW-Anlage.

– Die negativen Kosten für Netznutzungsentgelte bei der Einspeiseanlage entstehen aufgrund der Durchleitung des Biomethans durch das Ergasnetz. Hierfür muss der

Einspeiser Netznutzungsentgelte zahlen. Diese können je nach Marktgebiet sehr unterschiedlich sein. Nach Erfahrungswerten für ein Marktgebiet in Süddeutschland wurden Netznutzungsentgelte von 0,6 ct/kWh unterstellt (URBAN et al., 2008: 90). Da der Netzbetreiber bei der Einspeisung von Biomethan weniger Kapazitäten vorgelagerter Netze benötigt, entsteht ein Kostenvorteil. Die GasNZV sieht vor, dass der Netzbetreiber den Kostenvorteil pauschal mit 0,78 ct/kWh an den Einspeiser weitergeben muss. Diese Erlöse werden mit den zu zahlenden Netznutzungsentgelten verrechnet, sodass sich für den Einspeiser negative Netznutzungsentgelte in Höhe von 0,18 ct/kWh bzw. 105.000 € pro Jahr ergeben.

– Die Einspeiseanlage ist mit einem Unternehmergewinn von 870.000 € und einer Rendite von 20 % den übrigen Anlagen deutlich überlegen.
– Der Unternehmergewinn der 50 und 100 kW-Anlage beträgt weniger als 10.000 €. Da auch die Kapitalrentabilität mit weniger als 10 % deutlich geringer ist als bei den übrigen Anlagen und es sich um alternative Investitionen handelt, ist in der Regel nicht davon auszugehen, dass in derartig kleine Anlagen investiert wird.

Die Wirtschaftlichkeit verschiedener Biogasanlagentypen im Vergleich

Für eine bessere Vergleichbarkeit werden die spezifischen Kosten und Erlöse sowie die Kapitalrentabilität der einzelnen Anlagen in Abbildung 3.8 vergleichend gegenübergestellt.

Aufgrund der hohen Kapitalkosten ist die Stromproduktion mit 22 ct/kWh in der Gülleanlage trotz geringer Rohstoffkosten nicht günstiger als bei den NawaRo-Anlagen. Bei den maisbasierten Anlagen der Direktverstromung sinken die Gestehungskosten aufgrund von Skaleneffekten und eines steigenden elektrischen Wirkungsgrades mit zunehmender Anlagengröße von 24,3 ct/kWh in der 100 kW-Anlage auf 17,9 ct/kWh bei der 500 kW-Anlage ab. Dies entspricht einer Kostensenkung von 26 %. Aufgrund der Aufbereitungstechnologie erhöhen sich die Kosten in der Einspeiseanlage auf 21,2 ct/kWh.

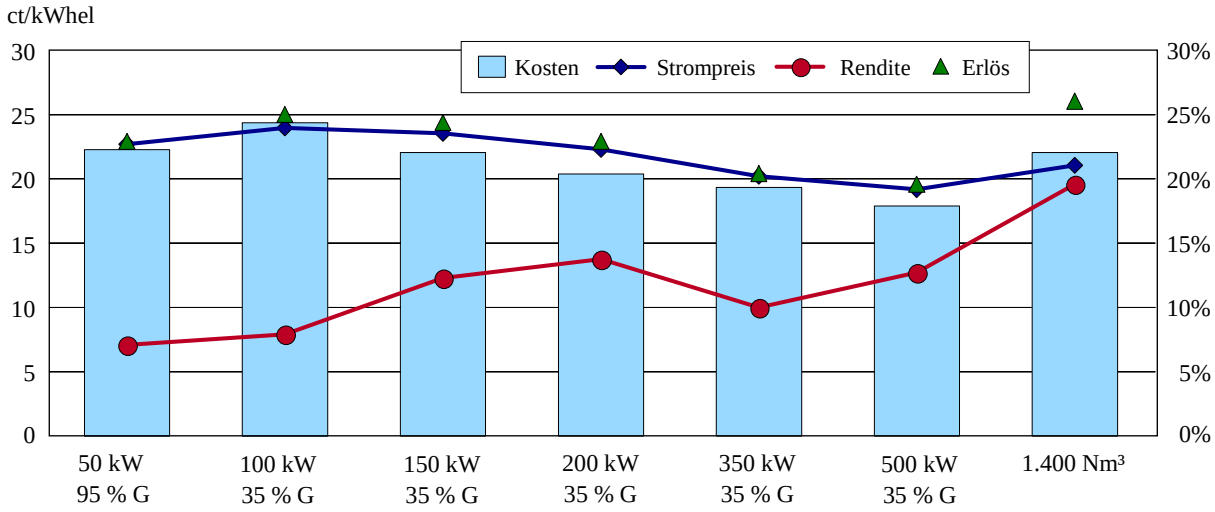
Die Vergütungsstruktur verläuft annähernd parallel zu den Stromgestehungskosten. Die Vergütung sinkt von 25,2 ct/kWh in der 100 kW-Anlage um 22 % auf 19,5 ct/kWh bei der 500 kW-Anlage. Somit wirkt die degressive Vergütungsstruktur des EEG tendenziell einer kosteneffizienten Stromproduktion in größeren Anlagen entgegen.

Die Anlagen mit direkter Verstromung können bereits ohne Wärmeerlöse Gewinne erwirtschaften. Der Gesamterlös der Anlagen liegt jedoch nur unwesentlich über den Stromerlösen, was die geringe Bedeutung der Wärmenutzung für die Modellanlagen verdeutlicht. Für die Anlagen im Leistungsbereich von 100 bis 500 kW wurde der gleiche Wärmeabsatz unterstellt, sodass sich die Wärmeerlöse am stärksten bei der 100 kW-Anlage auswirken. Im Gegensatz zu den Anlagen mit Direktverstromung wird der Gewinn in der

Einspeiseanlage jedoch erst durch die Wärmeerlöse ermöglicht, da die Stromerlöse nicht die Gestehungskosten decken.

Die Einspeiseanlage erwirtschaftet mit 4 ct/kWh den höchsten Gewinn. Von den Anlagen mit Direktverstromung erzielt die 200 kW-Anlage trotz Kosten- und Effizienznachteilen gegenüber der 350 und 500 kW-Anlage mit 2,5 ct/kWh den höchsten Gewinn. Ursache ist die degressive Vergütungsstruktur, die sich auch auf die Kapitalrentabilität der Anlagen auswirkt. Trotz höherer Produktionskosten und spezifischer Investitionen ist die Kapitalrentabilität der 200 kW-Anlage mit 14 % etwas höher als bei der 500 kW-Anlage. Lediglich die Einspeiseanlage erzielt mit 20 % eine noch höhere Rendite. Auffällig ist, dass die 350 kW-Anlage mit einem Gewinn von 1,1 ct/kWh und einer Kapitalrentabilität von 10 % wesentlich schlechter abschneidet als die 150 und 200 kW-Anlage. Hier reichen die Größendegressionen nicht aus, um die Erlösnachteile aufgrund der Vergütungsstruktur des EEG auszugleichen.

Abbildung 3.8: Ökonomischer Vergleich der analysierten Biogasanlagen



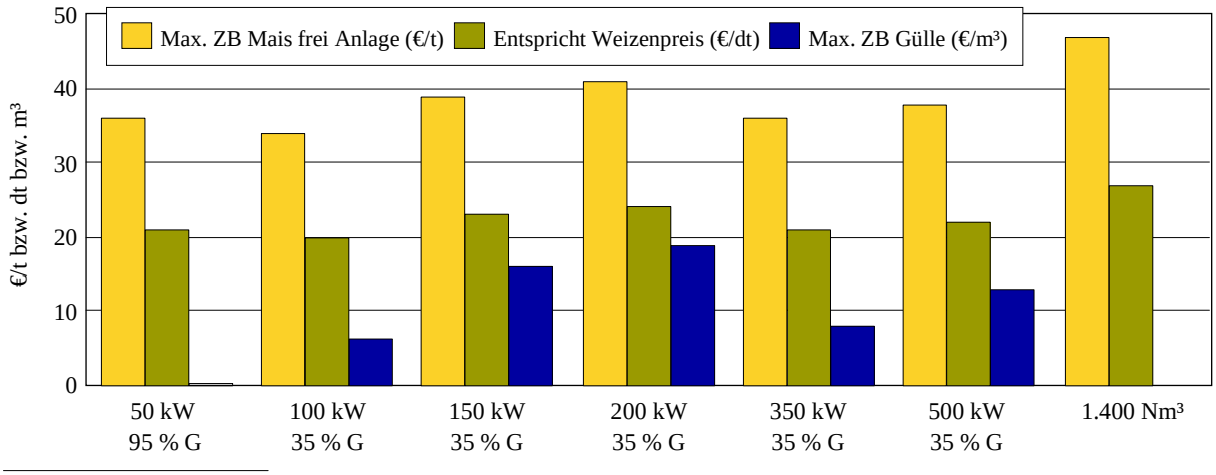
Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Wettbewerbsfähigkeit der Anlagen untereinander ist anhand der maximalen Zahlungsbereitschaft für die Rohstoffe in Abbildung 3.9 dargestellt. Es zeigt sich ein ähnliches Ergebnis wie für den Gewinn und die Rendite. Die Einspeiseanlage ist den übrigen Anlagen deutlich überlegen und kann bis zu 47 €/t Silomais frei Anlage zahlen. Damit ist die Anlage bis zu Weizenpreisen von 270 €/t wettbewerbsfähig. Von den Anlagen mit Direktverstromung ist die 200 kW-Anlage am wettbewerbsfähigsten und erzielt erst ab einem Maispreis von 41 €/t keinen Gewinn mehr. Die Wettbewerbsfähigkeit der 150 und 500 kW-Anlagen ist mit einer maximalen Zahlungsbereitschaft für Silomais von 39 bzw. 38 €/t jedoch nur unwesentlich geringer. Bei den übrigen Anlagen ist die Zahlungsbereit-

schaft jedoch um mehr als 5 €/t geringer, sodass sie im Falle steigender Agrarpreise oder einer regional erhöhten Maisnachfrage weniger wettbewerbsfähig sind.

Wie in Kapitel 3.2.1 gezeigt, wird die Zahlungsbereitschaft für Gülle aufgrund ihres geringen Energiegehaltes vor allem durch den Güllebonus bestimmt. Die geringe Zahlungsbereitschaft für Gülle in der 50 KW-Gülleanlage von 0,3 €/m³ verdeutlicht, dass derartige Anlagen kaum mit überbetrieblichem Gülletransport zu realisieren sind. Die 200 kW-Anlage kann frei Anlage bis zu 19 €/m³ Gülle zahlen. Die 150 und 500 kW-Anlagen sind mit 16 bzw. 13 €/m³ bereits weniger wettbewerbsfähig. Die hohen Zahlungsbereitschaften für Gülle ermöglichen prinzipiell weite Gülletransporte aus den Veredelungsregionen in die Ackerbauregionen. Die Frage, welche Auswirkungen diese Zahlungsbereitschaft auf die intra- und interregionalen Nährstoffströme hat, ist Gegenstand der folgenden Kapitel.

Abbildung 3.9: Wettbewerbsfähigkeit der analysierten Biogasanlagen



Quelle: Eigene Berechnungen.

Sensitivitätsanalysen

Aufgrund von Unsicherheiten hinsichtlich verschiedener Annahmen wird mithilfe von Sensitivitätsanalysen nachstehend analysiert, wie die Anlagen auf Veränderungen wichtiger Parameter reagieren.

Die Preise auf den Agrarmärkten unterlagen in den letzten drei Jahren erheblichen Schwankungen. Im Jahr 2007 lag der Weizenpreis bei 230 €/t (FAPRI, 2008). Im März 2010 betrug der Weizenpreis an der Euronext 127 €/t und ist damit um über 40 % gesunken (LWK NORDRHEIN-WESTFALEN, 2010). Im Rahmen dieser Studie wurde entsprechend dem Mittelwert des FAPRI-Outlooks ein Weizenpreis von 172 €/t angenommen, der mehr als 30 % über den aktuellen Marktpreisen liegt. Daher wird analysiert, wie sich ein 30 %iger Rückgang der Rohstoffkosten auf den Gewinn bzw. die Rentabilität der Anlagen auswirkt.

Das in dieser Studie angesetzte Investitionsvolumen liegt über den Werten vorheriger Veröffentlichungen. Ursache ist, dass die Biogasanlagen nach der EEG-Novelle deutlich teurer geworden sind (TOEWS, 2009: 235; FREYTAG, 2009; RUMP, 2010). Allerdings können in der Vergangenheit gebaute Anlagen ebenfalls auf die neuen Vergütungssätze umstellen und verfügen damit über eine entsprechend höhere Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit. Weiterhin könnten Anlagenhersteller bei einer rückläufigen Auftragslage auch die Anlagenpreise erneut senken und somit die Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit der Anlagen erhöhen. Daher wird in einer Sensitivitätsanalyse untersucht, wie sich eine Verringerung des Investitionsvolumens um 20 % auf den Gewinn und die Rendite der Anlagen auswirkt.

Für die Kalkulationen wurden elektrische Wirkungsgrade von 30 bis 38 % unterstellt. Die BHKW-Hersteller nennen jedoch bereits elektrische Wirkungsgrade für Gas-Otto-BHKWs von über 40 % (JENBACHER, 2010). Diese Werte werden zum Teil auch aus der Praxis bestätigt (FREYTAG, 2009). Daher wird analysiert, wie sich der Gewinn und die Rendite der Anlagen entwickeln, wenn der elektrische Wirkungsgrad um 5 % erhöht wird.

Aus Tabelle 3.8 lassen sich folgende Ergebnisse zu den Sensitivitätsanalysen ableiten:

– Aufgrund des geringen Maisanteils reagiert die Gülleanlage kaum auf Veränderungen des Agrarpreisniveaus. Bei den maisbasierten Anlagen kommt es hingegen zu deutlichen Veränderungen, die jedoch für fast alle Anlagen gleich hoch sind. Die Gewinne fast aller Anlagen erhöhen sich um 2,1 ct/kWh. Lediglich die Gülleanlage erzielt mit 0,8 ct/kWh eine deutlich geringere Gewinnsteigerung. Der Vergleich des Gewinnanstiegs mit der Ausgangssituation zeigt, dass der Gewinn der Anlagen bei Verringerung der Rohstoffkosten überproportional ansteigt. Anlagen mit direkter Verstromung können bei einer 30 %igen Verringerung der Rohstoffkosten ihren Gewinn um 80 bis 100 % steigern. Der relative Gewinnanstieg ist bei der Einspeiseanlage mit 53 % etwas geringer. Im Ergebnis bedeutet dies, dass die derzeitigen Gewinne von Biogasanlagen um den Faktor 1,8 bis 2 über den in dieser Studie ausgewiesenen Werten liegen.
– Aufgrund der höheren Gewinne steigt auch die Kapitalrentabilität der Anlagen bei einer Verringerung der Rohstoffkosten. Die maisbasierten Anlagen können eine 5 bis 8 Prozentpunkte höhere Rendite erzielen. Dabei fällt der Renditezuwachs bei größeren Anlagen höher aus. Ursache ist der zunehmende Anteil der Rohstoffkosten an den Gesamtkosten mit steigender Anlagengröße.
– Eine Verringerung der Investitionskosten um 20 % wirkt sich stärker auf die Kleinanlagen aus. Während der Gewinn der 100 kW-Anlage um 1,7 ct/kWh steigt, erzielt die 500 kW-Anlage nur einen Gewinnanstieg von 1,0 ct/kWh. Die Rendite der Anlagen steigt bei den Anlagen mit Direktverstromung um 6 bis 7 Prozentpunkte und bei der Einspeiseanlage um 9 Prozentpunkte. Dies zeigt, dass in der Vergangenheit gebaute

Anlagen, die ihre Vergütung auf das EEG 2009 umstellen, noch deutlich wettbewerbsfähiger sind als die zu den derzeitigen Anlagenpreisen gebauten Anlagen.

– Sollte durch technischen Fortschritt eine Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrades erreicht werden, steigt der Gewinn bei den Anlagen mit Direktverstromung zwischen 0,4 bis 0,7 ct/kWh, bei der Einspeiseanlage sogar um 0,9 ct/kWh. Das entspricht einer Gewinnsteigerung von 20 bis 40 %. Damit ist trotz der im EEG vorgesehenen jährlichen Verringerung der Grundvergütung und der Boni um 1 % bei konstanten Investitionen tendenziell mit einer weiteren Steigerung der Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen auszugehen.

Tabelle 3.8: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen

	Basis		Agrarpreisniveau -30 %		Investitionen -20 %		El. Wirkungsgrad +5 %	
	Gewinn	Rendite	Delta Gewinn	Delta Rendite	Delta Gewinn	Delta Rendite	Delta Gewinn	Delta Rendite
50 kW 95 % G	0,5	7%	0,8	2%	2,3	5%	0,4	1%
100 kW 35 % G	0,8	8%	2,1	5%	1,7	5%	0,7	2%
150 kW 35 % G	2,2	12%	2,1	6%	1,4	7%	0,7	2%
200 kW 35 % G	2,5	14%	2,1	7%	1,2	7%	0,7	2%
350 kW 35 % G	1,1	10%	2,1	7%	1,1	6%	0,7	3%
500 kW 35 % G	1,7	13%	2,0	8%	1,0	7%	0,6	3%
1.400 Nm³	4,0	20%	2,1	7%	1,2	9%	0,9	3%

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Analyse der Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit der Anlagen hat gezeigt, dass mit der Biogasproduktion sehr hohe Gewinne und Renditen erzielt werden. Die Einspeisung von Biogas ist der direkten Verstromung dabei deutlich überlegen. Unter den Anlagen mit direkter Verstromung verfügt die 200 kW-Anlage über geringe Wettbewerbsvorteile gegenüber den anderen Anlagen.

Für die Einspeisung wird jedoch kein Güllebonus gewährt, sodass mögliche Strukturwirkungen landwirtschaftlicher Biogasanlagen aufgrund des Güllebonus nicht erfasst werden könnten. Weiterhin sprechen folgende Gründe gegen die Auswahl der Einspeiseanlage für die regionale Strukturwirkung:

– Der Managementaufwand für eine Einspeiseanlage ist ungleich höher als bei einer Anlage mit direkter Verstromung. Für eine Verstromung in 500er BHKWs müssen in der Regel Wärmeverträge mit unterschiedlichen Abnehmern geschlossen werden. Hierfür sind Kenntnisse über und Zugang zum Wärmemarkt erforderlich. Somit ist es unwahrscheinlich, dass landwirtschaftliche Betriebe derartige Anlagen realisieren können.

– Aufgrund nicht vorhersehbarer Rohstoffpreise und des immensen Flächenbedarfs für eine Einspeiseanlage ist die Rohstoffversorgung mit Risiken behaftet. Dabei ist fraglich, ob Energieversorger ein Interesse haben, dieses Risiko einzugehen und künftig in Einspeiseprojekte investieren werden.
– Die derzeitige Marktbeobachtung zeigt, dass zwar vereinzelt Biogaseinspeiseprojekte realisiert werden, die Anlagen trotz der hohen Wettbewerbsfähigkeit jedoch nicht den Anlagenbestand dominieren. Ursache hierfür könnte der derzeit geringe Erdgaspreis sein. Als Folge der geringen Erdgaspreise können mit Biomethan betriebene BHKWs nicht mit erdgasbetriebenen BHKWs konkurrieren, die nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWK-G) vergütet werden (GOTTWALD und GIORGIS, 2010: 67)
– Im Vergleich zur Einspeiseanlage ist anzunehmen, dass sich Anlagen zur Direktverstromung deutlich schneller realisieren lassen.

Ungeachtet der derzeitigen Marktbeobachtung ist zu berücksichtigen, dass die Bundesregierung sehr ambitionierte Ziele bei der Gaseinspeisung verfolgt. Bis zum Jahr 2020 sollen 6 % und bis 2030 10 % des derzeitigen Erdgasverbrauchs durch Biomethan gedeckt werden. Weiterhin hat die deutsche Gaswirtschaft in einer Selbstverpflichtung erklärt, bis 2010 10 % des in Kraftfahrzeugen verwendeten Erdgases durch Biomethan zu ersetzen. Dieser Anteil soll bis 2020 auf 20 % steigen. Obwohl Experten davon ausgehen, dass die genannten Ziele nicht erreicht werden, bleibt abzuwarten, ob die Politik versucht, durch verbesserte rechtliche Rahmenbedingungen die Ziele zu erreichen. Ein erster Schritt in diese Richtung könnte die Novellierung der GasNZV im Juli 2010 sein.

Vor diesem Hintergrund wird die 200 kW-Anlage für die Analyse der regionalen Strukturwirkungen ausgewählt. Die Auswahl deckt sich mit der derzeitigen Marktentwicklung, da vor allem Anlagen in der Größenordnung von 190 kW-Leistung gebaut werden (CLEMENS, 2009: 6).

3.3 Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Milchviehregionen

Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, wurde als typische Milchviehregion der Landkreis Aurich ausgewählt. Die Faktorausstattung und Betriebsstruktur der vorhandenen Milchviehbetriebe beeinflusst die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion in Milchviehregionen. Daher wird in Kapitel 3.3.1 zunächst die Betriebsstruktur des typischen Milchviehbetriebes beschrieben.

Weiterhin stellt sich die Frage, ob die Biogasproduktion in Konkurrenz zur Milchviehhaltung steht oder sich Synergieeffekte zwischen den beiden Produktionsrichtungen ergeben. Diese Frage wird beantwortet, indem analysiert wird, ob ein typischer Milchviehbetrieb eine 200 kW-Anlage, die aufgrund der Analyse in Kapitel 3.2.2 als betriebswirtschaftlich

überlegen ausgewählt wurde, betreiben kann und welche Anpassungsstrategien ggf. notwendig sind.

Abschließend werden die Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit der Biogaserzeugung gegenüber der Milchviehhaltung kalkuliert und mögliche Strukturwirkungen abgeleitet.

3.3.1 Beschreibung eines typischen Milchviehbetriebes

Der typische Milchviehbetrieb wurde in Zusammenarbeit mit Beratern sowie Landwirten aus dem Landkreis Aurich erstellt[6] und repräsentiert einen typischen Wachstumsbetrieb.

Der Betrieb melkt 100 Kühe und zieht die Nachzucht selbst auf. Die Milchleistung liegt bei 8.500 kg FECM, wobei 3.350 kg Milch aus dem Grundfutter gewonnen werden. Die weiteren wesentlichen produktionstechnischen Kennzahlen der Milchviehhaltung sind in Tabelle 3.9 dargestellt.

Tabelle 3.9: Produktionstechnische Kennzahlen des typischen Milchviehbetriebes

Kuhbestand	100	St.
Milchleistung	8.500	kg FECM
Milchleistung aus dem Grundfutter	3.355	kg FECM
Erzeugte Färsen	43,8	St.
Erstkalbealter	27	Monate
Kraftfutter (EIII) /Kuh	25,2	dt
Futterfläche	0,95	ha/Kuh
Umtriebsrate	38	%

Quelle: Eigene Berechnung nach Eilers (2009); Spezialberatungsring für Rinderhaltung und Futterbau e.V. Aurich (2009); Beratungsring ostfriesische Küste e.V. (2010); Schimmelpfeng (2009).

Der Betrieb bewirtschaftet insgesamt 95 ha Fläche. Aufgrund des hohen Grünlandanteils in der Region verfügt er jedoch nur über 17 ha Ackerflächen, die restlichen 78 ha sind Dauergrünland.

Aufgrund der hohen Energiedichte des ersten Aufwuchses werden etwa 80 % der Grünlandflächen im ersten Schnitt als Grassilage genutzt. Für den zweiten und dritten Schnitt wird weniger Fläche gemäht und der Weideanteil entsprechend erhöht. Die gleichzeitige Schnitt- und Weidenutzung von Grünlandflächen erschwert es jedoch, die Kosten für

[6] Der typische Betrieb wurde im Rahmen von Expertengesprächen mit Theo Eilers, LWK Aurich; Uwe Herzog, Spezialberatungsring für Rinderhaltung und Futterbau e. V.; Dirk Schimmelpfeng, Milchviehhalter; Hans-Jürgen Krems, Beratungsring ostfriesische Küste e. V. konzipiert.

Grundfutter aus Grassilage und Weide zu ermitteln. Daher wird vereinfachend davon ausgegangen, dass der Betrieb die für die Stallfütterung erforderliche Menge Grassilage von einer Mähweide mit vier Schnitten gewinnt und die restliche Grünlandfläche als Weide nutzt. Bei der Silagenutzung wird dabei ein Bruttoertrag von 62 GJ NEL/ha und bei der Weidenutzung von 29 GJ NEL/ha erreicht.

Tabelle 3.10: Erträge des typischen Milchviehbetriebes

		Grassilage	Weide	Maissilage	Weizen
Fläche	ha	27	51	17	-
Energieertrag (brutto)[1)]	GJ NEL/ha	62,1	29,0	95,8	56,3
Energiegehalt	GJ NEL/kg TM	5,87	6,06	6,45	8,50
TS-Gehalt	%	35	20	33	86
FM Ertrag (brutto)[1)]	t/ha	30	24	45	8
Gülledüngung	m³/ha	40	23	40	23
Mineralische Düngung					
N	kg/ha	150	51	52	86
P_2O_5	kg/ha	-	-	30	36
K_2O	kg/ha	-	-	-	-

1) Es sind noch 10 % Silierverluste und 5 % Futterverluste zu berücksichtigen.
Quelle: Eigene Berechnung nach Beratungsring ostfriesische Küste e.V. (2009); Schimmelpfeng (2009); Eilers (2009).

Die Ackerflächen nutzt der Betrieb für den Silomaisanbau. Der Maisertrag liegt bei 45 t FM bzw. 96 GJ/ha. Alternativ zum Mais könnte der Betrieb auf den Ackerflächen auch Weizen anbauen. Dabei würde er einen Ertrag von 7,7 t/ha erzielen.

Die Flächenausstattung des Betriebes ist vor allem durch die Düngeverordnung vorgegeben, die vorschreibt, dass nicht mehr als 170 kg N aus tierischem Wirtschaftsdünger je Hektar LF ausgebracht werden dürfen. Mit der genannten Flächenausstattung kann der Betrieb gerade noch die anfallende Güllemenge auf den eigenen Flächen unterbringen. Die Düngebilanz des Betriebs ist in Tabelle A3 im Anhang dargestellt. Um einen Eindruck von der Relevanz dieser rechnerischen Überkapazität zu vermitteln, wird nachfolgend kurz der Energiebedarf – und daraus abgeleitet der Flächenbedarf – für die Rinderhaltung skizziert.

Der Energiebedarf der Milch- und Jungviehfütterung ist in Tabelle 3.11 dargestellt. Bei einer Grundfutterleistung von 3.355 kg FECM beträgt der Energiebedarf aus dem Grundfutter 25,9 GJ NEL/Tier. Für die Jungrinderaufzucht werden 31,8 GJ NEL[7] benötigt, wobei 27,9 GJ NEL aus dem Grundfutter stammen.

[7] Der Energiebedarf für die Jungviehaufzucht wird üblicherweise in MJ ME berechnet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch mit Netto Energie Laktation gerechnet.

Der Betrieb füttert die Kühe im Sommer im Stall zu und lässt sie an heißen Sommertagen tagsüber im Stall. Daher erreichen die Kühe jährlich nur 2.000 Weidestunden bzw. 83 Vollweidetage. Das Jungvieh wird hingegen 180 Tage auf der Weide gehalten.

Bei der Stallfütterung der Milchkühe wird der Energiebedarf des Grundfutters je zu Hälfte aus Silomais und Grassilage bereitgestellt. In der Jungviehration wird hingegen ein deutlich höherer Grassilageanteil gefüttert. Hier stammen 70 % der Grundfutterenergie aus Grassilage und nur 30 % aus Maissilage.

Tabelle 3.11: Energiebedarf der Milchviehfütterung

		Milchvieh[1)]	Jungvieh[2)]
Energiebedarf je Tier	GJ NEL/a	42,8	31,8
davon aus Kraftfutter, Milch	GJ NEL/a	16,9	3,9
davon aus Grundfutter	GJ NEL/a	25,9	27,9
davon aus Maissilage	GJ NEL/a	10,0	4,2
davon aus Grassilage	GJ NEL/a	10,0	9,9
davon aus Weide	GJ NEL/a	5,9	13,8

1) Leistungsbedarf 3,28MJ NEL/kg FECM, Erhaltungsbedarf 37,7MJ NEL x 323d + 64 MJ NEL x 27d + 72MJ NEL x 14d.

2) 160 kg Vollmilch, 20 kg Milchaustauscher, 130 kg Kälberaufzuchtfutter, 400 kg Kraftfutter E III.

Eigene Berechnung nach LWK Niedersachsen (2009a); Schimmelpfeng (2009).

Aus dem genannten Energiebedarf für das Grundfutter und den in Tabelle 3.11 dargestellten Erträgen und Flächenumfängen lässt sich der Flächenüberschuss des Betriebes ermitteln. Dieser ist in Tabelle 3.12 dargestellt. Aus Sicht der Fütterung hat der Betrieb einen Flächenüberschuss von 10 ha Grünland und 2 ha Silomais.

Dieses Flächenpotenzial bildet den Ausgangspunkt für die Überlegungen zur Integration einer Biogasanlage in den bestehenden Betrieb.

Tabelle 3.12: Flächenüberschuss des typischen Milchviehbetriebes

	Energiebedarf GJ NEL/a	Flächenbedarf ha	Flächenüberschuss ha
Energiebedarf Grundfutter	3.812	-	-
davon Weide	1.194	41	10
davon Grassilage[1)]	1.433	27	-
davon Maissilage[1)]	1.185	15	2

1) Es sind 10 % Silierverlust und 5 % Futterverlust unterstellt.

Quelle: Eigene Berechnung nach LWK Niedersachsen (2009a); Schimmelpfeng (2009); Spezialberatungsring für Rinderhaltung und Futterbau e.V. Aurich Beratungsring ostfriesische Küste e.V. (2010).

3.3.2 Strategien zur Integration einer Biogasanlage

Zunächst stellt sich die Frage, ob die Erzeugung von Biogas in Konkurrenz zur Milchviehhaltung steht oder ob sich Synergieeffekte zwischen einem typischen Milchviehbetrieb und der Biogaserzeugung ergeben. Zur Beantwortung dieser Frage wird im Folgenden analysiert, durch welche Anpassungsstrategien der Betrieb einer 200 kW-Biogasanlage mit Rohstoffen versorgt werden kann.

Die Tabelle 3.13 zeigt, welche elektrische Leistung mit dem vorhandenen Flächenüberschuss und Gülleaufkommen installiert werden kann. Mit der anfallenden Gülle können 16 kW und aus der überschüssigen Maissilage 5 kW elektrische Leistung betrieben werden. Wenn der Milchviehhalter auf den 10 ha überschüssiger Weide Grassilage produziert, kann er mit dem Grassilageertrag weitere 11 kW elektrische Leistung erzielen. Insgesamt kann der Betrieb somit nur 32 kW betreiben, was deutlich unterhalb der vorzüglichen Anlagengröße von 200 kW liegt (vgl. Kapitel 3.3.2).

Daher wurden in Expertengesprächen mit den genannten Beratern und Landwirten Anpassungsstrategien entwickelt, mit denen der Betrieb die zu installierende elektrische Leistung erhöhen kann. Im Folgenden wird die Wirksamkeit der unterschiedlichen Strategien vorgestellt.

Tabelle 3.13: Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes

Pflanzliche Rohstoffe	Flächen-bedarf	Flächen-überschuss	Ertrag	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
	ha	ha	t FM/ha	kWh/t	kW
Grünland	68	10	30	299	11
Maissilage	15	2	45	357	5
Wirtschaftsdüngeranfall		Plätze	Gülle-anfall	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
		St.	m³/Platz	kWh/m³	kW
Milchvieh		100	20	45	11
Jungvieh		99	9	45	5
Zu installierende elektrische Leistung					**32**

Annahmen:
8.000 Volllaststunden, 36,5 % el. Wirkungsgrad, 10 % Silierverlust, TS-Gehalte: Gülle: 10 %; Maissilage: 33 %, Grassilage: 35 %.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

(1) Intensitätssteigerung auf dem Grünland

Der Betrieb benötigt die Grünlandflächen, um die Obergrenze der Düngeverordnung von 170 kg N/ha LF aus tierischem Wirtschaftdünger nicht zu überschreiten. Die Flächen werden dabei extensiv bewirtschaftet, um die Kosten für eine mineralische Düngung und den Futterüberschuss gering zu halten. Für Gärreste aus pflanzlichen Substraten gilt die 170 kg-Grenze aus der Düngeverordnung jedoch nicht, sodass die Flächen auch intensiver mit Gärrest gedüngt werden können. Insgesamt wird hierin ein zusätzliches Ertragspotenzial bei der Grassilage gesehen. Es wird davon ausgegangen, dass der Grasertrag um etwa 20 % gesteigert werden kann (EILERS, 2009).

Eine derartige Ertragssteigerung reduziert den Flächenbedarf für Grassilage in der Rinderfütterung von 27 auf 23 ha. Weiterhin steigt die zu installierende Leistung aufgrund des Ertragszuwachses von 1,1 kW/ha auf 1,35 kW/ha, sodass insgesamt die zu installierende elektrische Leistung auf 41 kW ansteigt (vgl. Tabelle 3.14).

Tabelle 3.14: Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage

Pflanzliche Rohstoffe	Flächen-bedarf	Flächen-überschuss	Ertrag	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
	ha	ha	t FM/ha	kWh/t	kW
Grünland	64	14	36	299	19
Maissilage	15	2	45	357	5
Wirtschaftsdüngeranfall		Plätze	Gülle-anfall	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
		St.	m³/Platz	kWh/m³	kW
Milchvieh		100	20	45	11
Jungvieh		99	9	45	5
Zu installierende elektrische Leistung					**41**

Annahmen:
8.000 Volllaststunden, 36,5 % el. Wirkungsgrad, 10 % Silierverlust, TS-Gehalte: Gülle: 10 %; Maissilage: 33 %, Grassilage: 35 %.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

(2) Ganzjährige Stallhaltung der Tiere

Aufgrund des höheren Flächenertrages der Grasssilagenutzung im Vergleich zur Weidehaltung kann der Betrieb durch eine ganzjährige Stallhaltung seinen Futterflächenbedarf reduzieren. Allerdings muss hierfür der Maisanteil in der Jungviehfütterung von 30 auf 10 % reduziert und der Grassilageanteil entsprechend erhöht werden, da ansonsten die vorhandene Maisfläche nicht ausreicht.

Tabelle 3.15: Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage und ganzjähriger Stallhaltung

Pflanzliche Rohstoffe	Flächen-bedarf	Flächen-überschuss	Ertrag	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
	ha	ha	t FM/ha	kWh/t	kW
Grünland	38	40	36	299	55
Maissilage	17	-	45	357	-
Wirtschaftsdüngeranfall		Plätze	Gülle-anfall	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
		St.	m³/Platz	kWh/m³	kW
Milchvieh		100	20	45	11
Jungvieh		99	9	45	5
Zu installierende elektrische Leistung					**71**

Annahmen:
8.000 Volllaststunden, 36,5 % el. Wirkungsgrad, 10 % Silierverlust, TS-Gehalte: Gülle: 10 %; Maissilage: 33 %, Grassilage: 35 %.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

Durch die Umstellung auf ganzjährige Stallhaltung und eine 20 % Ertragssteigerung bei Grassilage erhöht sich der Grünlandüberschuss auf 40 ha, und die zu installierende elektrische Leistung steigt auf 71 kW (vgl. Tabelle 3.15).

(3) Auslagerung der Jungviehaufzucht

Die Jungviehaufzucht ist bei vielen Betrieben nicht kostendeckend, sodass aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Jungviehaufzucht optimiert werden sollte (THOMSEN, 2010: 53). Dies könnte durch eine Auslagerung in spezialisierte Aufzuchtbetriebe geschehen (LÜHRMANN, 2009:8). Gleichzeitig könnte dabei Futterfläche für die Biogaserzeugung freigesetzt werden. In Tabelle 3.16 ist dargestellt, welche elektrische Leistung bei einer 20 %igen Ertragssteigerung der Grassilageerzeugung, einer ganzjährigen Stallhaltung der Kühe sowie einer Auslagerung der Jungviehaufzucht betrieben werden kann. Durch die Auslagerung verringert sich der Flächenbedarf um 1 ha Mais und 18 ha Grünland, sodass die zu installierende elektrische Leistung um 25 kW ansteigt. Aufgrund des geringeren Gülleaufkommens sinkt das Leistungspotenzial aus Gülle jedoch um 5 kW. Insgesamt können durch die Auslagerung der Jungviehaufzucht somit lediglich 92 kW elektrische Leistungen betrieben werden.

Tabelle 3.16: Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage, ganzjähriger Stallhaltung und Auslagerung der Jungviehaufzucht

Pflanzliche Rohstoffe	Flächenbedarf	Flächenüberschuss	Ertrag	Stromertrag	Erzielbare Leistung
	ha	ha	t FM/ha	kWh/t	kW
Grünland	20	58	36	299	78
Maissilage	16	1	45	357	2
Wirtschaftsdüngeranfall		Plätze	Gülleanfall	Stromertrag	Erzielbare Leistung
		St.	m³/Platz	kWh/m³	kW
Milchvieh		100	20	45	11
Jungvieh		-	9	45	-
Zu installierende elektrische Leistung					**92**

Annahmen:
8.000 Volllaststunden, 36,5 % el. Wirkungsgrad, 10 % Silierverlust, TS-Gehalte: Gülle: 10 %; Maissilage: 33 %, Grassilage: 35 %.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

(4) Abschaffung der Viehhaltung

Mit den zuvor genannten Strategien kann der Betrieb lediglich die Hälfte des Rohstoffsbedarfs einer 200 kW-Biogasanlage decken. Somit muss er entweder weitere Flächen pachten oder Substrate am Markt zukaufen. Sollte dies nicht möglich sein, stellt sich die Frage, welche Biogasanlage er bei Abschaffung der gesamten Tierhaltung betreiben kann. Wie Tabelle 3.17 zeigt, könnte selbst bei der Abschaffung der gesamten Tierhaltung lediglich 140 kW-Leistung betrieben werden.

Tabelle 3.17: Potenzielle elektrische Leistung des typischen Milchviehbetriebes bei 20 % Mehrertrag für Grassilage und Abschaffung der Viehhaltung

Pflanzliche Rohstoffe	Flächenbedarf	Flächenüberschuss	Ertrag	Stromertrag	Erzielbare Leistung
	ha	ha	t FM/ha	kWh/t	kW
Grünland	-	78	36	299	106
Maissilage	-	17	45	357	34
Wirtschaftsdüngeranfall		Plätze	Gülleanfall	Stromertrag	Erzielbare Leistung
		St.	m³/Platz	kWh/m³	kW
Milchvieh		-	20	45	-
Jungvieh		-	9	45	-
Zu installierende elektrische Leistung					**140**

Annahmen:
8.000 Volllaststunden, 36,5 % el. Wirkungsgrad, 10 % Silierverlust, TS-Gehalte: Gülle: 10 %; Maissilage: 33 %, Grassilage: 35 %.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

Aus der Analyse möglicher Anpassungsstrategien für einen typischen Milchviehbetrieb ist festzuhalten, dass selbst massive Veränderungen der Betriebsstruktur, wie die Auslagerung der Jungviehaufzucht, nicht ausreichen, um eine 200 kW-Biogasanlage ohne Zukauf von Rohstoffen oder Zupacht von Flächen zu betreiben. Inwiefern dies möglich ist, hängt von der Wettbewerbsfähigkeit der Biogaserzeugung gegenüber konkurrierenden Milchviehbetrieben ab und wird im nächsten Kapitel analysiert.

3.3.3 Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion in Milchviehregionen

Aufgrund des hohen Grünlandanteils in Milchviehregionen stellt sich die Frage, wie sehr die Rentabilität der Biogaserzeugung durch hohe Grasanteile beeinflusst wird. Weiterhin hat das vorherige Kapitel die starke Flächenkonkurrenz zwischen der Biogaserzeugung und der Milchviehhaltung aufgezeigt. Daher ist zu analysieren, wie wettbewerbsfähig die Biogaserzeugung gegenüber der Milchviehhaltung ist.

Rentabilität

Für die Rentabilität der Biogaserzeugung in Milchviehregionen ist zunächst zu klären, welche technischen Veränderungen sich bei der Vergärung von Grassilage im Vergleich zur Maissilage ergeben.

Nach ELSIEPEN (2010: 22) sind bei der Vergärung von Grassilage anstelle von Maissilage in einer 200 kW-Anlage folgende Veränderungen zu berücksichtigen:

- Die langen Fasern der Grassilage müssen vor dem Einbringen in den Fermenter stärker aufgelöst werden. Dies erfordert Anpassungen bei der Einbringtechnik und führt zu Mehrinvestitionen von ca. 10.000 €.
- Weiterhin neigen die Fasern der Grassilage zur Vernetzung und Bildung von Schwimmschichten. Daher muss neben dem Fermenter auch das Gärrestlager ständig gerührt werden. Aufgrund der höheren Viskosität des Gärsubstrates im Vergleich zur Maissilage sollten langsam laufende Paddelrührwerke eingesetzt werden. Der Einbau eines Paddelrührwerkes im Gärrestlager erhöht das Investitionsvolumen um ca. 20.000 €.
- Aufgrund des geringeren Energiegehaltes der Grassilage steigt der Raumbedarf des Silolagers, des Fermenters sowie des Gärrestlagers geringfügig.
- Weiterhin erhöht sich aufgrund der höheren Viskosität des Substrates der Eigenstrombedarf bei der Vergärung von Grassilage auf 10 % der verkauften Strommenge. Im Vergleich zur in Kapitel 3.3.2 vorgestellten Anlage zur Vergärung von Maissilage bedeutet dies ein Anstieg um 3,5 Prozentpunkte.

– Bei der Vergärung von Grassilage sind Sand- und Steineinträge höher als bei Maissilage, was zu einem höheren Verschleiß führt. Daher werden die Wartungskosten für die Einbringtechnik und den Fermenter von 1,5 % auf 3 % des Investitionsvolumens erhöht.

In Tabelle 3.18 sind die Unterschiede zwischen den Investitionen sowie den Anlagen- und Betriebskosten für die Vergärung bei Mais- oder Grassilage für eine 200 kW-Biogasanlage dargestellt. Die spezifischen Investitionen erhöhen sich um 400 €/kW bzw. 8 %. Die spezifischen Strom- und Wartungskosten steigen bei Grassilage jeweils um 0,8 €/t Substrat.

Tabelle 3.18: Unterschied der Investitionen und Betriebskosten zwischen gras- und maisbasierten Biogasanlagen (200 kW)[8]

		Maissilage	Grassilage	Differenz
Unterschiede Investitionen				
Silolagerraum	m³	6.010	6.622	612
	€	248.200	267.200	19.000
Feststoffeintrag	m³	15	15	0
	€	35.100	45.100	10.000
Fermentervolumen	m³	1.679	1.850	171
	€	148.800	161.900	13.100
Gärrestlager	m³	2.390	2.705	314
	€	122.200	152.900	30.700
Verstärkte Schnecken	€	-	9.000	-
Planungszuschlag	€	90.400	98.600	8.200
Spezifische Investitionen	€/kW	5.000	5.400	400
Unterschiede Anlagen- und Betriebskosten				
Substratbedarf	t FM/a	4.207	4.635	-
Stromverbrauch	kWh/a	118.800	158.400	39.600
	kWh/t	28	34	6
Stromkosten	€/a	15.444	20.592	5.148
	€/t	3,7	4,4	0,8
Wartung (ohne BHKW)	€/a	8.525	13.072	4.548
	€/t	2,0	2,8	0,8

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2009); Elsiepen (2010).

Weiterhin haben die unterschiedlichen Kosten für Mais- und Grassilage einen entscheidenden Einfluss auf die Rentabilität der Biogasanlage. In Tabelle 3.19 ist der Gleichgewichtspreis für Silomais bei einem Weizenpreis von 172 €/t für die Ertragsverhältnisse

[8] Die Quellen zum Investitionsvolumen der einzelnen Anlagen sind in Tabelle A2 im Anhang dargestellt.

des typischen Milchviehbetriebes dargestellt. Für Weizen ist eine organische Düngung von 23 m³ Rindergülle unterstellt. Zu Mais wird eine mineralische Unterfußdüngung von 150 kg 20/20-Dünger ausgebracht. Der restliche Nährstoffbedarf wird zum Großteil über die Rückführung von Gärrest gedeckt. Für die Gärrestdüngung wird angenommen, dass 30 % des Stickstoffs während der Fermentation, Lagerung und Ausbringung verloren gehen, sodass eine mineralische Ausgleichsdüngung von 45 kg N erforderlich ist. Für die Kosten des Silomais frei Anlage sind noch Ernte- und Transportkosten der Silage in Höhe von 6,7 €/t zu berücksichtigen. Weiterhin entstehen Kosten für die Ausbringung der Gärreste in Höhe von 2 €/t.

Tabelle 3.19: Gleichgewichtspreis für Silomais in der Milchviehregion

		Weizen	Mais (frei Halm)	Mais (frei Anlage) inkl. Gärrestausbringung
Ertrag	t FM/ha	7,7	45	45
Preis	€/t FM	172	23,7	32,5
Leistung	€/ha	1.324	1.065	1.461
Saatgut	€/ha	87	177	177
Pflanzenschutz	€/ha	169	150	150
Dünger	€/ha	79	58	58
Arb. Erl. Kosten	€/ha	373	262	262
Gärrestausbringung	€/ha	69	0	95
Erntekosten	€/ha	130	0	302
Summe Kosten	€/ha	907	647	1.043
Gewinnbeitrag (Weizen)	€/ha	417	417	417

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010a); LWK Niedersachsen (2008a); Schimmelpfeng (2009).

Im Gegensatz zu Silomais, bei dem sich die Nutzungskosten der Fläche mit steigendem Weizenpreis erhöhen, können die Nutzungskosten der Fläche bei Grassilage nicht aus dem Getreidepreis abgeleitet werden. Daher werden die Nutzungskosten in Höhe der aktuellen Grünlandpacht von 150 €/ha angesetzt. In Tabelle 3.20 sind die Produktionskosten für Grassilage bei vier Schnittnutzungen dargestellt. Es wird angenommen, dass die im vorherigen Kapitel genannte Ertragssteigerung von 20 % realisiert und ein Frischmasseertrag von 36 t/ha erreicht wird. Die Arbeitserledigungskosten wurden mit dem KTBL-Feldarbeitsrechner für eine Hof-Feld-Entfernung von 3 km kalkuliert. Die Düngung wird zum Großteil durch den Gärrest gedeckt. Allerdings gehen analog zu Silomais 30 % des Stickstoffs verloren, weshalb 100 kg N mineralisch gedüngt werden. Die Kosten für Grassilage frei Halm betragen nur 9 €/t FM. Die Kosten der Ernte sowie Gärrestausbringung erhöhen die Kosten der Grassilage frei Anlage auf 27,6 €/t.

Tabelle 3.20: Produktionskosten von Grassilage in der Milchviehregion

		frei Halm	frei Anlage inkl. Gärrestausbringung
Ertrag	t FM/ha	36	36
Saatgut	€/ha	90	90
Pflanzenschutz	€/ha	8	8
Dünger	€/ha	54	54
Flächengebundene Arb. Erl. Kosten[1)]	€/ha	34	34
Gärrestausbringung	€/ha	-	85
Ernte- und Transportkosten[2)]	€/ha	-	580
Nutzungskosten Fläche	€/ha	150	150
Summe Kosten	€/ha	336	1.001
	€/t	9	28

1) Abschleppen Grünland 4,5 m und 45 kW; Pflanzenschutz 27 m; 67 kW.

2) Mähen, Wenden, Schwaden mit 83 kW Schlepper; 4 m Mähaufbereiter; 8,5 m Wender; 8,5 m Schader, Bergung mit 250 kW Häcksler, 50 m³ Ladewagen, 13,5 t Radlader.

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010a); LWK Niedersachsen (2008a).

Mais und Grassilage unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihrer Produktionskosten, auch die Produktivität der Rohstoffe in der Biogasanlage ist unterschiedlich, da Maissilage einen 10 % geringeren Methanertrag hat (vgl. Tabelle 3.21).

Tabelle 3.21: Methanertrag von Gras- und Maissilage

	TS-Gehalt	oTS-Gehalt	Biogasertrag	CH4-Anteil	CH4-Ertrag
	%	%	l/kg oTM	%	m³CH4/t FM
Silomais	33	95	650	52	106
Grassilage	35	88	584	53	95

Quelle: KTBL (2009); Toews (2009).

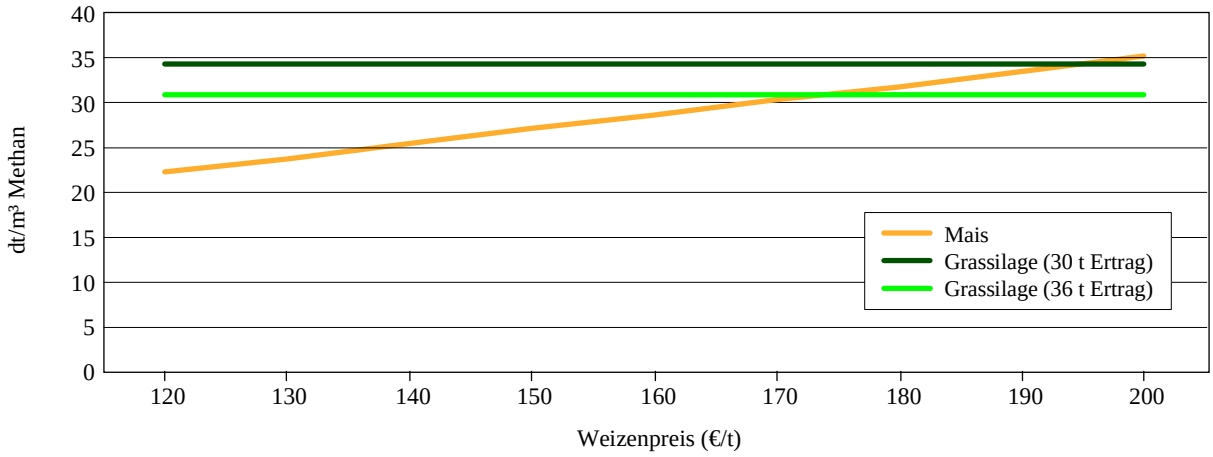
Daher sind in Abbildung 3.10 die Kosten je m³ Methan aus Gras- und Maissilage bei steigenden Getreidepreisen dargestellt. Für die Wettbewerbsfähigkeit der Substrate untereinander ist für Grassilage neben den Produktionskosten noch ein Zuschlag von 1,6 €/t für höhere Strom- und Wartungskosten zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 3.18). Die Methankosten aus Grassilage sind für ein Ertragsniveau von 30 und 36 t FM berechnet, um zu zeigen, wie sich eine 20 %ige Ertragssteigerung auswirkt. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

– Aufgrund der Flächennutzungskosten steigen die Methankosten aus Maissilage mit zunehmendem Getreidepreis. Die Nutzungskosten für das Grünland werden hingegen annahmegemäß nicht vom Getreidepreisniveau beeinflusst.[9]

– Sofern die in Kapitel 3.4.2 genannte Ertragssteigerung von 20 % realisiert werden kann, ist Grassilage erst ab Weizenpreisen von 170 €/t wettbewerbsfähig. Somit dürften Biogasanlagen bei dem unterstellten Getreidepreisniveau von 170 €/t verstärkt bestrebt sein, Maissilage einzusetzen. Dieser Anreiz steigt umso mehr, je geringer der Weizenpreis ist. Daher wird bei den derzeit geringen Getreidepreisen auch in Grünlandregionen vornehmlich Maissilage eingesetzt.

– Der Grünlandertrag beeinflusst die Wettbewerbsfähigkeit von Grassilage entscheidend. Werden nur 30 t Frischmasseertrag erzielt, müsste der Weizenpreis bereits auf 200 €/t steigen, damit Grassilage als Substrat wettbewerbsfähig ist.

Abbildung 3.10: Gleichgewichtspreis zwischen Gras- und Maissilage



Quelle: Eigene Berechnungen.

Trotz des wirtschaftlichen Anreizes, Maissilage in Biogasanlagen zu vergären, ist fraglich, ob ausreichend Ackerflächen verfügbar sind. Ursachen sind der hohe Grünlandanteil in den Küstenregionen (>50 %) sowie der hohe Maisanteil an der AF (50 %) (vgl. Kapitel 3.1.2). Somit ist insbesondere bei einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion nur von einer begrenzten Verfügbarkeit der Ackerflächen auszugehen. Als Lösungsansatz könnte Mais aus Ackerbauregionen importiert werden. Bei einem Maisimport über eine Entfernung von 40 km würden die Kosten je Tonne Maissilage um etwa

[9] Zwar ist bei einem allgemein steigenden Agrarpreisniveau auch von steigenden Pachtpreisen für Grünland auszugehen, jedoch ist dieser Zusammenhang deutlich schwächer ausgeprägt als bei Ackerflächen.

7,3 €/t[10] steigen. Für das unterstellte Weizenpreisszenario wären somit die Methankosten aus importierter Maissilage höher als aus der vor Ort geernteten Grassilage und ein Maisimport nicht wirtschaftlich.

Als Folge ist anzunehmen, dass sich der Maispreis in der Region vom Gleichgewichtspreis zum Weizen abkoppelt und aufgrund der Nachfrage in Richtung des Gleichgewichtspreises zur Grassilage verschiebt bzw. sich an der maximalen Zahlungsbereitschaft der Biogasanlagen orientiert.

Analog zum typischen Milchviehbetrieb wird für die Rentabilitätsberechnung der Biogasanlage ein Grünlandanteil von 80 % angenommen. Aufgrund des höheren Maisertrages (45 t/ha) im Vergleich zur Grassilage (35 t/ha) beträgt der Maisanteil 76 % und der Grasanteil 24 % am pflanzlichen Input. Unter Berücksichtigung der für den Güllebonus notwendigen Gülle ergibt sich hieraus eine Substratmischung von 35 % Gülle, 49 % Gras- und 16 % Maissilage.

Das betriebswirtschaftliche Ergebnis einer 200 kW-Anlage mit der genannten Substratmischung ist in Tabelle 3.22 dargestellt. Im Vergleich zu der in Kapitel 3.3.2 kalkulierten 200 kW-Anlage ergeben sich folgende Unterschiede:

– Trotz der 20.000 € höheren Kapital-, Anlagen- und Betriebskosten aufgrund der Anpassungen für die Vergärung von Grassilage ist der Gewinn nur 4.000 € und die Rendite nur 1 %-Punkt geringer. Die Ursache für den geringen Gewinn- und der Rentabilitätsunterschied sind die geringen Rohstoffkosten. Aufgrund des geringeren Weizenertrages sind in der Milchviehregion die Nutzungskosten der Fläche und damit die Kosten der Maissilage geringer. Weiterhin ist die Vergärung von Grassilage bei dem unterstellten Weizenpreis von 170 €/t wettbewerbsfähig.
– Sollte der Weizenpreis jedoch unter 170 €/t liegen, sind der Gewinn und die Rendite für Biogasanlagen zur Monovergärung von Maissilage deutlich höher als bei der Vergärung von Grassilage.

[10] Annahmen: 17 t Zuladung, 45 km/h Transportgeschwindigkeit; 70 €/h Lkw-Kosten.

Tabelle 3.22: Wirtschaftlichkeit einer 200 kW-Biogasanlage in der Milchviehregion

Leistung	kW	200
Gülleanteil	%	35
Investment	€/kW	5.400
Silomaisbedarf (10 % Lagerverlust)	t/a	1.086
Grassilagebedarf (10 % Lagerverlust)	t/a	3.439
Güllebedarf	m³/a	2.215
Verkaufte Strommenge	kWh/a	1.584.000
Verkaufe Wärmemenge	kWh/a	450.000
Strompreis	€/kWh	0,22
Stromerlös	€/a	355.000
Wärmeerlös	€/a	9.000
Gesamterlös	**€/a**	**364.000**
Kosten Maissilage	€/a	26.000
Ernte- und Transportkosten Maissilage	€/a	7.000
Kosten Grassilage	€/a	31.000
Ernte- und Transportkosten Grassilage	€/a	55.000
Sonstige Direktkosten	€/a	17.000
Kapitalkosten	€/a	105.000
Sonstige Anlagenkosten	€/a	34.000
Lohnkosten	€/a	21.000
Sonstige Betriebskosten	€/a	26.000
Summe Kosten	**€/a**	**323.000**
Gewinn	**€/a**	**41.000**
Rendite	%	13

Quelle: Eigene Berechnung.

Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion gegenüber der Milchviehhaltung

Die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion gegenüber der Milchviehhaltung wird aus der maximalen Zahlungsbereitschaft für Mais- und Grassilage abgeleitet, weil die Verfahren um den knappen Faktor Fläche konkurrieren. Der Biogasanlagenbetreiber kann je nach Verfügbarkeit und Preisgefüge zwischen den beiden Rohstoffen variieren. Die maximale Zahlungsbereitschaft richtet sich dabei nach dem Methanertrag. Die Berechnung der maximalen Zahlungsbereitschaft für die beiden Rohstoffe ist in Tabelle 3.23 dargestellt. Wenn der Anlagenbetreiber der Biogasanlage jährlich 160.000 € für Rohstoffe ausgibt, erwirtschaftet er keinen Gewinn mehr. Die Anlage produziert jährlich etwa 1,5 Mio. kWh Strom aus nachwachsenden Rohstoffen. Bei einem Wirkungsgrad von 36,5 % und einem Heizwert für Methan von 9,97 kWh/Nm³ sind hierfür 403.000 Nm³ Methan erforderlich. Daraus ergibt sich eine maximale Zahlungsbereitschaft von 40 ct/Nm³ Methan. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Methanerträge beträgt die maximale Zahlungsbereitschaft frei Anlage 38 €/t Silomais bzw. 34 €/t Grassilage.

Tabelle 3.23: Maximale Zahlungsbereitschaft einer 200 kW-Biogasanlage für Mais- und Grassilage

Gewinn	€/a		41.000
Rohstoffkosten (Ist-Situation)	€/a	+	57.000
Ernte- und Transportkosten Rohstoffe	€/a	+	63.000
Zahlungsbereitschaft für Rohstoffe	€/a		160.000
Stromproduktion aus NawaRo	kWh/a		1.465.200
Methanbedarf für Strom	Nm³		402.600
Zahlungsbereitschaft je m³ Methan	€/Nm³		0,4
Methanertrag Mais[1)]	Nm³ CH4/t		95
Max. ZB Maissilage (frei Anlage)	€/t		38
Methanertrag Gras[1)]	Nm³ CH4/t		86
Max. ZB Grassilage (frei Anlage)	€/t		34

1) Bei10 % Silierverlust.

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009).

Die Wettbewerbsfähigkeit des Milchviehbetriebes wird über die Zahlungsbereitschaft für das Grundfutter ermittelt.[11] Da nach derzeitigem Stand die Milchquote im Jahr 2013 ausläuft, wurden keine Quotenkosten für die Milcherzeugung berücksichtigt. Die Berechnung der maximalen Zahlungsbereitschaft für Grundfutter ist in Tabelle 3.24 dargestellt und wird am Beispiel von Silomais beschrieben. Beträgt der Milchpreis 25 ct/kg, erwirtschaftet der Betrieb ab Grundfutterkosten von 2,4 ct/kg fett- und eiweißkorrigierte Milchmenge (FECM) keinen Unternehmergewinn mehr. Maissilage deckt 32 % der Energie im Grundfutter, sodass sie maximal Kosten von 0,8 ct/kg FECM verursachen kann. Je Kilogramm FECM werden 1,6 MJ Maissilage benötigt, woraus sich eine maximale Zahlungsbereitschaft von 0,47 ct/MJ NEL bzw. 9,7 €/GJ Mais ergibt. Bei einem Energiegehalt von 2,13 MJ NEL/t FM beträgt die maximale Zahlungsbereitschaft für Maissilage 10,2 €/t.

Insgesamt liegt die maximale Zahlungsbereitschaft des Milchviehbetriebes für Mais- und Grassilage bei einem Milchpreis von 25 ct/kg nur etwa bei einem Viertel gegenüber der einer Biogasanlage.

[11] Die Kosten der Milchviehhaltung wurden mit dem KTBL-Wirtschaftlichkeitsrechner Tier ermittelt, wobei das Leistungsniveau an den typischen Milchviehbetrieb angepasst wurde.

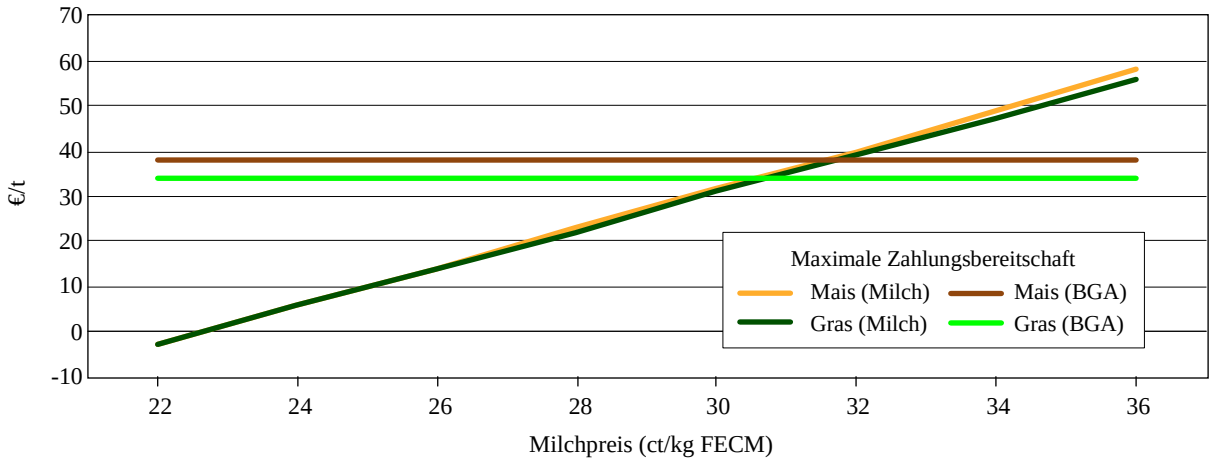
Tabelle 3.24: Maximale Zahlungsbereitschaft Milchproduktion für Mais- und Grassilage

Milchpreis	ct/kg FECM		25,0
Nebenerlöse (Altkuh, Bullenkalb)	ct/kg FECM	+	4,0
Färsenerlöse[1)]	ct/kg FECM	+	1,2
Gesamterlöse	ct/kg FECM		30,2
Summe Kosten ohne GF und Lieferrechte[2)]	ct/kg FECM	-	27,8
Max. ZB Grundfutter	ct/kg FECM		2,4
Energieanteil Maissilage im GF	%		32,4
Energieanteil Grassilage im GF	%		39,2
Energiebedarf aus Maissilage[3)]	MJ NEL/kg FECM		1,6
Energiegehalt Maissilage	GJ NEL/t FM		2,1
Max. ZB Maissilage	€/t		10,2
Energiebedarf aus Grassilage[3)]	MJ NEL/kg FECM		1,9
Energiegehalt Grassilage	GJ NEL/t FM		2,1
Max. ZB Grassilage	€/t		9,8

1) Erlös Zuchtfärse: 1.700 €.
2) Kraftfutterpreis: 230 €/t.
3) Inkl. Färsenaufzucht sowie 15 % Silier- und Futterverlust.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010b); LWK Niedersachsen (2008a).

In Abbildung 3.11 ist die Wettbewerbsfähigkeit der Milchviehhaltung gegenüber der Biogaserzeugung bei unterschiedlichen Milchpreisen dargestellt. Erst ab einem Milchpreis von etwa 31 ct/kg kann der Milchviehhalter mit dem Biogasanlagenbetreiber um Grassilage konkurrieren. Um bei der Maissilage wettbewerbfähig zu sein, müsste der Milchpreis auf 32 ct/kg FECM ansteigen.

Abbildung 3.11: Gleichgewichtspreise Milchproduktion für Mais- und Grassilage

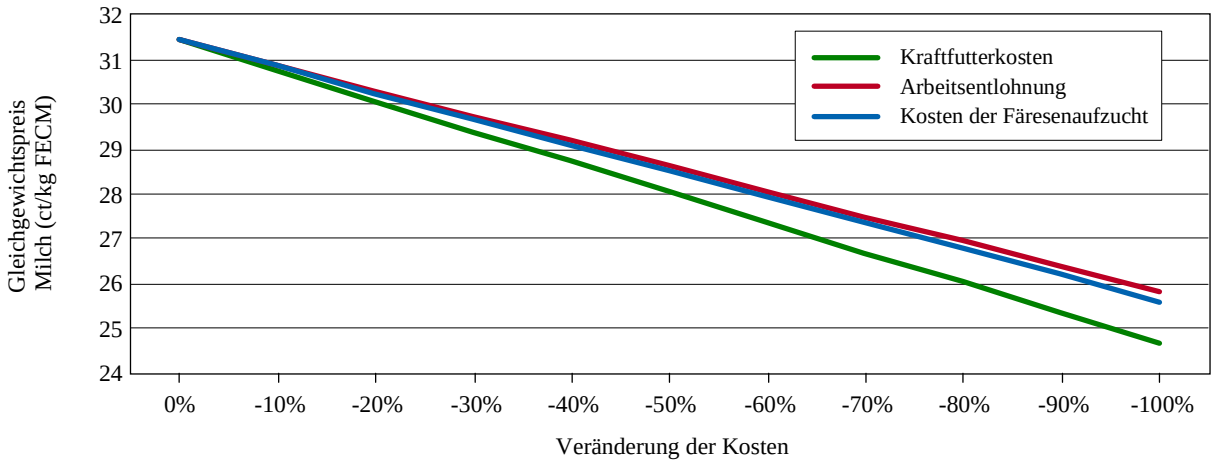


Quelle: Eigene Berechnungen.

Sollte der Milchpreis langfristig unter 32 ct/kg FECM liegen, müssen Milchviehhalter ihre Kosten senken, um am Pachtmarkt wettbewerbsfähig zu sein. Die höchsten Anteile an den grundfutterfreien Produktionskosten haben mit 24 % die Kraftfutterkosten und mit jeweils 20 % die Lohnkosten und Färsenaufzuchtkosten. Daher ist in Abbildung 3.12 dargestellt, wie hoch der Milchpreis bei einer Verringerung dieser Kosten sein muss, damit der Milchviehhalter ebenfalls 38 €/t Maissilage zahlen kann. Es zeigt sich, dass bei einem Milchpreis von 25 ct/kg die Kraftfutter-, Färsenaufzucht- oder Lohnkosten um 70 bis 85 % gesenkt werden müssen.

Da in der Regel nur die Lohnkosten durch eine geringere Entlohnung der eigenen Arbeit zu beeinflussen sind, ist anzunehmen, dass Milchviehhalter zunächst ein 60 % geringeres Einkommen in Kauf nehmen werden, um am Pachtmarkt wettbewerbsfähig zu sein. Bei derartigen Unterschieden in der Arbeitsentlohnung ist jedoch spätestens zum Zeitpunkt der Hofnachfolge davon auszugehen, dass Landwirte aus der Milchviehhaltung aussteigen.

Abbildung 3.12: Wettbewerbsfähigkeit der Milchviehhaltung bei verringerten Kosten



Quelle: Eigene Berechnungen.

Als Fazit zur Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in **Milchviehregionen** sind folgende Ergebnisse und Schlussfolgerungen festzuhalten:

(1) Die Biogasproduktion ist in solchen Regionen auch auf Basis von Grassilage sehr wirtschaftlich; eine Kapitalrentabilität von über 10 % ist erreichbar.

(2) Die Biogaserzeugung konkurriert mit der Milchproduktion um die Futterfläche.

(3) Biogasanlagen sind bis zu einem Milchpreis von 32 ct/kg in der Lage, höhere Pachten zu zahlen als der hier unterstellte Milchviehbetrieb, der hinsichtlich Größe und Wirtschaftlichkeit sicher überdurchschnittlich kostengünstig produziert, aber gleichwohl noch nicht den absoluten Spitzenbetrieb repräsentiert.

(4) Bei Milchpreisen unter 31 ct/kg ist langfristig mit einer vermehrten Aufgabe der Milchproduktion und tendenziell auch mit Verringerung der Milchproduktion zu rechnen. In Regionen mit Flächen, die (noch) nicht für die Produktion von Futter für Rindvieh bzw. Rohstoffen für Biogasanlangen benötigt werden, geschieht dies freiwillig, wenn landwirtschaftliche Unternehmerfamilien vor der Entscheidung stehen, in Biogas oder Milchvieh zu investieren und sich für die wirtschaftlichere Option „Biogas“ entscheiden.

(5) In Regionen, in denen (Acker-) Flächen bereits knapp sind bzw. werden, wird die Milchviehhaltung jedoch auch gegen den Willen der Milchproduzenten verdrängt, indem Betreiber von Biogasanlagen die erforderlichen Flächen pachten. Aufgrund der höheren Verwertung der Maissilage in der Biogasanlage wird die Biogasproduktion die Milchviehhaltung dabei zunächst auf das Grünland verdrängen. Bei einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion und Milchpreisen unter 31 ct/kg findet auch auf dem Grünland eine Verdrängung der Milcherzeugung statt.

3.4 Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Veredelungsregionen

3.4.1 Beschreibung eines typischen Veredelungsbetriebes

Wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, wurde für eine typische Veredelungsregion der Landkreis Cloppenburg ausgewählt, der durch hohe Nährstoffüberschüsse geprägt ist. In Zusammenarbeit mit Beratern aus dem Landkreis[12] wurde ein typischer Veredelungsbetrieb erhoben.

Der Betrieb hält 1.300 Mastschweine und 80.000 Masthähnchen. Weiterhin bewirtschaftet er 50 ha Ackerfläche. Die wesentlichen produktionstechnischen Kennzahlen der Schweine- und Hähnchenmast sind in Tabelle 3.25 zusammengefasst. Bei einer Mastdauer von 130 Tagen schafft der Betrieb in der Schweinemast 2,7 Durchgänge im Jahr. In der Hähnchenmast dauert eine Mastperiode 37 Tage. Hier erreicht der Betrieb sieben Durchgänge pro Jahr.

Um den Nährstoffanfall auf dem Betrieb zu reduzieren, werden rohproteinarme Mischfutter (RAM) eingesetzt, die über Mischfutterfirmen bezogen werden.

[12] Der typische Betrieb wurde im Rahmen von Expertengesprächen mit Rainer Kues und Dr. Bernhard Rump von der LWK Niedersachsen, Bezirksstelle Oldenburg Süd, erhoben.

Tabelle 3.25: Produktionstechnische Kennzahlen des typischen Veredelungsbetriebes

		Schweinemast	Hähnchenmast
Mastdauer	Tage	130	37
Durchgänge	Anz./a	2,7	7
Futterverwertung	kg	3,1	1,8

Quelle: Kues (2009); LWK Niedersachsen (2008a).

Der Betrieb baut 33 ha Silomais und 17 ha Weizen an. In Tabelle 3.26 sind die Erträge und die Düngung der Flächen angegeben. Der Silomais erzielt einen Ertrag von 44 t FM/ha und der Weizen 6,7 t/ha. Der Großteil des Nährstoffbedarfs wird über Gülle gedeckt. Zu Mais erfolgt lediglich eine mineralische Unterfußdüngung mit 100 kg 20/20-Dünger. Im Weizen werden lediglich im Frühjahr 70 kg mineralischer Stickstoff ausgebracht. Um eine möglichst hohe Nährstoffabfuhr zu erreichen, wird das Stroh verkauft.

Tabelle 3.26: Ackerbau-Kennzahlen des typischen Veredelungsbetriebes

		Silomais	Weizen
Fläche	ha	33	17
TS-Gehalt	%	33	86
FM Ertrag	t/ha	44	6,7
Gülledüngung	m³/ha	25	26
Mineralische Düngung			
N	kg/ha	20	70
P_2O_5	kg/ha	20	
K_2O	kg/ha		

Quelle: Kues (2009); Rump (2009).

Die Flächenverfügbarkeit des Betriebes bestimmt, ob die Viehhaltung landwirtschaftlich oder gewerblich betrieben werden kann. Nach § 51 des Bewertungsgesetzes kann ein 50 ha-Betrieb maximal 390 VE halten.[13] In Tabelle 3.27 sind die VE des Betriebes dargestellt. Es zeigt sich, dass mit 386 VE lediglich die Schweinemast landwirtschaftlich geführt werden kann. Die Hähnchenmast ist hingegen mit mehr als 600 VE als gewerbliche Tierhaltung zu betreiben.

[13] Nach § 51 Bewertungsgesetz können auf den ersten 20 ha 10 VE/ha, auf den folgenden 10 ha 7 VE/ha und auf weiteren 20 ha 6 VE/ha gehalten werden.

Tabelle 3.27: Vieheinheiten des typischen Veredelungsbetriebes

		Schweinemast	Hähnchenmast
Vieheinheiten je verkauftes Tier[1)]	VE/Tier	0,11	0,0013
Verkaufte Tiere	Tiere	3.510	536.000
Vieheinheiten	VE	386	697

1) Annahme Schweinemast: jeweils die Hälfte der Ferkel werden über bzw. unter 30 kg eingestallt.

Quelle: Eigene Berechung nach Kues (2009); § 51 Bewertungsgesetz.

Weiterhin wird durch die verfügbare Fläche bestimmt, welcher Anteil der anfallenden Schweinegülle über die Nährstoffbörse entsorgt werden muss. Der Hähnchenmist wird kostenlos über eine regionale Nährstoffbörse entsorgt. Bei der Ausbringung von Schweinegülle ist mit Blick auf die Düngeverordnung in der Regel die Phosphatbilanz der begrenzende Faktor bei der Gülleausbringung (EVESLAGE, 2009: 24). Wie die Phosphatbilanz des Betriebes in Tabelle 3.28 zeigt, müssen aufgrund des Nährstoffüberschusses 690 m³ Gülle abgegeben werden. Dies verursacht Kosten in Höhe von 6 €/m³ (KUES, 2009).

Tabelle 3.28: Phosphatbilanz des typischen Veredelungsbetriebes

			Gesamtbetrieb	
P_2O_5-Zufuhr				
aus Schweinegülle (RAM, 800g TZ)	5,1	kg/TP	6.630	kg/a
aus Hähnchenmist (RAM, 37 Tage)	0,115	kg/TP	9.200	kg/a
Mineralische Düngung Pflanzenbau	13,2	kg/ha	660	kg/a
P_2O_5-Abfuhr				
Hähnchenmist	16,4	kg/t FM	9.200	kg
Maissilage	1,9	kg/t FM	2.759	kg
Weizen	10,4	kg/t FM	1.185	kg
P_2O_5-Bilanz				
Saldo (Überschuss)			3.347	kg
Erlaubter Überschuss nach DüV	20,0	kg/ha	1.000	kg
Nötige P_2O_5-Abgabe			2.347	kg
P_2O_5-Gehalt Schweinegülle	3,4	kg/m³		
Erforderliche Gülleabgabe			690	m³

Quelle: Eigene Berechnung nach Kues (2009); LWK Niedersachen (2009); LWK Niedersachsen (2009a).

Anders als der Milchviehhalter kauft der Mäster seine Futtermittel zu, sodass er auf den vorhandenen Flächen Rohstoffe für die Biogasproduktion anbauen kann. In Tabelle 3.29 ist die potenziell zu installierende elektrische Biogasleistung des Betriebes mit der ursprünglichen Flächenausstattung dargestellt. Mit allen verfügbaren Wirtschaftsdüngemit-

teln sowie dem Maisertrag der eigenen Flächen könnte eine Leistung von 132 kW betrieben werden. In dieser Konstellation ergäbe sich ein Anteil der Gülle in der Biogasanlage von 53 %.

Allerdings wurde in Kapitel 3.2.1 analysiert, dass aufgrund der erforderlichen gasdichten Abdeckung des Gärrestlagers auch in Veredelungsregionen in der Regel nicht mit Gülleanteilen über 35 % zu rechnen ist. Daher wird auch für den typischen Veredelungsbetrieb der Gülleeinsatz auf 35 % beschränkt.

Tabelle 3.29: Potenzielle elektrische Leistung des typischen Veredelungsbetriebes

Pflanzliche Rohstoffe	Fläche	Ertrag	Silomais-anfall	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
	ha	t FM/ha	t FM/a	kWh/t	kW
Maissilage	50	45	2.250	357	100
Wirtschaftsdüngeranfall	Plätze	Gülle-anfall	Gülle-anfall	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
	St.	m³/Platz	m³/a	kWh/m³	kW
Schweinegülle	1.300	1,5	1.950	42	10
Hähnchenmist	80.000	0,007	560	300	21
Zu installierende elektrische Leistung					**132**

Annahmen:
8.000 Volllaststunden, 36,5 % el. Wirkungsgrad, 10 % Silierverlust, TS-Gehalte: Gülle: 10 %; Maissilage: 33 %, Grassilage: 35 %.
Quelle: Eigene Berechnung nach Kues (2009); KTBL (2009).

Im Gegensatz zur typischen Milchviehregion bestehen für den Mäster in der Veredlungsregion keine Optionen für betriebliche Anpassungen, weshalb für diese Region lediglich die Wettbewerbsfähigkeit des typischen Betriebes beschrieben wird.

3.4.2 Wettbewerbsfähigkeit relevanter Biogasanlagen in Veredelungsregionen

Da die Veredelungsbetriebe ihre Futtermittel zukaufen, konkurriert die Biogasproduktion in der Veredelungsregion nicht mit der Tierhaltung um Rohstoffe zur Fütterung. Aufgrund der hohen Nährstoffüberschüsse entsteht jedoch eine Konkurrenz um die Fläche zur Deponierung von Nährstoffen. Daher wird die Wettbewerbsfähigkeit der Biogaserzeugung gegenüber der Veredelung anhand der maximalen Zahlungsbereitschaft für Fläche anstatt für die Rohstoffe ermittelt.

Bevor jedoch die Wettbewerbsfähigkeit der Biogaserzeugung gegenüber der Veredelung analysiert werden kann, ist es erforderlich, die Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung in der Veredelungsregion zu ermitteln.

Im Unterschied zu der in Kapitel 3.2.2 analysierten 200 kW-Anlage ändern sich in der Veredelungsregion folgende Rahmenbedingungen:

– Aufgrund einer anderen Ertragsrelation zwischen Mais und Weizen (44 t Silomais zu 6,7 t Weizen anstatt 45 t Silomais zu 8 t Weizen) verändern sich die Rohstoffkosten.

– Wie zuvor gezeigt, reicht die Fläche des typischen Betriebes nicht aus, um die Nährstoffe aus der Schweinemast aufzunehmen. Wird der Betrieb um eine Biogasanlage erweitert, ist es daher erforderlich, den anfallenden Gärrest aus der Maissilage über die Nährstoffbörse zu entsorgen. Hierfür entstehen Kosten von 6 €/m³. Die Kosten für die Ausbringung des Gärrestes aus der Tierhaltung werden annahmegemäß der Tierhaltung angelastet.

– Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, ist die Trocknung von Gärresten in der Positivliste des EEG aufgeführt, d. h. diese Form der Wärmenutzung berechtigt den Anlagenbetreiber zum Bezug des KWK-Bonus in Höhe von 3 ct/kWh. Hinzu kommt, dass auf diese Weise die Menge der zu entsorgenden Gärreste reduziert wird und Erlöse für den getrockneten Gärrest erzielt werden können. Daher ist in Veredelungsregionen die Trocknung von Gärresten für die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasanlagen zu berücksichtigen.

Rohstoffkosten

In Tabelle 3.30 sind auf Basis der im vorherigen Abschnitt aufgezeigten Erträge die Kosten für Silomais in einer Veredelungsregion dargestellt. Aufgrund der Nährstoffüberschüsse wird in der Veredelungsregion angenommen, dass die Tierhaltung die Kosten der Gülleausbringung trägt und dem Ackerbau die Nährstoffe kostenfrei zur Verfügung stellt. Es ergibt sich ein Gleichgewichtspreis für Silomais frei Halm von 23 €/t. Die Ernte und Transportkosten für Silomais in Höhe von 6,7 €/t werden aus dem Tabelle A2 im Anhang übernommen.

Tabelle 3.30: Gleichgewichtspreis für Silomais in der Veredelungsregion

		Weizen	Mais (frei Halm)
Ertrag	t FM/ha	6,7	44
Preis	€/t FM	172	23,2
Stroherlös	€/ha	50	-
Leistung	€/ha	1.202	1.022
Saatgut	€/ha	87	177
Pflanzenschutz	€/ha	169	150
Dünger	€/ha	39	28
Arb. Erl. Kosten	€/ha	373	262
Gärrestausbringung	€/ha	-	-
Erntekosten	€/ha	130	-
Summe Kosten	€/ha	797	617
Gewinnbeitrag (Weizen)	€/ha	405	405

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010a); LWK Niedersachsen (2008a); Rump (2009); Kues (2009).

Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen

In Kapitel 3.2.1 wurde gezeigt, dass der Einsatz von Geflügelmist in einer Biogasanlage sehr rentabel ist. Allerdings exportiert der typische Veredelungsbetrieb bisher den Geflügelmist kostenfrei und kann somit seinen Nährstoffüberschuss kostengünstig reduzieren. Daher stellt sich die Frage, ob der Einsatz von Geflügelmist in Biogasanlagen in Veredelungsregionen trotz Nährstoffüberschüssen rentabel ist.

Zur Beantwortung dieser Frage wird eine Anlage, in der das gesamte Hähnchenmistaufkommen des typischen Veredelungsbetriebes vergoren wird, mit einer Anlage verglichen, in der lediglich Schweinegülle eingesetzt wird. Neben den Rohstoffkosten ändert sich dabei auch die Dimensionierung des Fermenters und des Gärrestlagers.

Die Wirtschaftlichkeit der beiden Anlagen ist in Tabelle 3.31 gegenübergestellt. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

– Aufgrund der höheren Gasausbeute von Hähnchenmist reduziert sich das erforderliche Volumen für Fermenter und Gärrestlager. Im Ergebnis sinken die Investitionen durch den Einsatz von Geflügelmist um etwa 100 €/kW.[14]

– Weiterhin werden aufgrund der höheren Gasausbeute von Hähnchenmist bei dessen Einsatz etwa 340 t weniger Silomais benötigt.

[14] Eine detaillierte Aufschlüsselung der Anlagendimensionierung und Investitionskosten finden sich in Tabelle A4 im Anhang.

Tabelle 3.31: Wirtschaftlichkeit einer 200 kW-Anlage mit und ohne Hähnchenmist in einer Veredelungsregion**.**

		Mit Hähnchenmist	Ohne Hähnchenmist
Leistung	kW	200	200
Gülleanteil	%	35	35
Investment	€/kW	4.900	5.000
Silomaisbedarf (10 % Lagerverlust)	t/a	3.461	3.802
Hähnchenmist	t/a	559	-
Schweinegülle	m³/a	1.305	2.047
Gärrest aus Wirtschaftsdüngern	m³/a	1.725	1.997
Gärrest aus Maissilage	m³/a	2.534	2.784
Arbeitszeitbedarf		1.284	1.338
Verkaufte Strommenge	kWh/a	1.584.000	1.584.000
Verkaufe Wärmemenge	kWh/a	450.000	450.000
Strompreis	€/kWh	0	0
Stromerlös	€/a	355.000	355.000
Wärmeerlös	€/a	9.000	9.000
Gesamterlös	**€/a**	**364.000**	**364.000**
Kosten Maissilage	€/a	88.000	97.000
Ernte- und Transportkosten Maissilage	€/a	26.000	28.000
Entsorgungskosten Gärrest aus Maissilage	€/a	15.000	17.000
Sonstige Direktkosten	€/a	3.000	3.000
Kapitalkosten	€/a	96.000	99.000
Sonstige Anlagenkosten	€/a	30.000	30.000
Lohnkosten	€/a	19.000	20.000
Sonstige Betriebskosten	€/a	22.000	22.000
Summe Kosten	**€/a**	**299.000**	**316.000**
Gewinn	**€/a**	**65.000**	**48.000**
Rendite	%	19	16
Maximale ZB Maissilage frei Anlage	€/t FM	46	41

Quelle: Eigene Berechnung.

- Die Erlösstruktur der beiden Anlagen unterscheidet sich nicht.
- Aufgrund des geringeren Maisbedarfes sinken die Rohstoffkosten jährlich um 12.000 € und die Ausbringungskosten für den Gärrest aus Maissilage um 1.500 €.
- Weiterhin sind die jährlichen Kapitalkosten der Anlage mit Hähnchenmist aufgrund des geringeren Investitionsvolumens 1.700 € niedriger.
- Die Anlage mit Hähnchenmist erzielt einen Unternehmergewinn von 65.000 € und eine Kapitalrentabilität von 19 %.

– Die Anlage mit Hähnchenmisteinsatz kann bis zu 46 €/t Silomais frei Anlage zahlen, während die maximale Zahlungsbereitschaft der Anlage ohne Hähnchenmist um 5 € geringer ist.
– Insgesamt steigt der Gewinn der Anlage durch den Einsatz von Hähnchenmist um 16.900 € (35 %) und die Rendite um 5 Prozentpunkte. Diese Kalkulation führt zu dem Schluss, dass es für den Betreiber einer solchen Anlage betriebswirtschaftlich nicht lukrativ wäre, den Hähnchenmist zu exportieren, solange der Preis nicht mindestens 30 €/t beträgt.

Wirtschaftlichkeit der Gärresttrocknung

Wie zuvor beschrieben, könnte insbesondere in Veredelungsregionen die Trocknung von Gärresten die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion verbessern. Da in der Praxis bisher überwiegend Bandtrockner[15] eingesetzt werden (EVESLAGE, 2009), wird im Folgenden analysiert, wie die Wirtschaftlichkeit der 200 kW-Biogasanlage mit Hähnchenmist durch die Erweiterung mit einem Bandtrockner verändert wird.

In dem Bandtrockner durchläuft der Gärrest auf gelochten Stahlplatten einen Trocknungskanal. Er wird in einer 10 bis 20 cm dünnen Schicht aufgetragen. Der Gärrest fällt in der Regel mit 6 bis 12 % TS-Gehalt an. Um ein tropffreies Material zu erzeugen, das auf den gelochten Stahlplatten liegen bleibt, muss der frische Gärrest mit einem Teil der schon getrockneten Gärreste rückgemischt werden. Die Trocknungsluft wird bei 90° C mittels Ventilatoren durch den Trockner geblasen, sodass das Material auf 80 % TS getrocknet wird.

Die Bandtrocknung verursacht Investitionen von 120.000 € für den Trockner und 50.000 € für notwendige Gebäude. Der Trockner arbeitet mit einer spezifischen Verdampfungsleistung von 1,17 kWh/kg verdampftes Wasser. Aufgrund der hohen Temperaturen entweichen während der Trocknung 80 % des Ammoniumstickstoffs in Form von Ammoniak und müssen aufgrund von Emissionsschutzvorgaben über einen Luftwäscher gefiltert werden. Die weiteren technischen und ökonomischen Parameter des Bandtrockners sind in Tabelle A7 im Anhang zusammengefasst.

Zunächst ist es erforderlich, die Trocknungsleistung des Bandtrockners zu ermitteln. Diese ist in Tabelle 3.32 dargestellt. Der Trockner kann aufgrund der geringen Trocknungsleistung insgesamt nur 1.560 m³ Gärrest trocknen, was einem Anteil von 37 % der gesam-

[15] Neben dem hier analysierten Bandtrockner bietet ein Hersteller ein Trocknungsverfahren an, das in der Lage sein soll, den gesamten Gärrest zu trocknen. Allerdings liegen hierzu noch keine Praxiserfahrungen vor (EVESLAGE, 2009: 49)

ten Gärrestmenge der analysierten 200 kW-Anlage entspricht. Dabei fallen 174 t getrockneter Gärrest mit einem TS-Gehalt von 80 % an.

Tabelle 3.32: Trocknungsleistung der Gärresttrocknung

Anfall Gärrest	4.259	m³
TS-Gehalt Gärrest	9	%
TS-Gehalt getrockneter Gärrest	80	%
Nutzbare Wärmemenge	1.625.420	kWh/a
Spezifische Verdampfungsleistung	1,17	kWh/kg
Zu verdampfende Wassermenge	1.389.248	l
Zu verdampfende Wassermenge je t Gärrest	889	kg/t
Zu trocknende Gärrestmenge	1.563	m³
Anfall getrockneter Gärrest	174	t FM
Verdampfte Wassermenge	1.389	l

Quelle: Eigene Berechnung nach Eveslage (2009); LWK Niedersachsen (2009).

In der Ausgangssituation konnte der Veredelungsbetrieb mit dem Export von transportwürdigem Hähnchenmist den Phosphatanfall reduzieren. Der nach der Vergärung von Hähnchenmist anfallende Gärrest hat aufgrund des geringeren TS-Gehaltes jedoch eine deutlich geringere Nährstoffkonzentration und ist somit weniger transportwürdig. Daher stellt sich die Frage, ob es durch die Trocknung des Gärrestes gelingt die gleiche Phosphatmenge in transportwürdiger Form zu exportieren wie zuvor mit dem Hähnchenmist.

Zur Beantwortung der Frage ist in Tabelle 3.33 der Phosphatexport mithilfe von getrocknetem Gärrest dem Phosphatexport des typischen Veredelungsbetriebes mithilfe von Hähnchenmist gegenübergestellt. Obwohl der Phosphatgehalt im getrockneten Gärrest mehr als 2,5-mal so hoch ist wie im Hähnchenmist, sinkt der Phosphatexport im Vergleich zur Ausgangssituation um mehr als 1.800 kg oder 20 %. Ursache hierfür ist die geringe Trocknungsleistung des Bandtrockners.

Tabelle 3.33: Vergleich Phosphatexport getrockneter Gärrest vs. Hähnchenmist

		Getrockneter Gärrest	Hähnchenmist
Anfall Frischmasse	t/a	174	560
P_2O_5-Gehalt	kg/t FM	42	16
P_2O_5-Export	kg P_2O_5	7.349	9.184

Quelle: Eigene Berechungen; LWK Niedersachsen (2009a).

Nachdem die Trocknungsleistung des Bandtrockners ermittelt wurde, kann im Folgenden analysiert werden, wie die Gärresttrocknung die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion beeinflusst.

Obwohl der Nährstoffwert des getrockneten Gärrestes etwa 100 €/t[16] beträgt, erzielen Anlagenbetreiber bisher lediglich Erlöse von etwa 30 €/t Gärrest (EVESLAGE, 2009: 37). Die geringen Erlöse decken sich mit den Erfahrungen aus der Abgabe von Hähnchenmist in Nährstoffüberschussregionen. Auch für Hähnchenmist liegt der Nährstoffwert über 40 €/t[17], dennoch erzielen abgegebene Betriebe keine Erlöse mit dem Hähnchenmist. Daher wird auch für die Kalkulation der Gärresttrocknung im Rahmen dieses Berichtes lediglich ein Erlös von 30 €/t getrocknetem Gärrest unterstellt.

Da die Gärresttrocknung eine alternative Form der Wärmenutzung darstellt, entstehen Opportunitätskosten, wenn ein bestehendes Wärmekonzept ersetzt bzw. nicht realisiert wird. Diese Kosten fallen umso höher aus, je mehr Wärme bisher genutzt wird. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, wird die Wirtschaftlichkeit der Gärresttrocknung für die zuvor kalkulierte 200 kW-Biogasanlage mit einer Wärmenutzung von 450 MWh (entspricht 28 % der verfügbaren Wärme) sowie für eine Biogasanlage ohne Wärmekonzept kalkuliert.

Aus Tabelle 3.34 lassen sich folgende Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit der Gärresttrocknung ableiten:

– Wird das bestehende Wärmekonzept der Biogasanlage berücksichtigt, verringert sich der Gewinn der Biogasanlage durch die Gärresttrocknung insgesamt um 4.900 € (-8 %) und die maximale Zahlungsbereitschaft für Silomais sinkt um 1 €/t (-2 %). Dieses Ergebnis deckt sich mit bisherigen Berechnungen, nach denen eine Biogasanlage bereits bei einer 50 %igen Abwärmenutzung ohne Wärmeerlös den gleichen Gewinn erzielt wie eine Biogasanlage mit Gärresttrocknung (EVESLAGE, 2009: 44).
– Sofern jedoch kein Wärmekonzept vorhanden ist, verbessert die Gärresttrocknung die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage erheblich. Der Gewinn steigt um 15.000 € (35 %) und die maximale Zahlungsbereitschaft für Silomais um 4 €/t (10 %).

[16] Nährstoffgehalt getrockneter Gärrest: N: 46 kg/t FM; P_2O_5: 42 kg/t FM; K_2O: 80 kg/t FM
Nährstoffpreise: N: 0,55 €/kg. P_2O_5 0,83 €/kg; K_2O: 0,56 €/kg.

[17] Nährstoffgehalt Hähnchenmist: N: 34 kg/t FM; P_2O_5: 16 kg/t FM; K_2O: 26 kg/t FM
Nährstoffpreise: N: 0,55 €/kg; P_2O_5: 0,83 €/kg; K_2O: 0,56 €/kg.

Tabelle: 3.34: Wirtschaftlichkeit der Gärresttrocknung

		Mit alternativem Wärmekonzept	Ohne alternatives Wärmekonzept
Leistung	kW	200	200
Gülleanteil	%	35	35
Veränderung Kosten durch Gärresttrocknung			
Kapitalkosten	€/a	25.000	25.000
Entsorgungskosten Gärrest	€/a	-9.000	-9.000
Stromkosten	€/a	4.000	4.000
Wartung	€/a	5.000	5.000
Schwefelsäure	€/a	4.000	4.000
Arbeit	€/a	2.000	2.000
Summe Veränderung Kosten	**€/a**	**30.000**	**30.000**
Veränderung Erlöse			
KWK-Bonus	€/kWh	0,018	0,025
KWK-Bonus	€/a	29.000	40.000
Erlös getrockneter Gärrest	€/a	52.000	5.000
Wärmeerlöse	€/a	-9.000	-
Summe Veränderung Erlöse	**€/a**	**25.000**	**45.000**
Veränderung Gewinn	**€/a**	**-5.000**	**15.000**
Veränderung maximale ZB Maissilage	€/t	-1	4

Quelle: Eigene Berechnung nach Eveslage (2009).

Somit besteht für Biogasanlagenbetreiber ohne Wärmekonzept ein deutlicher wirtschaftlicher Anreiz, in die Gärresttrocknung zu investieren, um ihre Gewinne und Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Aufgrund der geringen Trocknungsleistung wird dabei jedoch nur ein geringer Beitrag zur Verringerung der Nährstoffüberschüsse geleistet.

Wettbewerbsfähigkeit der Biogasanlagen gegenüber der Veredelung

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen in der Veredelungsregion wird zunächst davon ausgegangen, dass die Biogasanlagen ihren Gärrest über die Nährstoffbörse entsorgen und die Veredelungsbetriebe ihre Futtermittel zukaufen. Bei dieser Annahme kommt es zu keiner Flächenkonkurrenz zwischen der Veredelung und der Biogasproduktion. Allerdings sind Banken in der Regel nur dann bereit, Kredite für die Errichtung von Biogasanlagen zu vergeben, wenn zumindest 50 % der Rohstoffe durch langfristige Pachtverträge bzw. Eigenland gesichert sind (KUES, 2009). Hinzu kommt, dass der regionale Maismarkt bei einem vermehrten Zubau von Biogasanlagen vom Käufer- zum Verkäufermarkt werden dürfte. Als Folge würde sich der Marktpreis vom Gleichgewichtspreis abkoppeln. Folglich ist davon auszugehen, dass Biogasanlagenbetreiber versuchen werden, ihre Rohstoffe durch langfristige Pachtverträge zu sichern und es so doch zu einer Flächenkonkurrenz gegenüber Veredelungsbetrieben kommt.

Daher wird die Wettbewerbsfähigkeit der Biogaserzeugung gegenüber der Veredelung anhand der maximalen Zahlungsbereitschaft für Fläche ermittelt.

Die Hähnchenmast wird größtenteils gewerblich betrieben und hat somit keinen Flächenbedarf (KUES, 2009). Viele Schweinemastbetriebe werden hingegen landwirtschaftlich betrieben und benötigen Flächen zur Aktivierung von VE. Daher konkurriert in Veredelungsregionen insbesondere die Schweinemast mit der Biogasproduktion um die Fläche. Die maximale Zahlungsbereitschaft der Schweinemast für die Fläche setzt sich dabei aus folgenden Komponenten zusammen:

(1) Der Schweinemäster kann Gülle auf der Fläche ausbringen und spart somit Entsorgungskosten an der Nährstoffbörse. Bei einer Güllemenge von 26 m³/ha (vgl. Tabelle 3.26) und Entsorgungskosten von 6 €/m³, ergibt sich eine maximale Zahlungsbereitschaft von 156 €/ha, die unabhängig von der erzielbaren Grundrente für Fläche gezahlt werden kann.

(2) Die Schweinemast eines typischen Veredelungsbetriebes wird in der Regel landwirtschaftlich betrieben (KUES, 2009). Daher kann der Schweinemäster auch seinen steuerlichen Vorteil durch die landwirtschaftliche Schweinemast auf die Fläche umlegen. Bei einem 50 ha-Betrieb können maximal 7,8 VE/ha gehalten werden (vgl. Kapitel 3.4.1). Bei 2,7 Mastdurchgängen im Jahr fallen je Mastplatz 0,3 VE an, sodass der Mäster 26 Mastplätze/ha vorhalten kann. Der steuerliche Vorteil der Schweinemast gegenüber der Veredelung liegt bei etwa 7,7 €/Mastplatz (SPANDAU, 2008). Somit erhöht sich die maximale Zahlungsbereitschaft für die Fläche um weitere 200 €/ha.[18]

(3) Weiterhin kann der Mäster seinen Gewinnbeitrag aus dem Ackerbau an den Verpächter weitergeben. Somit ist die maximale Zahlungsbereitschaft für die Fläche beim Veredelungsbetrieb vom Getreidepreisniveau abhängig. Für das unterstellte Preisszenario von 172 €/t Weizen und einem Weizenertrag von 6,7 t/ha sowie einen Stroherlös von 50 €/ha[19] ergibt sich eine Zahlungsbereitschaft von 405 €/ha (vgl. Tabelle 3.30).

Insgesamt ergibt sich damit eine maximale Zahlungsbereitschaft von 760 €/ha. Obwohl der Getreidepreis derzeit deutlich unterhalb von 170 €/t Weizen liegt, werden in der Re-

[18] Sofern Betrieben lediglich 1 ha für die Pauschalierung fehlt, werden diese im Grenzfall bereit sein, den gesamten Pauschalierungsvorteil auf die fehlende Fläche umzulegen. Folglich ergeben sich im Grenzfall auch deutlich höhere Zahlungsbereitschaften für Flächen. Im Rahmen dieses Berichts steht jedoch die langfristige Tendenz im Vordergrund, weshalb von der durchschnittlichen Zahlungsbereitschaft ausgegangen wird.

[19] Aufgrund der Nährstoffüberschüsse sind die Betriebe bestrebt, das Stroh zu verkaufen. Daraus resultieren geringe Strohpreise. Weiterhin trägt der Abnehmer die Kosten für das Pressen.

gion jedoch bereits Pachtpreise von 750 bis 800 €/ha gezahlt. Ursache hierfür ist, dass die Pächter auch die Prämien an den Verpächter durchreichen. Weiterhin existieren im Kreis Cloppenburg bereits 110 Biogasanlagen, die bereits untereinander um die Fläche konkurrieren (KUES, 2009).

Für die Biogasanlage setzt sich die maximale Zahlungsbereitschaft für die Fläche aus folgenden Komponenten zusammen:

(1) Der Anlagenbetreiber der 200 kW-Anlage mit Hähnchenmist kann maximal 46 €/t Silomais frei Anlage bzw. 39,3 € frei Halm zahlen (vgl. Tabelle 3.31). Bei einem Maisertrag von 44 t/ha und Verfahrenskosten für den Silomais von 617 €/ha ergibt sich hieraus eine maximale Zahlungsbereitschaft von 1.100 €/ha.

(2) Weiterhin kann auch die Biogasanlage Gärrest auf der Fläche ausbringen und Entsorgungskosten für Gärrest einsparen. Bei einer Gärrestmenge von 25 m³/ha und Entsorgungskosten von 6 €/m³ erhöht sich die maximale Zahlungsbereitschaft für Fläche um 150 €/ha.

(3) Sofern die Fläche für den Maisanbau von Landwirten gepachtet wird, die neben der Biogasanlage auch einen Schweinemaststall betrieben, können diese Landwirte ebenfalls den steuerlichen Pauschalierungsvorteil um etwa 200 €/ha an den Verpächter weiterreichen.

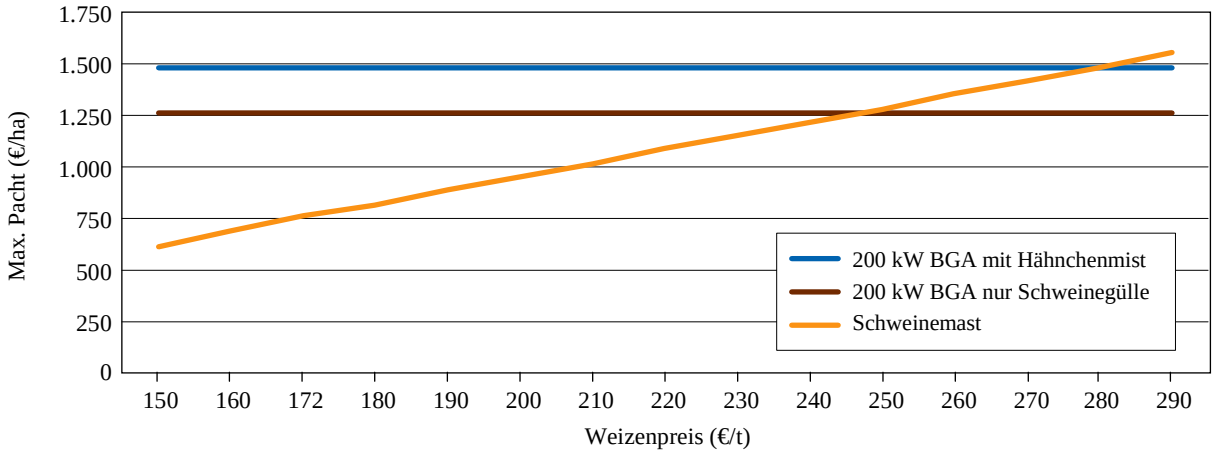
In Abbildung 3.13 werden die vorherigen Ausführungen zur maximalen Zahlungsbereitschaft der Biogasproduktion sowie der Schweinemast für Fläche zusammengefasst und die maximale Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit vom Weizenpreisniveau dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ableiten:

– In der Schweinemast erhöht sich die maximale Zahlungsbereitschaft für Fläche mit zunehmendem Weizenpreis.

– Damit die Schweinemast den gleichen Pachtpreis wie die Biogasanlage ohne Hähnchenmist aufbringen kann, müsste der Getreidepreis auf etwa 250 €/t steigen.

– Damit die Schweinemast am Pachtmarkt gegenüber der 200 kW-Anlage mit Hähnchenmist wettbewerbsfähig ist, müsste der Weizenpreis auf 280 €/t ansteigen.

Abbildung 3.13: Vergleich maximale Zahlungsbereitschaft für Fläche Biogasproduktion vs. Schweinemast in einer Veredelungsregion



Quelle: Eigene Berechnungen.

Als Fazit zur Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Veredelungsregionen sind folgende Schlussfolgerungen festzuhalten:

(1) Die Biogasproduktion ist in Veredelungsregionen trotz der Nährstoffüberschüsse sehr wirtschaftlich und erzielt eine Kapitalrentabilität von über 15 %.

(2) Es besteht ein erheblicher Anreiz, Hähnchenmist in Biogasanlagen vor Ort zu verwerten anstatt ihn, wie bisher, zu exportieren. Damit ein Hähnchenmäster mit Biogasanlage künftig bereit sein wird, Hähnchenmist zu exportieren, müssten ihm etwa 30 €/t Hähnchenmist gezahlt werden. Sollte das Agrarpreisniveau, wie derzeit zu beobachten, etwa 30 % niedriger sein, reduziert sich der für Hähnchenmist verlangte Mindestpreis auf 25 €/t.

(3) Die Trocknung von Gärresten ist selbst in Veredelungsregionen wirtschaftlich nur für Anlagen interessant, die über kein alternatives Wärmekonzept verfügen. Dabei kann die Gärresttrocknung aufgrund der geringen Trocknungsleistung nur einen geringen Beitrag zum Nährstoffexport leisten.

(4) Somit wird sich aufgrund der Biogasproduktion der regionale Nährstoffüberschuss in der Veredelungsregion weiter erhöhen.

(5) Biogasanlagen sind gegenüber der Schweinemast am Pachtmarkt sehr wettbewerbsfähig. Da die Biogasanlagen auch untereinander um den knappen Faktor Fläche konkurrieren, ist von steigenden Pachtpreisen auszugehen. Dabei kann ein Schweinemäster erst ab Weizenpreisen von 250 €/t die gleiche durchschnittliche Pacht wie Biogasanlagen aufbringen.

(6) Somit ist zu erwarten, dass aufgrund steigender Pachtpreise und eines erhöhten Nährstoffanfalls in der Region die Schweinemast künftig vermehrt gewerblich betrieben wird und es zu geringeren Einkommen der Schweinemastbetriebe ohne Biogasanlage kommt.

3.5 Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Ackerbauregionen

Wie in Kapitel 3.2.1 dargelegt, wurde als typische Ackerbauregion der Landkreis Hildesheim ausgewählt.

In Kapitel 3.5.1 werden zunächst die Betriebsstruktur und die Ertragsrelationen eines typischen Ackerbaubetriebes beschrieben, da sie die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion in einer Ackerbauregion bestimmen.

Bereits in Kapitel 3.2.1 wurde das Wirtschaftsdüngeraufkommen in der Ackerbauregion als gering eingestuft. Daher werden in Kapitel 3.5.2 Strategien analysiert, mit denen in der Ackerbauregion eine Biogasanlage mit Wirtschaftsdünger versorgt werden kann.

In Kapitel 3.5.3 wird abschließend analysiert, wie sich die unterschiedlichen Strategien auf die Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit der Biogasproduktion in einer Ackerbauregion auswirken.

3.5.1 Beschreibung des typischen Ackerbaubetriebes

Als typischer Ackerbaubetrieb für den Landkreis Hildesheim wird ein 120 ha-Betrieb in der Hildesheimer Börde ausgewählt. Die Fruchtfolge des Betriebes besteht zu zwei Drittel aus Getreide und zu einem Drittel aus Blattfrucht. Die Flächenumfänge, Erträge[20] sowie die Düngung des Betriebes sind in Tabelle 3.35 dargestellt. Als Blattfrucht baut der Betrieb 40 ha Zuckerrüben an und erreicht einen Ertrag von 65 t/ha. Als Getreide werden ausschließlich 80 ha Weizen mit einem Ertrag von 9,2 t/ha angebaut.[21] Der Weizenertrag weicht deutlich von den in der Agrarstatistik ausgewiesenen Werten ab, weil in dieser auch die Grenzstandorte in den Randbereichen des Harzes für den Landkreis Hildesheim erfasst werden und der Durchschnittsertrag somit sinkt. Im Kerngebiet der Hildeseheimer Börde werden jedoch wesentlich höhere Erträge erzielt.

Obwohl der typische Ackerbaubetrieb in der Hildesheimer Börde derzeit keinen Silomais anbaut, ist in Tabelle 3.36 ebenfalls der erzielbare Silomaisertrag ausgewiesen. Dieser Wert wird benötigt, um im weiteren Verlauf des Kapitels die Kosten für Silomais zu ermitteln und die Rentabilität der Biogasproduktion berechnen zu können.

---

[20] Die Erträge des typischen Ackerbaubetriebes wurden mit Cordt Brennecke, Landwirtschaftlicher Beratungsring Hildesheim-Innerstetal, abgestimmt.

[21] In der Praxis zeigen sich deutliche Ertragsunterschiede zwischen Rüben- und Stoppelweizen. Aus Gründen der Vereinfachung wird im Rahmen dieses Berichtes nur mit dem Ertrag von Rübenweizen gerechnet.

Tabelle 3.35: Erträge und Anbaustruktur eines typischen Ackerbaubetriebes in der Hildesheimer Börde

		Zuckerrüben	Weizen	Silomais
Fläche	ha	47	93	-
TS-Gehalt	%	23	86	33
FM Ertrag	t/ha	65	9	55
Gülledüngung	m³/ha	-	-	-
Mineralische Düngung				
N	kg/ha	117	222	237
P_2O_5	kg/ha	65	74	99
K_2O	kg/ha	163	55	281

Quelle: Eigene Berechnung nach LWK Niedersachsen (2008a).

Da nicht nur Weizen, sondern auch Zuckerrüben angebaut werden, stellt sich zunächst die Frage, welche Kultur zur Berechnung der Flächennutzungskosten für Silomais heranzuziehen ist. Zur Beantwortung sind in Tabelle 3.36 die Deckungsbeiträge des Ackerbaubetriebes für Zuckerrüben und Weizen dargestellt. Für Weizen wird dabei das im Rahmen dieses Berichtes unterstellte Weizenpreisniveau von 172 €/t angenommen (vgl. Kapitel 3.2.2). Für Zuckerrüben wird der durchschnittliche Rübenpreis von Nordzucker aus der Kampagne 2009/10 unterstellt. Es zeigt sich, dass der Deckungsbeitrag der Zuckerrübe trotz des hohen Weizenpreises dem Weizenanbau um mehr als 400 €/ha überlegen ist. Daraus ist zu folgern, dass der Betriebsleiter den Anbau von Zuckerrüben beibehält und lediglich auf seinen Weizenflächen Silomais anbauen wird. Sollte die vorhandene Fläche nicht ausreichen, wird er es vorziehen, Silomais von anderen Betrieben zuzukaufen.

Tabelle 3.36: Deckungsbeiträge des typischen Ackerbaubetriebes

Frucht		Zuckerrüben	Weizen
Ertrag	t/ha	65	9
Preis[1)]	€/t	36	172
Erlös	€/ha	2.330	1.582
Saatgut	€/ha	180	87
Pflanzenschutz	€/ha	230	169
Dünger	€/ha	209	214
Variable Maschinenkosten	€/ha	142	173
Ernte	€/ha	285	130
Summe variable Kosten	€/ha	1.046	773
Deckungsbeitrag	€/ha	1.284	810

1) Annahme Zuckerrüben: durchschnittlicher Rübenpreis incl. Zuschläge Nordzucker Kampagne 2009/10.

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010c); Nordzucker (2010); LWK Niedersachsen (2008a).

Weiterhin ist zu klären, ob der Betrieb mit der vorhandenen Fläche die in Kapitel 3.2.2 als vorzüglich ausgewiesene 200 kW-Biogasanlage betreiben kann. Zur Beantwortung

dieser Frage ist in Tabelle 3.37 die zu installierende elektrische Leistung dargestellt, wenn der Betrieb auf seiner Weizenfläche Silomais anbaut. Es zeigt sich, dass der Betrieb bereits mit der vorhandenen Fläche eine 200 kW-Biogasanlage betreiben kann und nicht auf den Zukauf von Silomais angewiesen ist. Da jedoch keine Gülle auf dem Betrieb anfällt, muss er Wirtschaftsdünger importieren, um den Güllebonus zu realisieren (vgl. Kapitel 2.1.1). Welche Strategien dem Betrieb hierfür zur Verfügung stehen, wird im nächsten Abschnitt analysiert.

Tabelle 3.37: Potenzielle elektrische Leistung des typischen Ackerbaubetriebes

Pflanzliche Rohstoffe	Fläche	Ertrag	Silomais-anfall	Strom-ertrag	Erzielbare Leistung
	ha	t FM/ha	t FM/a	kWh/t	kW
Maissilage	93	55	4.620	357	206
Kein Wirtschaftsdüngeranfall					**0**
Zu installierende elektrische Leistung					**206**

Annahmen:
8.000 Volllaststunden, 36,5 % el. Wirkungsgrad, 10 % Silierverlust, TS-Gehalte: Gülle: 10 %; Maissilage: 33 %, Grassilage: 35 %.
Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009).

3.5.2 Strategien für den Wirtschaftsdüngerimport

Da der typische Ackerbaubetrieb nicht über eigenen Wirtschaftsdünger verfügt, werden im Folgenden Strategien beschrieben, um eine 200 kW-Biogasanlage mit 35 % Wirtschaftsdünger zu versorgen und auf diese Weise den Güllebonus zu erzielen.

(1) Gülleimport von benachbarten Betrieben

Sofern in der Region Gülle verfügbar ist, wird der Betrieb versuchen, diese von benachbarten Betrieben zu importieren. Daher wird im nächsten Kapitel zunächst eine 200 kW-Anlage kalkuliert, die Schweinegülle aus einem 5 km-Radius bezieht. Hierfür fallen lediglich Transportkosten in Höhe von 3 €/m³ an (vgl. Abbildung 3.4). Da Gülle in der Region knapp ist, trägt die Biogasanlage die Ausbringungskosten für die Gärreste aus der Schweinegülle. Sollten künftig jedoch vermehrt Biogasanlagen mit Güllevergärung in Ackerbauregionen gebaut werden, wird sich dort das Gülleangebot verknappen (vgl. Kapitel 3.2.1). Dabei wird sich bereits vorher ein regionaler Markt für Gülle entwickeln. Unter der Voraussetzung, dass nicht zusätzliche Tierhaltungsanlagen in der Region entstehen, wird sich der Güllepreis mit zunehmender Verknappung an den Transportkosten von Gülle aus den Überschussgebieten orientieren. Grund hierfür ist, dass die Anbieter von Gülle die Knappheit von Gülle realisieren und versuchen, ihren Erlös zu maximieren.

Daher wird als nächste Strategie der Import von Schweinegülle aus einer Veredelungsregion betrachtet.

(2) Import von Schweinegülle aus Veredelungsregionen

Hierfür wird angenommen, dass die Gülle für eine 200 kW-Anlage über 160 km aus dem Landkreis Vechta per Lkw in die Hildesheimer Börde transportiert wird. Für die Berechnung der Transportkosten wird ein Lkw-Transport mit einem 27 m³-Gülleanhänger unterstellt. Bei einer durchschnittlichen Transportgeschwindigkeit von 50 km/h sowie einer Befüll- und Endladezeit von 30 Minuten dauert eine Fahrt 6,5 Stunden. Bei Kosten von 70 €/h für den Lkw (LAURENZ, 2009) kostet der Import von Schweinegülle aus einer Veredelungsregion somit 18 €/m³. Anders als in der Veredelungsregion kann in der Ackerbauregion weiterhin der Düngewert für den Gärrest aus der Schweinegülle berücksichtigt werden. Allerdings muss die Biogasanlage die Kosten für die Ausbringung des Gärrestes aus der Schweinegülle tragen.

(3) Import von Hähnchenmist

In Kapitel 3.2.1 wurde beschrieben, dass Hähnchenmist als Substrat in der Biogasproduktion sehr rentabel ist, aber aufgrund der Ammoniakbelastung nicht mehr als 20 % Hähnchenmist am Gesamtinput eingesetzt werden können. Somit könnte der typische Ackerbaubetrieb 20 % des Substratinputs über Hähnchenmist decken. Allerdings wurde in Kapitel 3.4.2 gezeigt, dass Veredelungsbetriebe künftig nur bereit sein werden, ihren Hähnchenmist abzugeben, wenn sie hierfür mindestens einen Erlös von 30 €/t erzielen. Somit stellt sich die Frage, ob ein anteiliger Import von Hähnchenmist selbst bei Preisen von 30 €/t die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion in der Ackerbauregion verbessert. Zur Beantwortung der Frage wird im nächsten Kapitel ebenfalls eine 200 kW-Biogasanlage kalkuliert, die 50 % ihres Wirtschaftsdüngerbedarfs über den Import von Schweinegülle und 50 % über den Import von Hähnchenmist deckt. Für die Kalkulation werden ein Mindesterlös von 30 €/t Hähnchenmist für den Veredelungsbetrieb sowie Transportkosten von 18 €/t Wirtschaftsdünger berücksichtigt.

(4) Kombination von Schweinemast mit Biogas

Durch die Kombination einer Biogasanlage mit einem Schweinemaststall würden keine Transportkosten mehr für Wirtschaftsdünger anfallen, sodass auf diese Weise die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion erhöht werden könnte. Um eine 200 kW-Biogasanlage mit ausreichend Gülle für den Güllebonus zu versorgen, werden 1.400 Schweinemastplätze benötigt (vgl. Tabelle 3.5). Obwohl bereits ohne die Verwertung von Gülle in einer Biogasanlage der Standortvorteil für Schweinemastbetriebe in Ackerbauregionen bei etwa 12,75 €/Mastplatz liegt, ist bisher nur eine geringe Ausdehnung der Schweinemast in Ackerbauregionen zu beobachten (SPANDAU, 2008: 19). Daher ist zu untersuchen, ob der zusätzliche Anreiz aus der Synergie zwischen der Biogasproduktion und der Schweinemast künftig zu mehr Schweinemastanlagen in Ackerbauregionen führt.

Hierfür wird im nächsten Abschnitt eine 200 kW-Biogasanlage in unmittelbarer Nähe einer Schweinemastanlage kalkuliert, sodass keine Transportkosten für Gülle anfallen.

(5) Kombination von Hähnchenmast mit Biogas

Weiterhin könnte der Unternehmer in der Ackerbauregion die Biogasanlage auch mit einem Hähnchenmaststall anstatt mit einem Schweinemaststall kombinieren. Daher wird im Folgenden außerdem eine 200 kW-Biogasanlage in Kombination mit 80.000 Hähnchenmastplätzen berechnet. Aufgrund der Einsatzbeschränkungen von Hähnchenmist ist jedoch zu berücksichtigen, dass weiterhin Schweinegülle importiert werden muss.

Die genannten Strategien führen zu unterschiedlichen Werten für den Bedarf einzelner Wirtschaftsdünger und ihren Importkosten. Weiterhin unterscheiden sich die Ausbringungskosten von Gärresten aus Wirtschaftsdünger sowie die Nährstoffwerte zwischen den unterschiedlichen Strategien. In Tabelle 3.38 sind diese Annahmen zusammengefasst. Folgende wesentlichen Unterschiede zwischen den Strategien sind festzuhalten:

- Bei der Nutzung des regionalen Gülleaufkommens entstehen lediglich Transportkosten von 3 €/m³. Allerdings kann kein Nährstoffwert für die Schweinegülle berücksichtigt werden, da der Schweinemastbetrieb in der Ackerbauregion die Nährstoffe über den Gärrest zurückbekommt.
- Der Import von Schweinegülle kostet 18 €/m³, wobei der Nährstoffwert der Schweinegülle in der Biogasanlage berücksichtigt werden kann.
- Der Import von Hähnchenmist kostet 48 €/t, da neben den Transportkosten für den Hähnchenmist dem abgebendem Betrieb noch ein Anreiz von mindestens 30 €/t gezahlt werden muss. Allerdings verbleiben die Nährstoffe aus dem Hähnchenmist in der Ackerbauregion, sodass ein Nährstoffwert von 26 €/t berücksichtigt werden kann. Für den Schweinegülleimport fallen lediglich Transportkosten von 18 €/m³ an. Da auch hier die Nährstoffe in der Ackerbauregion verbleiben, kann ein Nährstoffwert in Höhe von 6,3 €/m³ Schweinegülle berücksichtigt werden.
- Wird die Biogasanlage mit einer Schweinemastanlage kombiniert, fallen keine Importkosten für Gülle an. Allerdings kann in der Biogasanlage auch kein Nährstoffwert für Schweinegülle berücksichtigt werden, da dieser verursachergerecht der Schweinemast zuzuschreiben ist.
- Wird die Biogasanlage stattdessen mit 80.000 Hähnchenmastplätzen kombiniert, müssen weiterhin 1.300 m³ Schweinegülle für 18 €/m³ importiert werden. Während für die importierte Schweinegülle wiederum ein Nährstoffwert in Höhe von 6,3 €/m³ berücksichtigt werden kann, ist der Nährstoffwert des Hähnchenmistes verursachergerecht der Hähnchenmast zuzuordnen.

Tabelle 3.38: Kennzahlen zur Wirtschaftsdüngerbeschaffung in der Ackerbauregion

		Nutzung regionales Gülleaufkommen	Import		Kombination mit	
			Schweinegülle	Hähnchenmist und Schweinegülle	Schweinemast	Hähnchenmast
Anteil Wirtschaftsdünger	%	35	35	35	35	35
Anteil Hähnchenmist	%	-	-	18	-	11
Benötigte Menge Silomais[1)]	t/a	4.182	4.182	3.593	4.182	3.807
Benötigte Menge Schweinegülle	m³/a	2.047	2.047	879	2.047	1.305
Benötigte Menge Hähnchenmist	t/a	-	-	879	0	559
Importkosten Schweinegülle	€/m³	3	18	18	-	18
Importkosten Hähnchenmist	€/t	-	-	48	-	-
Gärrest aus Silomais	m³/a	2.784	2.784	2.392	2.784	2.534
Gärrest aus Schweinegülle	m³/a	1.997	1.997	858	1.997	1.273
Gärrest aus Hähnchenmist	m³/a	-	-	711	-	452
Kosten hofnahe Gärrestausbringung Schweinegülle	€/m³	3	3,0	3,0	-	3,0
Kosten hofnahe Gärrestausbringung Hähnchenmist	€/m³	-	-	3,0	-	-
Berücksichtigung Nährstoffwert Schweinegülle[2)]	€/m³	-	6,3	6,3	-	6,3
Berücksichtigung Nährstoffwert Hähnchenmist[2)]	€/m³	-	-	26,4	-	-

1) 10 % Silierverlust.

2) Annahmen: N: 0,55 €/kg; P2O5: 0,83 €/kg; K2O: 0,56 €/kg, 50 % des N-Gehaltes und 70 % des K2O-Gehaltes für den Nährstoffwert berücksichtigt.

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2009); Laurenz (2009).

3.5.3 Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit relevanter Biogasanlagen in der Ackerbauregion

Nachdem unterschiedliche Strategien für den Wirtschaftsdüngerimport in Ackerbauregionen aufgezeigt wurden, wird in diesem Kapitel analysiert, wie sich die Strategien auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion in Ackerbauregionen auswirken.

Bevor die Rentabilität der Biogasproduktion in einer Ackerbauregion berechnet werden kann, ist es jedoch erforderlich, die Rohstoffkosten in der Ackerbauregion zu ermitteln. In Kapitel 3.5.1 wurde gezeigt, dass Silomais für die Biogasproduktion in typischen Ackerbaubetrieben in der Regel auf bisherigen Weizenflächen angebaut wird. Daher wird der entgangene Gewinnbeitrag aus dem Weizenanbau als Nutzungskosten für die Fläche angesetzt. In Tabelle 3.39 ist die Berechnung der Kosten für Silomais anhand der in Kapitel 3.5.1 dargestellten Erträge für die Region Hildesheimer Börde dargestellt. Die Düngekosten beim Maisanbau sind mit 39 €/ha im Vergleich zum Weizenanbau mit 214 €/ha deutlich geringer. Die Ursache dafür ist, dass zu Silomais lediglich eine Unterfußdüngung von 100 kg 20/20--Dünger gegeben wird, die restlichen Nährstoffe aber über den Gärrest zurückgeführt werden. Für den Gärrest wird ein Stickstoffverlust von 30 % während der

Lagerung und Ausbringung angenommen. Bei einem Weizenpreis von 172 €/t ergibt sich ein Gleichgewichtspreis für Mais von 23 €/t frei Halm. Die Kosten für die Ernte und den Transport des Silomais in Höhe von 6,7 €/t sowie der Gärrestausbringung in Höhe von 3 €/m³ werden in der Biogasanlage berücksichtigt (vgl. Tabelle A2 im Anhang).

Tabelle 3.39: Gleichgewichtspreis für Silomais in der Ackerbauregion

		Weizen	Mais (frei Halm)
Ertrag	t FM/ha	9,2	55
Preis	€/t FM	172	23
Leistung	€/ha	1.582	1.245
Saatgut	€/ha	87	177
Pflanzenschutz	€/ha	169	150
Dünger	€/ha	214	39
Arb. Erl. Kosten	€/ha	373	270
Gärrestausbringung	€/ha	-	-
Erntekosten	€/ha	130	-
Summe Kosten	€/ha	973	636
Gewinnbeitrag (Weizen)	€/ha	610 →	610

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010); LWK Niedersachsen (2008a).

Nachdem die Rohstoffkosten für die Ackerbauregion ermittelt wurden, ist in Tabelle 3.40 die Wirtschaftlichkeit für unterschiedliche Strategien der Wirtschaftsdüngerbeschaffung vergleichend gegenübergestellt. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

– Solange Gülle in der Region verfügbar ist, erzielt die Biogasanlage einen Gewinn von 47.000 € und eine Kapitalrentabilität von 15 %. Der Anlagenbetreiber kann in diesem Szenario bis zu 40 €/t Silomais frei Anlage (33,7 €/t frei Halm) zahlen, was einem Weizenpreis von 227 €/t entspricht.

– Wenn bei einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion in der Ackerbauregion das regionale Gülleaufkommen verbraucht ist und ein Import aus der Veredelungsregion Vechta notwendig wird, sinkt der Gewinn der Anlage um 24.000 €. Ursache ist, dass die Transportkosten für Schweingülle jährlich um 31.000 € ansteigen. Allerdings kann ein Nährstoffwert für Schweinegülle in Höhe von 13.000 € berücksichtigt werden. Insgesamt ist die Anlage mit einem Gewinn von 29.000 € und einer Kapitalrentabilität von 12 % selbst in einem solchen Szenario noch wirtschaftlich zu betreiben. Für Silomais können bis zu 36 €/t frei Anlage (29,3 €/t frei Halm) aufgebracht werden, was einem Gleichgewichtspreis für Weizen von 213 €/t entspricht.

– Der Import von Hähnchenmist und Schweinegülle ist trotz der hohen Kosten für den Hähnchenmist wirtschaftlicher als der Import von Schweinegülle. Der Gewinn steigt auf 50.000 € (+ 72 %) und die Kapitalrentabilität auf 16 % (+ 4 Prozentpunkte). Auf-

grund der höheren Gasausbeute aus Hähnchenmist wird weniger Volumen für den Fermenter und das Gärrestlager benötigt. Daher sinken die spezifischen Investitionen und die Kapitalkosten um 4 %. Die Gesamtkosten sind nur 5.000 € geringer als beim alleinigen Import von Schweinegülle. Allerdings steigen die Erlöse aufgrund des hohen Nährstoffwertes von Hähnchenmist um 15.000 €. Selbst im Vergleich zur Verwertung des regionalen Gülleaufkommens verbessert sich der Gewinn durch den Import von Hähnchenmist um 3.000 € (+ 6 %). Dies gilt jedoch nur für ein hohes Agrarpreisniveau. Sollte der Maispreis, wie derzeit zu beobachten, etwa 30 % niedriger sein, wird mit der Verwertung des regionalen Gülleaufkommens etwa der gleiche Gewinn wie mit dem Import von Hähnchenmist erwirtschaftet.

– Bei einer Kombination der Biogasanlage mit einem Schweinemaststall wird das wirtschaftlich beste Ergebnis erzielt. Es wird ein Gewinn von 64.000 € und eine Kapitalrentabilität von 19 % erreicht. Die maximale Zahlungsbereitschaft für Silomais beträgt 44 €/t frei Anlage (37,3 €/t frei Halm), was einem Gleichgewichtspreis für Weizen von 261 €/t entspricht. Der Grund ist, dass keine Transportkosten mehr für den Wirtschaftsdünger anfallen und die Ausbringung der Gärreste verursachergemäß der Schweinemast zugeordnet werden. Weiterhin wird das Gärrestlager für Schweinegülle als Güllelager genutzt, sodass die Kosten verursachergerecht der Schweinemast zuzuordnen sind. Daher reduzieren sich die Investitionen und Kapitalkosten ebenfalls um 4 % im Vergleich zum Gülleimport. Insgesamt sind die Kosten 11.000 € geringer als bei der Nutzung der Gülle von benachbarten Betrieben.

– Bei der Kombination der Biogasanlage mit einem 80.000er-Hähnchenmaststall kann nicht der gesamte Wirtschaftsdüngerbedarf durch Hähnchenmist gedeckt werden. Daher muss weiterhin Schweinegülle importiert werden, weshalb die Kosten im Vergleich zur Kombination mit einem Schweinemaststall um 16.000 € ansteigen. Da jedoch der Nährstoffwert der importierten Schweinegülle in Höhe von 8.000 € berücksichtigt werden kann, sinkt der Gewinn im Vergleich zur Kombination mit einem Schweinemaststall lediglich um 8.000 € auf 56.000 €. Aufgrund des Einsatzes von Hähnchenmist reduziert sich der Maisbedarf der Anlage, sodass die maximale Zahlungsbereitschaft mit 44 €/t frei Anlage (37,3 €/t frei Halm entspricht 260 €/t Weizen) genauso hoch ist wie bei der Kombination der Biogasanlage mit einem Schweinemaststall.

Tabelle 3.40: Wirtschaftlichkeit einer 200 kW-Biogasanlage in der Ackerbauregion bei unterschiedlichen Strategien zur Beschaffung von Wirtschaftsdünger

		Nutzung regionales Gülleaufkommen	Import		Kombination mit	
			Schweinegülle	Hähnchenmist und Schweinegülle	Schweinemast	Hähnchenmast
Investment	€/kW	5.000	5.000	4.800	4.800	4.900
Silomaisbedarf (10% Lagerverlust)	t/a	4.182	4.182	3.593	4.182	3.807
Strompreis	€/kWh	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Stromerlös	€/a	355.000	355.000	355.000	355.000	355.000
Wärmeerlös	€/a	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000
Nährstoffwert Schweinegülle	€/a	-	13.000	6.000	-	8.000
Nährstoffwert Hähnchenmist	€/a	-	-	23.000	-	-
Gesamterlös	**€/a**	**364.000**	**377.000**	**392.000**	**364.000**	**372.000**
Kosten Maissilage	€/a	94.000	94.000	81.000	94.000	86.000
Ernte- und Transportkosten Maissilage	€/a	28.000	28.000	24.000	28.000	26.000
Kosten Schweinegülle	€/a	6.000	37.000	16.000	-	23.000
Kosten Hähnchenmist	€/a	-	-	42.000	-	-
Kosten Gärrestausbringung	€/a	14.000	14.000	12.000	8.000	11.000
Sonstige Direktkosten	€/a	3.000	3.000	2.000	3.000	3.000
Kapitalkosten	€/a	99.000	99.000	95.000	95.000	96.000
Sonstige Anlagenkosten	€/a	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Lohnkosten	€/a	20.000	20.000	19.000	20.000	19.000
Sonstige Betriebskosten	€/a	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Summe Kosten	€/a	317.000	347.000	342.000	300.000	316.000
Gewinn	**€/a**	**47.000**	**29.000**	**50.000**	**64.000**	**56.000**
Rendite	%	15	12	16	19	17
Maximale ZB Maissilage frei Anlage	€/t	40	36	43	44	44
Entspricht Weizenpreis	€/t	227	203	243	250	246

Quelle: Eigene Berechnung.

Wie in Kapitel 3.5.1 beschrieben, konkurriert die Biogasproduktion in der Ackerbauregion in der Regel mit dem Weizenanbau um die Fläche. Die Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsverfahren am Pachtmarkt wird dabei durch die Grundrente bestimmt. Die Grundrente[22] gibt an, welcher Betrag nach Abzug der Kosten für Kapital und Arbeit noch für die Entlohnung des knappen Faktors Boden zur Verfügung steht. In Abbildung 3.14 sind die Grundrenten der Biogasproduktion für die genannten Strategien zur Wirtschaftsdüngerbeschaffung gegenüber dem Weizenanbau dargestellt. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

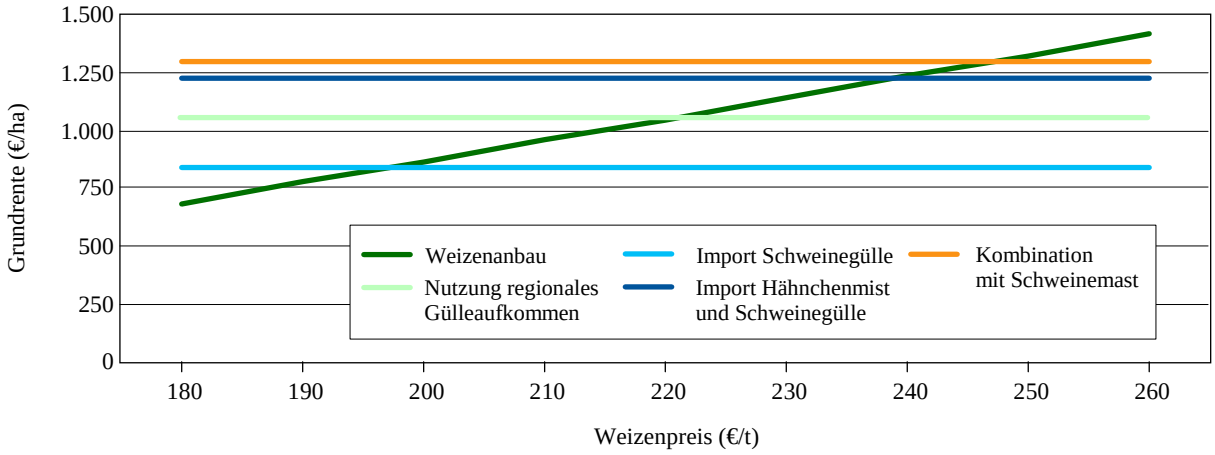
[22] Die hier ausgewiesene Grundrente überschätzt die tatsächliche Grundrente leicht, da allgemeine Overheadkosten, wie Beiträge zur Berufsgenossenschaft, nicht berücksichtigt sind.

– Solange das regionale Gülleaufkommen genutzt werden kann, erzielt die Biogasproduktion eine Grundrente von 1.060 €/ha. Um durch den Anbau von Weizen die gleiche Grundrente zu erwirtschaften, müsste der Weizenpreis 220 €/ha betragen.

– Die geringste Grundrente mit 900 €/ha wird beim Import von Schweinegülle aus der Veredelungsregion erzielt. Mit dem Weizenanbau wird die gleiche Grundrente erst ab Weizenpreisen von 200 €/t erreicht. Allerdings stehen den Anlagenbetreibern Strategien zu Versorgung der Biogasanlage mit Wirtschaftsdünger zur Verfügung, die höhere Grundrenten erwirtschaften.

– Die höchste Grundrente wird mit 1.350 €/ha durch die Kombination einer Biogasanlage mit einem Schweinemaststall erreicht. Damit durch den Weizenanbau die gleiche Grundrente erwirtschaftet wird, muss ein Weizenpreis von 255 €/t erzielt werden.

Abbildung 3.14: Vergleich Grundrente Weizen vs. Biogas in der Ackerbauregion



Quelle: Eigene Berechnungen.

Mit Blick auf die ökonomische Perspektive der Biogasproduktion in Ackerbauregionen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

(1) Es besteht ein wirtschaftlicher Anreiz, Hähnchenmist und Schweinegülle aus Veredelungsregionen zu importieren. Selbst wenn die Ackerbaubetriebe eine Entschädigung für die verloren gegangene Wertschöpfung des Hähnchenmistes in Biogasanlagen der Veredelungsbetriebe zahlen müssen, wird ein 6 % höherer Gewinne erwirtschaftet als bei der Nutzung des regionalen Gülleaufkommens.

(2) Allerdings wurde in Kapitel 3.2.1 gezeigt, dass bereits derzeit das gesamte Geflügelmistaufkommen in Biogasanlagen verwertet werden kann. Daher ist langfristig davon auszugehen, dass Hähnchenmäster die Knappheit erkennen werden und versuchen, ihre Erlöse zu maximieren. Es ist zu erwarten, dass die Preise für Geflügelmist so lange steigen werden, bis mit dem Import von Geflügelmist in der A-

ckerbauregion der gleiche Gewinn erwirtschaftet wird wie mit dem reinen Import von Schweinegülle. Dieser Gleichgewichtspreis liegt bei 54 €/t Hähnchenmist.

(3) Daher ist davon auszugehen, dass zunächst das regionale Gülleaufkommen genutzt wird. Auch dabei ist die Biogasproduktion in einer 200 kW-Anlage sehr wirtschaftlich. Es wird ein Gewinn von 47.000 € und eine Kapitalrentabilität von 15 % erwirtschaftet. Die Grundrente liegt bei 1.200 €/ha. Daher ist mit einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion zu rechnen.

(4) Durch den reinen Gülleimport würde die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion in der Ackerbauregion vergleichsweise gering ausfallen. Allerdings erwächst ein Anreiz, die Biogasproduktion in Ackerbauregionen mit Schweinemastanlagen zu kombinieren. Für die Versorgung einer 200 kW-Biogasanlage mit Gülle wären etwa 1.400 Mastplätze (MP) erforderlich. Der Gewinn der Anlage steigt im Vergleich zum Gülleimport um 35.000 €. Wird dieser Gewinn auf die Schweinemast umgelegt, steigt der Standortvorteil der Schweinemast in der Ackerbauregion um 25 €/MP. Bisher lag der Standortvorteil für Schweinmastbetriebe in Ackerbauregionen gegenüber Veredelungsregionen lediglich bei 13 €/MP (SPANDAU, 2008:). Gleichzeitig ist aufgrund der Biogasförderung von einer Verringerung der Wettbewerbsfähigkeit der Schweinemast in Veredelungsregion auszugehen (vgl. Kapitel 3.4.2) Dies verdeutlicht, dass massive Anreize für strukturelle Veränderungen vom EEG ausgehen.

3.6 Zwischenfazit zur regionalen Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen

Abschließend werden aus der Analyse der regionalen Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen Schlussfolgerungen zu den Auswirkungen der EEG-Novelle 2009 hinsichtlich folgender Parameter gezogen:

- Auswirkungen auf den künftigen Anlagenbestand
- Auswirkungen auf den Einsatz von Wirtschaftsdünger
- Agrarstrukturelle Effekte
- Ökologische Effekte

(1) Auswirkung auf den künftigen Anlagenbestand

- Nahezu alle untersuchten Anlagentypen erweisen sich aus der Sicht der Anlagenbetreiber als sehr wirtschaftlich. Im Vergleich zur Situation vor der letzten EEG-Novelle ist sogar eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit zu konstatieren (vgl. WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 102). Beschränkend für den weiteren Zubau von Anlagen wirkt sich - – wenn überhaupt - – die Erfahrung mit den hohen Roh-

stoffkosten im Zuge der Hausse an den Agrarmärkten in den Jahren 2007/2008 aus. Dennoch erscheint es plausibel davon auszugehen, dass die Wachstumsraten beim Anlagenbestand mindestens in der gleichen Größenordnung wie in der Vorperiode liegen dürften.

– Sofern Anlagen zur Aufbereitung und Einspeisung von Biogas das Gas in dezentralen, wärmegeführten BHKWs verstromen können, sind sie deutlich wettbewerbsfähiger und rentabler als Anlagen zur Direktverstromung. Die Kapitalrentabilität ist etwa 5 Prozentpunkte und die maximale Zahlungsbereitschaft für Silomais 6 €/t höher. Somit ist der wirtschaftliche Anreiz für einen künftig vermehrten Zubau von Einspeiseanlagen erheblich.

– Trotz der höheren Wirtschaftlichkeit von Einspeiseanlagen ist mit einer schnelleren Verbreitung von Anlagen zur Direktverstromung zu rechnen. Hintergrund für diese Einschätzung sind folgende Umstände:

  (a) Einspeiseanlagen sind hochkomplexe technische Betriebe, die nicht „nebenbei“ betrieben werden können, sondern ein spezialisiertes und professionelles Management erfordern.

  (b) Der Management- und Marketingaufwand für die dezentrale Wärmevermarktung bei Einspeiseprojekten ist sehr viel höher als bei Anlagen zur Direktverstromung.

  (c) Einspeiseanlagen sind aufgrund der hohen Fixkostenbelastung durch die Aufbereitung in der Regel erst wirtschaftlich ab einer Größe von 250 Nm³ aufbereitetes Biogas/ha (entspricht etwa 1 MW elektrische Leistung) zu betreiben. Der damit verbundene Kapital- und Managementaufwand ist sehr viel höher als bei den üblichen Direktverstromungsanlagen.

  (d) Die derzeitige Marktbeobachtung zeigt, dass zwar vereinzelt Biogaseinspeiseprojekte realisiert werden, die Anlagen trotz der hohen Wettbewerbsfähigkeit jedoch nicht den Anlagenbestand dominieren. Ursache hierfür könnte der derzeit geringe Erdgaspreis sein. Als Folge der geringen Erdgaspreise können mit Biomethan betriebene BHKWs nicht mit erdgasbetriebenen BHKWs konkurrieren, die nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWK-G) vergütet werden (GOTTWALD und GIORGIS, 2010: 67).

Dennoch ist zu berücksichtigen, dass die Bundesregierung sehr ambitionierte Ziele bei der Gaseinspeisung verfolgt. Bis zum Jahr 2020 sollen 6 % und bis 2030 10 % des derzeitigen Erdgasverbrauchs durch Biomethan gedeckt werden. Weiterhin hat die deutsche Gaswirtschaft in einer Selbstverpflichtung erklärt, bis 2010 10 % des in Kraftfahrzeugen verwendeten Erdgases durch Biomethan zu ersetzen. Dieser Anteil soll bis 2020 auf 20 % steigen. Obwohl Experten davon ausgehen, dass die genannten Ziele nicht erreicht werden, bleibt abzuwarten, ob die Politik versucht, durch verbesserte rechtliche Rahmenbe-

dingungen die Ziele zu erreichen. Ein erster Schritt in diese Richtung könnte die Novellierung der GasNZV im Juli 2010 sein.

– Aufgrund der Vergütungsstruktur des EEG sind Anlagen zur Direktverstromung in einem Leistungsbereich von 200 kW derzeit am wettbewerbsfähigsten. Daher ist davon auszugehen, dass sich diese Anlagengröße vermehrt verbreiten wird.

(2) Auswirkungen auf den Einsatz von Wirtschaftsdünger

– Der Güllebonus führt dazu, dass in Zukunft kaum noch Anlagen ohne Gülle konzipiert und betrieben werden. Dennoch ist – insbesondere bei westdeutschen Betriebsstrukturen - – üblicherweise zu erwarten, dass der Gülleeinsatz auf etwa 35 % beschränkt bleibt.[23] Ursache dafür ist, dass Gülle als Rohstoff nur eine sehr geringe Energiedichte und folglich eine sehr geringe Gasausbeute erlaubt. So ist es z. B. erst bei einem Masseanteil der Gülle von 90 % möglich, 50 % der benötigen Energie aus der Gülle zu gewinnen. Das heißt, die Anlagenbetreiber werden in der Regel genau so viel Gülle einsetzen, wie erforderlich ist, um den Güllebonus zu erhalten. Höhere Gülleanteile sind in der Regel nur möglich, wenn entweder sehr viel kleinere Anlagen konzipiert werden, was wiederum mit erheblichen wirtschaftlichen Nachteilen verbunden ist (Stichwort: nicht realisierte Kostendegression) oder die Gülle von mehreren Betrieben genutzt wird. Dies wiederum ist mit zusätzlichem Aufwand für ein dann gesetzlich erforderliches, abgedecktes Gärrestlager und den überbetrieblichen Gülletransport verbunden, sodass diese Option in der Mehrzahl der Fälle nicht rentabel ist.

  Im Ergebnis ist also davon auszugehen, dass die Anlagen überwiegend so konzipiert werden, dass der Massenanteil von 30 % Gülle kostenfrei vom eigenen landwirtschaftlichen Betrieb zur Verfügung gestellt wird. Folglich kann der Güllebonus auf die Zahlungsbereitschaft für pflanzliche Rohstoffe umgelegt werden und so die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasanlagenbetreiber am Pacht- bzw. Rohstoffmarkt erhöhen.

– In den Veredelungs- und Milchviehregionen ist selbst bei einer massiven Ausdehnung der Biogasproduktion nicht mit einer Verknappung von Gülle zu rechnen. Selbst wenn hier auf der gesamten Ackerfläche Silomais für Biogasanlagen angebaut werden würde, reicht die vorhandene Gülle aus, um die hierfür notwendigen Biogasanlagen mit 35 % Gülle zu versorgen. Somit ist nicht davon auszugehen, dass Vieh haltende Betriebe ohne eigene Biogasanlage über die Vermarktung ihrer Gülle an der Wertschöpfung der Biogasanlagen partizipieren können.

[23] Da die gesetzliche Vorgabe von mindestens 30 Masseprozenten jederzeit realisiert werden muss, um den Güllebonus zu sichern, ist davon auszugehen, dass die Anlagenbetreiber aus Sicherheitsgründen etwas höhere Gülleanteile einsetzen werden.

– Wenn die Biogaserzeugung mit ähnlichen Wachstumsraten wie in den letzten Jahren ausgedehnt wird, dürfte Gülle in Ackerbauregionen allerdings ein knapper Faktor werden, sodass es zu Gülle- und Geflügelmistimporten aus Veredelungsregionen kommen wird.

(3) Agrarstrukturelle Effekte:

Die sich aus dem EEG 2009 ergebenden agrarstrukturellen Effekte lassen sich in inter- sowie intraregionale Effekte unterteilen. Bevor jedoch die Strukturwirkungen beschrieben werden können, ist zu klären, in welchen der untersuchten Regionen mit mehr oder weniger starken Investitionen in die Biogaserzeugung zu rechnen ist. Um die Frage zu beantworten, sind in Tabelle 3.41 die in den vorherigen Abschnitten ermittelten Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung zusammengefasst. In Ergänzung zum Gewinn und der Kapitalrentabilität ist als weitere ökonomische Kenngröße ebenfalls die Grundrente der Biogaserzeugung auf Ackerflächen ausgewiesen. Die Grundrenten der Biogaserzeugung werden mit den bisher auf Ackerflächen zu erzielenden Grundrenten in den jeweiligen Regionen verglichen.

Für die Biogaserzeugung ergibt sich die Grundrente, indem die maximale Zahlungsbereitschaft für Silomais mit dem Maisertrag multipliziert wird und hiervon die Verfahrenskosten für den Maisanbau abgezogen werden. Die bisher in den Regionen zu erzielende Grundrente ergibt sich aus jeweils spezifischen Leistungen der Fläche:

– Für die Milchviehregion wird die Grundrente aus der maximalen Zahlungsbereitschaft für Silomais abgeleitet. Bei einem Milchpreis von 30 ct/kg beträgt die maximale Zahlungsbereitschaft für Silomais 31 €/t (vgl. Kapitel 3.3.3). Unter Berücksichtigung von 45 t Ertrag und Verfahrenskosten für den Maisanbau von 950 €/ha ergibt sich eine Grundrente von 445 €/ha.

– Für die Veredelungsregion ist die bisherige Grundrente aus dem Weizenanbau dargestellt. Aufgrund des geringen Ertrages von 6,7 t/ha ergibt sich bei einem Weizenpreis von 170 €/t, sowie einem Stroherlös von 50 €/ha und 800 €/ha Verfahrenskosten für den Weizenanbau eine Grundrente von lediglich 355 €/ha. Es ist zu beachten, dass dieser Wert lediglich die Grundrente aus dem Ackerbau widerspiegelt und nicht das aktuelle Pachtpreisniveau derartiger Regionen in der Größenordnung von 700 €/ha und mehr erklärt. Hierfür sind weitere Erklärungsgrößen, wie der steuerliche Pauschalierungsvorteil durch die Vermeidung der Gewerblichkeit durch entsprechende Flächenausstattung (etwa 200 €/ha), und der Wert der Fläche zur Nährstoffdeponierung (150 €/ha) zu berücksichtigten. Weiterhin ist davon auszugehen, dass ebenfalls ein Teil der Direktzahlungen an den Verpächter durchgereicht wird. Diese Erklärungsgrößen bleiben bei der hier gewählten Betrachtung jedoch unberücksichtigt, da sie in gleicher Weise von Biogasanlagenbetreibern wie von Veredelungsbetrieben aktiviert werden können.

– In der Ackerbauregion ergibt sich die bisherige Grundrente ebenfalls aus dem Weizenanbau. Aufgrund des höheren Weizenertrages von 9,6 t/ha liegt die Grundrente hier aber bei 610 €/ha und somit etwa 200 €/ha über der bisherigen Grundrente aus dem Ackerbau in der Veredelungsregion.

Tabelle 3.41: Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung in den analysierten Regionen

		Milch	Veredlungsregion		Ackerbauregion				
			Mit Hähnchenmist	Nur Schweinegülle	Regionales Gülleaufkommen	Gülleimport	Hähnchenmist Import	Kombination mit Schweinemast	Kombination mit Hähnchenmast
Gewinn	€/a	41	65	48	47	29	50	64	56
Rendite	%	13	19	16	15	12	16	19	17
Max. ZB Silomais	€/t	38	46	41	40	36	43	44	44
Grundrente Biogas auf Ackerflächen	€/ha	759	1.130	906	1.219	985	1.372	1.440	1.407
Bisherige Grundrente auf Ackerflächen	€/ha	447	405	405	610	610	610	610	610
Anstieg Grundrente	%	70	179	124	100	62	125	136	131

Quelle: Eigene Berechnung.

Aus Tabelle 3.41 sowie den vorherigen Abschnitten können folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich der ökonomischen Effekte der Biogasförderung für die jeweiligen Regionen gezogen werden:

Milchviehregion

– Die Grundrente in der Milchviehregion steigt nach Tabelle 3.41 um 70 % an. Allerdings wurde die bisherige Grundrente in Höhe von 450 €/ha für einen unterstellten Milchpreis von 30 ct/kg FECM berechnet. Sollte der Milchpreis jedoch nur um 28 ct/kg betragen, verringert sich die Grundrente auf 130 €/ha. In diesem Szenario ist die Grundrente der Biogaserzeugung fast fünfmal so hoch wie die aus der Milchviehhaltung. Da viele Experten langfristig von einem Milchpreis von unter 30 ct/kg FECM ausgehen, wäre es mit Blick auf die Flächenverwertung in einem solchen Szenario für viele landwirtschaftliche Unternehmer besonders attraktiv, die Milchviehhaltung aufzugeben und in die Biogasproduktion einzusteigen.

– Trotz des hohen Grassilageanteils in der Rohstoffversorgung der hier untersuchten Biogasanlage kann mit einer 200 kW-Anlage in einer Milchviehregion eine Kapitelrentabilität von 13 % und ein Gewinn von 40.000 € erzielt werden. Bisher werden jedoch erst in wenigen Biogasanlagen derartig hohe Grasanteile vergoren. Somit könnte fehlende praktische Erfahrung die Verbreitung von Biogasanlagen in Grünlandregionen bisher gebremst haben. Je mehr die Machbarkeit solcher Anlagentypen jedoch von landwirtschaftlichen Unternehmern erkannt wird, desto stärker wird es bei Milchpreisen unter 28 ct/kg FECM auch zu einer Ausdehnung der Biogasproduktion in Grünlandregionen kommen.

– In intensiven Milchviehregionen liegt der Maisanteil an der Ackerfläche bereits über 60 %. Aufgrund der geringen Transportwürdigkeit von Silomais können derartige Regionen nur bei einer kleinräumigen Betrachtung identifiziert werden. Beispielsweise liegt im Landkreis Aurich der Silomaisanteil an der Ackerfläche unter 30 %. Eine kleinräumigere Betrachtung auf Gemeindeebene offenbart jedoch, dass in den südlichen Gemeinden des Kreises der Maisanteil an der Ackerfläche bereits über 60 % beträgt (vgl. Karte A1 im Anhang). Hier ist davon auszugehen, dass die auf den Betrieben vorhandenen Rohstoffe nicht ausreichen, um neben der Viehhaltung eine Biogasanlage zu betreiben. Daher müssen die Betriebe Substrate zukaufen; außerdem konkurrieren sie mit anderen Milchviehbetrieben am Pachtmarkt. Somit kommt es in diesen Regionen bereits kurzfristig zu einer direkten Flächenkonkurrenz zwischen Biogasanlagenbetreibern und Milchviehhaltern. Aus anderen Untersuchungen am vTI Braunschweig geht hervor, dass die Milchviehbetriebe im Norden Niedersachsens starke Wachstumsabsichten haben, was die Flächenkonkurrenz weiter verschärft.

– Die von uns analysierte Biogasanlage ist bis zu einem Milchpreis von 32 ct/kg zu Vollkosten am Pachtmarkt wettbewerbsfähig. Sollte der Milchpreis langfristig, wie in der Vergangenheit zu beobachten, im Bereich von 27 ct/kg liegen, ist mit einer Substitution der Milchproduktion durch Biogas zu rechnen. Vorübergehend wird dieser Strukturwandel gebremst, indem Milchviehhalter eine geringere Entlohnung ihrer eigenen Arbeitskraft in Kauf nehmen, um am Pachtmarkt wettbewerbsfähig zu sein. Spätestens im Rahmen des Generationswechsels bzw. einer Neuinvestition in Stallgebäude ist dann jedoch damit zu rechnen, dass eine zunehmende Zahl von Landwirten die Milchproduktion aufgibt und ihre Flächen für die Biogasproduktion nutzen. Neben diesem freiwilligen Ausstieg aus der Milchproduktion wird in Regionen mit Flächenknappheit die Milchviehhaltung auch unfreiwillig von Biogasanlagen verdrängt. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass Biogasanlagenbetreiber am Pachtmarkt deutlich wettbewerbsfähiger sind als Milchproduzenten. Die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Milchviehhaltung wurde am Beispiel eines 100 Kuh-Betriebes mit einer Leistung von 8.500 kg FECM ermittelt. Leistungsschwächere Milchviehhalter können erst bei noch höheren Milchpreisen mit Biogasanlagenbetreibern am Flächen- und Rohstoffmarkt konkurrieren.

– Aufgrund der höheren Verwertung von Maissilage in der Biogasanlage im Vergleich zur Milchviehhaltung wird letztere voraussichtlich zunächst auf das Grünland ausweichen. Sollte der Milchpreis jedoch langfristig deutlich unter 30 ct/kg liegen, wird auch das Grünland für die Biogaserzeugung genutzt.

Veredelungsregion

– Im Vergleich der hier analysierten Regionen steigt die Grundrente in der Veredelungsregion mit über 125 % am stärksten an. Damit ist hier mit einer besonders starken Ausdehnung der Biogasproduktion zu rechnen.

- Trotz der bereits vorhandenen Nährstoffüberschüsse ist die Biogasproduktion in Veredelungsregionen sehr rentabel. Der Gewinn einer 200 kW-Anlage liegt über 45.000 € und die Kapitalrentabilität bei 16 %.
- Dabei verbessert Geflügelmist die Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung erheblich. Für Hähnchenmäster entsteht ein starker betriebswirtschaftlicher Anreiz, Hähnchenmist in Biogasanlagen zu verwerten, anstatt ihn wie bisher vielfach üblich in Ackerbauregionen zu exportieren. Bei dem unterstellten Preisszenario von 170 €/t Weizen wären Hähnchenmäster mit einer Biogasanlage erst bei einem Erlös von etwa 30 €/t bereit, den Mist abzugeben. Somit steigt aufgrund der Biogasförderung der Nährstoffanfall in der Region weiter an, was tendenziell zu höheren Kosten für den Nährstoffexport aus der Region führt.
- Die Biogasförderung wird in Veredelungsregionen zu steigenden Pachtpreisen führen. Ursache dafür ist, dass die Anlagenbetreiber bei der Beantragung von Krediten für die Errichtung einer Biogasanlage mindestens 50 % der Rohstoffversorgung über eigene Pachtflächen sichern müssen. Dabei kann eine Biogasanlage über 1.200 €/ha Pacht zahlen. Damit Schweinemastbetriebe diese Pacht aufbringen können, muss der Weizenpreis auf etwa 250 €/t steigen. Sollte dies nicht geschehen, ist davon auszugehen, dass die Schweinemast künftig vermehrt gewerblich betrieben werden muss. Dies wird ceteris paribus zu geringeren Gewinnen in Veredelungsbetrieben führen. Da die Biogasanlagenbetreiber hier nicht mit Veredelungsbetrieben um Futterflächen, sondern lediglich um Flächen zur Deponierung von Nährstoffen konkurrieren, gefährdet die Ausdehnung der Biogasproduktion hier, anders als in der Milchviehregion, jedoch nicht die Existenz der Veredelungsbetriebe.

Ackerbauregion

- Die Grundrente in der Ackerbauregion steigt bei Nutzung des regionalen Gülleaufkommens um 100 % an. Da dieser Anstieg geringer ist als in den anderen Regionen, ist in der Ackerbauregion mit einer weniger schnellen Ausdehnung der Biogasproduktion zu rechnen. Weiterhin hemmt die begrenzte Verfügbarkeit von Gülle die Ausdehnung der Biogaserzeugung. Sofern Gülle aus Veredelungsregionen importiert werden muss, fällt die Grundrente durch Biogas im Vergleich zum Ackerbau nur noch um 60 % höher aus.
- Bis das regionale Gülleaufkommen in der Ackerbauregion erschöpft ist, ist die Biogasproduktion aber auch in der Ackerbauregion sehr wirtschaftlich. Eine 200 kW-Anlage erzielt einen Gewinn von 47.000 € und eine Kapitalrentabilität von 15 %; die erwirtschaftete Grundrente beträgt 1.000 €/ha. Damit der Weizenanbau die gleiche Grundrente erwirtschaften kann, müsste der Weizenpreis auf 220 €/t ansteigen. Da derart hohe Getreidepreise derzeit nicht zu erwarten sind, ist mit einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion in der Ackerbauregion zu rechnen.

– Bei einer weiteren Ausdehnung der Biogaserzeugung ist langfristig jedoch davon auszugehen, dass Wirtschaftsdünger in die Ackerbauregionen importiert werden müssen. In der Folge sinkt die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion erheblich, bleibt aber – verglichen mit anderen landwirtschaftlichen Investitionsalternativen – immer noch sehr attraktiv. Hinzu kommt, dass durch die Kombination von Biogasanlagen mit Schweine- oder Geflügelmastställen auch in Ackerbauregionen eine sehr hohe Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion gesichert werden kann. Aufgrund von Pfadabhängigkeit der Ackerbaubetriebe sowie ungünstigen strukturellen Voraussetzung (Stichwort: Verarbeitung und Zulieferindustrie) ist jedoch unklar, wie viele landwirtschaftliche Unternehmer in Zukunft bereit sein werden, in die Veredelung zu investieren. Weiterhin wären für die gleichzeitige Investition in eine Biogasanlage und einen Schweinemaststall erhebliche Managementkapazitäten erforderlich, die von einzelnen Betriebsleitern mit geringer Erfahrung in diesen beiden Betriebszweigen nur schwer zu erbringen sind.

Interregionale agrarstrukturelle Effekte

Neben den intraregionalen agrarstrukturellen Effekten ergeben sich auch interregionale Effekte zwischen der Veredelungs- und der Ackerbauregion. Ursache hierfür ist eine mögliche Verknappung von Gülle in Ackerbauregionen und die Tatsache, dass bereits jetzt der gesamte Hähnchenmist in Biogasanlagen verwertet werden kann. Durch die Kombination eines Schweinemaststalls mit einer Biogasanlage können somit langfristig Transportkosten für Gülle eingespart werden. Wird der auf diese Weise entstehende Gewinnanstieg in der Biogasanlage auf die Schweinemast umgelegt, erhöht sich der kalkulatorische Standortvorteil von Schweinemastanlagen in Ackerbauregionen gegenüber Veredelungsregionen von 13 auf 25 €/Mastplatz. Gleichzeitig sinkt durch die Biogasförderung die Wirtschaftlichkeit der Schweinemast in Veredelungsregionen, weil die Kosten der Gülleentsorgung hier ansteigen. Daher könnte sich aufgrund der Biogasförderung eine Verlagerung der Schweinemast von den Veredelungsregionen in die Ackerbauregionen ergeben. Da neben den direkt messbaren ökonomischen Anreizen jedoch eine Reihe weiterer Faktoren, wie Pfadabhängigkeiten oder Managementkapazitäten der Betriebe die Investitionsentscheidungen beeinflussen, kann ohne weitere Untersuchungen keine Aussage dazu getroffen werden, ob und mit welcher Dynamik sich derartige Strukturwirkungen tatsächlich entfalten.

(4) Ökologische Effekte

– Aufgrund der hohen Wertschöpfung von Hähnchenmist in Biogasanlagen ist in Veredelungsregionen damit zu rechnen, dass Geflügelmist in der Region „verflüssigt“ wird. Folglich ist unter sonst gleichen Bedingungen mit einem zunehmenden Anfall von nicht-transportwürdigen Nährstoffüberschüssen und damit mit kostenträchtigen Nährstoffexporten in benachbarte Regionen zu rechnen. Weiterhin erhöht sich der Nährstoffanfall in Veredelungsregionen, weil Mais zur Biogasproduktion auf bisheri-

gen Getreideflächen angebaut wird. Während beim Getreideanbau die Nährstoffe mit dem Erntegut aus der Region exportiert wurden, erhöhen die Nährstoffe aus dem Gärrest den Problemdruck in der Region.

– Mit Blick auf das Ziel, über die Trocknung von Gärresten einen effizienten Nährstoffexport über transportwürdige Wirtschaftsdünger zu erzielen, ist festzuhalten, dass aufgrund der geringen Trocknungsleistung nur ein etwa 35 % der Gärreste getrocknet werden können. Ferner wird mit dem direkten Export von Hähnchenmist mehr Phosphat transportiert, als wenn der Hähnchenmist erst in einer Biogasanlage vergoren und anschließend der getrocknete Gärrest exportiert wird. Somit führt die Gärresttrocknung nur zu einer sehr begrenzten Verbesserung der Nährstoffbilanz in Veredelungsregionen. Vielmehr schafft die Möglichkeit, Gärreste zu trocknen, eine künstliche Wärmenachfrage, die es ohne den Fördermechanismus nicht geben würde.

– Die Berechnungen haben gezeigt, dass es unter den hier unterstellten Rahmenbedingungen attraktiver ist, Maissilage zu vergären als Grassilage. Von daher geht von Biogasanlagen grundsätzlich der wirtschaftliche Druck dafür aus, Grünland umzubrechen und auf der Fläche Silomais anzubauen. Wie in Kapitel 5 des vorliegenden Berichts nachgewiesen wird, ist eine solche Entwicklung auch empirisch zu beobachten.

Weiterer Forschungsbedarf

(1) Im Rahmen dieses Kapitels wurde die Strukturwirkung der Biogasförderung am Beispiel von Niedersachsen für eine Milchvieh-, Veredelungs- und Ackerbauregion analysiert. Um jedoch Schlussfolgerungen für ganz Deutschland ziehen zu können, ist es erforderlich, in weiteren Arbeiten Deutschland anhand der genannten Regionen zu charakterisieren.

Aufgrund der historischen Entwicklungen bestehen jedoch grundsätzlich unterschiedliche Rahmenbedingungen in Ost- und Westdeutschland. Dabei ist zu erwarten, dass die grundsätzlichen Ergebnisse und Berechnungen auch für Ostdeutschland gelten, folgende strukturellen Unterschiede jedoch eine differenzierte Betrachtung erfordern:

– In Ostdeutschland sind die Produktionsregionen nicht so differenziert wie in Westdeutschland. Somit ist hier nicht so schnell mit einer direkten Flächenkonkurrenz mit der Rindviehhaltung zu rechnen, und auch negative Rückwirkungen auf die Veredelung (Stichwort: Gewerblichkeit) dürften erst nach einer langen Ausbauphase bei Biogas auftreten.

– Da es in Ostdeutschland keine ausgesprochenen großräumigen Veredelungsregionen mit Nährstoffüberschüssen gibt, ist hier mit deutlich weiteren Transportentfernungen für Gülle zu rechnen.

(2) Mit Blick auf die Frage nach der Geschwindigkeit, mit der die Umwandlung der deutschen Landwirtschaft in eine Biogas-Landwirtschaft vonstatten geht, wäre es sinnvoll und aufschlussreich, die bisherigen Wachstumsraten beim Zubau von Biogasanlagen ins Verhältnis zu den jeweiligen ökonomischen Anreizen zu setzen, die durch das EEG auf betrieblicher Ebene etabliert werden.

(3) Weiterhin ist künftig zu klären, ob durch die Monovergärung von separierter Gülle und anschließender Trocknung der Gärreste die nicht-transportwürdigen Nährstoffüberschüsse in Veredelungsregionen reduziert werden können. Zu diesem Konzept lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch keine Praxiserfahrungen vor. Eine erste derartige Anlage befindet sich jedoch im Landkreis Borken in der Planung.

4 Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung von Stroh und Hackschnitzeln

Der Rohstoff- und Flächenverbrauch für die energetische Nutzung von Stroh und Hackschnitzeln ist bisher vergleichsweise gering. Während im Jahr 2009 deutschlandweit auf etwa 530.000 ha Ackerfläche Rohstoffe für die Biogasproduktion angebaut wurden, betrug die Anbaufläche für Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) lediglich 3.500 ha (FNR, 2010). Stroh wird erst in wenigen Heizwerken zur Bereitstellung von Wärme genutzt.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob langfristig mit einer verstärkten Nachfrage nach diesen Rohstoffen für die Energieerzeugung zu rechnen ist. Sofern dies bejaht werden kann, ist von einer Beeinflussung regionaler Anbaustrukturen auszugehen. Ursache dafür ist, dass entstehende Energieerzeugungsanlagen aufgrund der geringen Transportwürdigkeit von Stroh und Hackschnitzeln regional ihre Rohstoffversorgung sichern müssen (vgl. Kapitel 2.1).

Weiterhin stellt die Nutzung dieser Rohstoffe mit Blick auf die Nutzungskonkurrenz zur klassischen Agrarproduktion eine besonders interessante Option dar, da Stroh als Koppelprodukt der Getreideproduktion anfällt und somit keine Nutzungskonkurrenz verursacht. Da Kurzumtriebsplantagen prinzipiell auch auf Grenzstandorten mit geringer ackerbaulicher Ertragskraft angelegt werden können, ist die Nutzungskonkurrenz auch hier gering. In diesem Zusammenhang ist es jedoch erforderlich zu ermitteln, in welchen Regionen das Anbau- bzw. Nutzungspotenzial der genannten Rohstoffe hoch bzw. gering ist.

4.1 Regionales Aufkommen und Bereitstellungskosten der Rohstoffe

Regionales Strohaufkommen

Da größere Anlagen zur energetischen Nutzung von Stroh einen erheblichen Rohstoffbedarf haben (vgl. Kapitel 4.2), beeinflusst das regionale Strohaufkommen die Transport- und Bereitstellungskosten des Strohs. Daher können anhand des Strohaufkommens Standorte identifiziert werden, an denen die Strohverwertung aufgrund geringer Transportkosten besonders wirtschaftlich ist.

Dabei ist zwischen dem Strohaufkommen sowie Strohüberschuss zu unterscheiden. Als Strohaufkommen wird die physisch anfallende Strohmenge bezeichnet. Allerdings wird ein Teil des Strohaufkommens als Einstreumaterial in der Tierhaltung benötigt. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Strohbergung bei energetischer Verwertung, d. h. ohne Rückführung von organischen Resten mit einem Verlust organischer Bodensubstanz einhergeht, welcher die Fruchtbarkeit der Böden beeinträchtigen kann. Um eine ausgeglichene Humusbilanz zu gewährleisten, muss daher ein Teil des Strohs auf den Ackerflächen

verbleiben. Somit ist lediglich der Strohüberschuss, nach Abzug des Bedarfs für die Tierhaltung und Humusversorgung, energetisch nutzbar.

Nachfolgend wird dieser energetisch nutzbare Strohüberschuss abgeschätzt. Dabei ist zu betonen, dass es sich bei den Ergebnissen um eine rein technische Größe handelt, die keine ökonomischen Wechselwirkungen berücksichtigt. In der Realität würden in der Tierhaltung vermehrt strohlose Haltungsverfahren eingesetzt werden, wenn die Zahlungsbereitschaft der energetischen Verwertung für Stroh höher ist als die der Tierhaltung. Auch hinsichtlich der Humusversorgung sind ökonomische Wechselwirkungen zu erwarten. Bei einer ausreichend hohen Zahlungsbereitschaft für das Stroh können Ackerbaubetriebe Maßnahmen zum Humusausgleich ergreifen und somit die abzufahrende Strohmenge erhöhen. Beispiele für mögliche Maßnahmen sind der Anbau von Zwischenfrüchten oder die Ausbringung von Kompost. Es ist also zu betonen, dass die im Folgenden vorgelegte Schätzung für das verfügbare Strohpotenzial grundsätzlich sehr konservativ ist. Entsprechende ökonomische Anreize für die energetische Verwendung von Stroh vorausgesetzt, sind die tatsächlichen Möglichkeiten der Energiegewinnung deutlich größer.

Grund für diese Beschränkung der Analyse ist zum einen der Umstand, dass – wie noch zu zeigen sein wird – auch ohne derartige Anpassungsreaktionen der bisherigen Strohverwender ein erhebliches Strohaufkommen für energetische Zwecke zur Verfügung steht. Außerdem wäre die Ermittlung der Nachfragefunktion für Stroh für Einstreu bzw. Humusreproduktion ein hochkomplexes Vorhaben, das den Rahmen der vorliegenden Untersuchung sprengen würde.

Das Strohaufkommen wird anhand der in der Agrarstrukturerhebung 2007 ausgewiesenen Getreidefläche auf Landkreisebene berechnet. Um Jahreseffekte auf den Strohertrag zu minimieren, wird als Getreideertrag das 10-jährige Mittel zwischen 1997 und 2007 angesetzt. Der Strohertrag wird anschließend anhand der in Tabelle 4.1 dargestellten Korn-Stroh-Verhältnisse aus dem Getreideertrag abgeleitet. Deutschlandweit ergibt sich somit ein Strohaufkommen von 28,3 Mio. t Stroh.

Tabelle 4.1: Korn-Stroh-Verhältnis bei Getreide

	Korn-Stroh-Verhältnis
Winterweizen	0,8
Wintergerste	0,7
Winterroggen	0,9
Wintertriticale	0,9
Hafer	1,1
Sommergerste	0,8
Sommertriticale	0,9
Sommerweizen	0,8

Quelle: LWK Niedersachsen (2009c).

Da es keine statistischen Werte zum Strohverbrauch in der Tierhaltung gibt, muss der Bedarf anhand des Viehaufkommens geschätzt werden. Das regionale Viehaufkommen wird wiederum der Agrarstrukturerhebung 2007 entnommen. Der Anteil der Misthaltung für die unterschiedlichen Tierarten wird aus DÖHLER et al. (2002) abgeleitet und der Einstreubedarf nach KTBL (2008) angesetzt.[24] Insgesamt ergibt sich ein Strohbedarf für die deutsche Tierhaltung von 6,3 Mio. t.

Der Strohbedarf für eine ausgeglichene Humusbilanz auf Landkreisebene wird wie folgt berechnet:

- Als Richtwerte für Veränderung der Humusvorräte bei unterschiedlichen Kulturen werden die Vorgaben der VDLUFA herangezogen (VDLUFA, 2004).
- Auf Basis der Anbauanteile einzelner Kulturen an der Ackerfläche wird zunächst der Humusentzug berechnet.
- Anschließend wird die Humuswirkung der zurückgeführten Rübenblätter, des Raps- und Körnermaisstrohs sowie der im Landkreis anfallenden Wirtschaftsdünger ermittelt.[25]
- Der restliche Humusbedarf ist aus Getreidestroh zu decken.

Die Kalkulation ergibt, dass in Deutschland etwa 12 Mio. t für eine ausgeglichene Humusbilanz benötigt werden. Somit verbleibt unter Berücksichtigung des Einstreubedarfs in der Tierhaltung ein Strohüberschuss von etwa 10 Mio. t Stroh, das für energetische Zwecke genutzt werden kann. Dies entspricht einem Anteil von 35 % am gesamten Strohaufkommen.

Es ist jedoch zu vermuten, dass dieser Wert die tatsächlich am Markt verfügbare Strohmenge überschätzt. Ursache ist, dass der Humusverlust der Böden wesentlich von den natürlichen Standortbedingungen abhängig ist. Die Mineralisierungsrate wird durch häufigen Wechsel zwischen Austrocknen und Befeuchten des Bodens beschleunigt (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1979: 60). So zeichnen sich Schwarzerdestandorte, wie die Magdeburger Börde, aufgrund einer niedrigen Umsetzungsrate der organischen Substanz durch hohe Humusgehalte in der Ackerkrume aus. In den nördlicheren Bundesländern, wie Mecklenburg-Vorpommern, kommt es aufgrund anderer Bodenarten sowie einer schnelleren Erwärmung und höherer Niederschlagsmengen zu einer stärkeren Umsetzung der organischen Substanz, sodass die Bereitschaft der Betriebe, hier Stroh abzugeben,

[24] Die Annahmen zur Ermittlung des Einstreubedarfs sind im Tabelle A5 im Anhang dargestellt.

[25] Für die Humuswirkung der Wirtschaftsdünger wurde vereinfachend angenommen, dass die gesamten Rinder und Schweine in Haltungsverfahren mit Gülle gehalten werden. Die Annahmen sind in Tabelle A6 im Anhang dokumentiert.

geringer sein wird. Weiterhin geht aus Expertengesprächen hervor, dass – zumindest die qualifizierten, ackerbaulich ausgerichteten Landwirte - – sich bei der Humusversorgung des Bodens nicht an den Cross-Compliance-Vorgaben orientieren, sondern den Bedarf aus ackerbaulicher Sicht höher einschätzen.

Hinsichtlich des energetisch nutzbaren Strohanteils liegt eine Reihe von Schätzungen anderer Autoren vor. Zur besseren Einordnung der im Rahmen dieses Berichtes ermittelten Werte werden diese in Tabelle 4.2 den bisherigen Ergebnissen gegenübergestellt.

Tabelle 4.2: Vergleich bisheriger Kalkulationen zum Strohüberschuss

	Stroh-aufkommen	Strohbedarf		Stroh-überschuss	Anteil nutzbares Stroh
		Tierhaltung	Humusbilanz		
Eigene Berechnung	28,3	6,3	12	10	35%
Leible et al. 2003	42,7	10,8	9,9-16	16-22	37-57%
Fritsche et al. 2004	36,0	8,45	22,9	4,65	13%
Beckmann 2006	35,0	1,75	26,25	7	20%

Quelle: Eigene Berechnung, Leible et al. (2003), Fritsche et al. (2004), Beckmann (2006).

Folgende Unterschiede sind festzuhalten:

- Das im Rahmen dieses Berichtes ermittelte Strohaufkommen liegt 20 bis 35 % unterhalb der bisher ermittelten Werte. Ursache hierfür sind unterschiedliche Annahmen zum Korn-Stroh-Verhältnis. Während LEIBLE et al. (2003) beispielsweise von einem Korn-Stroh-Verhältnis bei Triticale von 1,4 ausgehen, wird in diesem Bericht lediglich ein Verhältnis von 0,9 unterstellt.
- Der ermittelte Strohbedarf für die Tierhaltung deckt sich in etwa mit den bisherigen Veröffentlichungen. Die Unterschiede ergeben sich wiederum aus unterschiedlichen Annahmen. LEIBLE et al. (2003) nehmen an, dass 25 % der Rinder und Schweine auf Mist gehalten werden und der Einstreubedarf 6 kg/GV beträgt. BECKMANN (2006) geht hingegen davon aus, dass 50 % der Rinder und 20 % der Schweine auf Stroh gehalten werden. Die anderen Vieharten bleiben hier unberücksichtigt. In den übrigen Studien sind die Annahmen zum Einstreubedarf nicht transparent.
- Der Strohbedarf für eine ausgeglichene Humusbilanz wird gemäß der vorliegenden Untersuchung geringer eingeschätzt als in vergleichbaren Studien. Ursache hierfür sind wiederum unterschiedliche Annahmen. LEIBLE et al. (2003) gehen davon aus, dass 50 bis 70 % des nicht in der Tierhaltung benötigten Strohs, ohne die Bodenfruchtbarkeit zu gefährden, abgeführt werden können. BECKMANN (2006) unterstellt, dass 75 % des Strohaufkommens für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit benötigt wird.

– Der Anteil des energetisch nutzbaren Strohs am Gesamtstrohaufkommen liegt in dieser Studie bei 35 % des gesamten Strohaufkommens und damit im mittleren Bereich der bisherigen Veröffentlichungen. Während BECKMANN (2006) und FRITSCHE et al. (2004) mit 20 bzw. 13 % von einem geringeren energetisch nutzbaren Anteil ausgehen, ist der nutzbare Anteil bei LEIBLE et al. (2003) mit bis zu 57 % deutlich höher.

– Insgesamt ist festzuhalten, dass die Ergebnisse zum energetisch nutzbaren Strohüberschuss aufgrund unterschiedlicher Annahmen z. T. deutlich voneinander abweichen und der im Rahmen dieses Berichtes ermittelte Strohüberschuss im mittleren Bereich der bisherigen Ergebnisse liegt.

Nachdem die Berechnung des energetisch nutzbaren Strohüberschusses dargestellt und mit bisherigen Veröffentlichungen verglichen wurden, ist in Karte 4.1 der regionale Strohüberschuss pro Hektar Katasterfläche (KF)[26] dargestellt. Folgende Ergebnisse sind wesentlich:

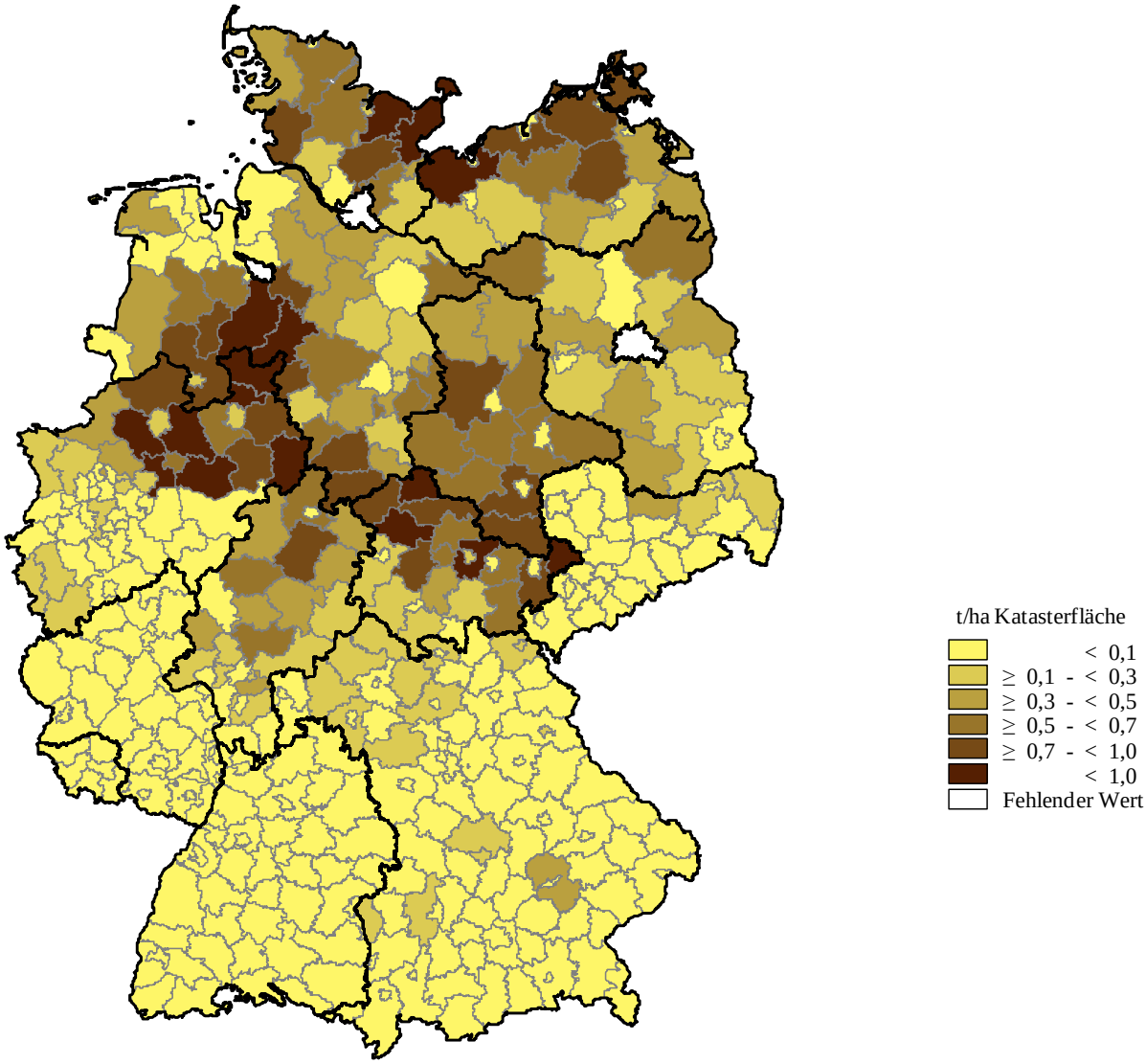
– Die höchsten Strohüberschüsse mit mehr als 1 t/ha KF befinden sich in den Veredelungsregionen von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, in Nordthüringen und in einigen an die Ostsee grenzenden Kreisen in Schleswig Holstein und Mecklenburg-Vorpommern.

– Auch im östlichen Nordrhein-Westfalen, südwestlichem Niedersachsen, sowie in Sachsen-Anhalt und in Nordthüringen ist der Strohüberschuss mit mehr als 0,7 t/ha KF ebenfalls hoch. Im nördlichen Mecklenburg-Vorpommern und östlichem Schleswig-Holstein finden sich ebenfalls Kreise mit derartig hohen Strohüberschüssen. Daher ist hier mit geringen Transportdistanzen zu rechnen, sodass diese Regionen am ehesten für Strohheizkraftwerke mit hohem Strohbedarf geeignet sind.

– Aufgrund des hohen Waldanteils ist der Strohüberschuss je Hektar Katasterfläche in Süddeutschland meist niedriger als 0,1 t/ha KF.

[26] Die Bezugsgröße „Katasterfläche“ wurde gewählt, weil angesichts der begrenzten Transportwürdigkeit die Dichte des Aufkommens in der Fläche für die Vorzüglichkeit von Standorten letztlich maßgeblich ist.

Karte 4.1: Regionale Strohüberschüsse auf Landkreisebene



Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2008), Döhler et al. (2002), LWK Niedersachsen (2009c), VDLUFA (2004), LWK Niedersachen (2009a).

Bereitstellungskosten von Stroh aus einzelbetrieblicher Perspektive

Zur Vereinfachung wird für die Berechnung der Bereitstellungskosten des Strohs unterstellt, dass nicht mehr als ein Drittel des Strohs abgefahren wird und dass unter diesen Vorraussetzungen die Humusversorgung im Boden nicht beeinträchtigt wird. Somit werden keine Kosten für eine Humussubstitution berücksichtigt.

Die Bereitstellungskosten von Stroh werden vor allem durch den Nährstoffwert des Strohs und die Verfahrenskosten der Strohbergung bestimmt. Darüber hinaus wurden im

Rahmen von Expertengesprächen[27] weitere mögliche Effekte im Zusammenhang mit der Strohabfuhr ermittelt.

Folgende negative Effekte der Strohabfuhr wurden im Rahmen von Expertengesprächen genannt:

- Verlust des Verdunstungsschutzes,
- Verschlechterung des Bodengefüges, auch bei Einhaltung der Humusbilanz nach CC-Vorgaben,
- Risiko von zusätzlichen Fahrspuren und einer verspäteten Aussaat, falls sich die Strohbergung z. B. aufgrund von Niederschlägen verzögert.

Die monetäre Bewertung der Negativeffekte durch die Experten schwankte zwischen 5 und 20 €/t Stroh. Im Rahmen dieses Berichtes wird ein Wert von 10 €/t berücksichtigt.

Kostensenkungspotenziale ergeben sich aus den Expertengesprächen beim Mähdrusch, weil das Stroh nicht mehr gehäckselt wird. Das mögliche Einsparpotenzial wird auf 20 % der Druschkosten geschätzt und resultiert aus dem geringeren Dieselverbrauch sowie geringeren Wartungskosten für den Häcksler. Weiterhin dürfte sich insbesondere auf ausgesprochenen Hochertragsstandorten der Aufwand der Stoppelbearbeitung durch die Strohabfuhr verringern. Der Umfang dieser Kostenreduktion konnte jedoch nicht quantifiziert werden, sodass er hier unberücksichtigt bleibt.

Weiterhin zeigte sich in der Paneldiskussion, dass die Landwirte das Stroh nur überdacht lagern würden. Eine Lagerung des Strohs am Feldrand unter Folie wird aufgrund des Wetterrisikos und eines möglichen Wertverlustes des Strohs bei Durchnässung ausgeschlossen.

Die Bereitstellungskosten des Strohs frei Zwischenlager sind in Tabelle 4.3 dargestellt. Der Nährstoffwert des Strohs bei den in der Fußnote der Tabelle 4.3 unterstellten Nährstoffpreisen liegt bei ca. 15 €/t. Für das Pressen und den Transport in ein 2 km entferntes Zwischenlager entstehen Kosten in Höhe von 27 €/t. Die Lagerung des Strohs in einem Bergeraum ohne befestigten Boden verursacht Kosten in Höhe von 12 €/t. Weiterhin sind die negativen Effekte der Strohabfuhr mit 10 €/t sowie das Einsparpotenzial durch den Mähdrusch mit 4 €/t zu berücksichtigen. Insgesamt ergeben sich demnach Bereitstellungskosten für das Stroh von 59 €/t frei Zwischenlager.

[27] Zur Strohbergung wurden Expertengespräche mit Landwirten im Kreis Hildesheim, Borken sowie Güstrow geführt.

Tabelle 4.3: Bereitstellungskosten Stroh

Nährstoffwert[1)]	€/t	15
Pressen	€/t	17
Transport zum Zwischenlager	€/t	10
Lagerung	€/t	12
Negativeffekte wie verspätete Aussaat, Fahrspuren	€/t	10
Einsparung Mährdrusch	€/t	-4
Summe Kosten Stroh aus Zwischenlager	**€/t**	**59**

1) Nährstoffgehalt Stroh: N: 5 kg/t; P_2O_5: 3 kg/t; K_2O: 17 kg/t; Nährstoffpreise: N: 0,55 €/kg; P_2O_5: 0,83 €/kg; K_2O: 0,56 €/kg.

Quelle: Eigene Berechnung nach Degner (2007); KTBL (2005); Expertenbefragung (2008).

Bereitstellungskosten für Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen (KUP)

Bisher werden vor allem Hackschnitzel aus Waldrestholz energetisch genutzt. Für eine starke Ausweitung der Energiebereitstellung aus Hackschnitzeln steht jedoch nicht ausreichend Waldrestholz zur Verfügung. Daher wird im Rahmen dieses Berichtes von Hackschnitzeln auf Basis von Kurzumtriebsplantagen ausgegangen.

Aufgrund der geringen Verbreitung des Produktionsverfahrens in Deutschland ist eine Beschreibung des regionalen Aufkommens nicht möglich. Daher werden lediglich die Bereitstellungskosten ermittelt. Die Ausführungen hierzu basieren auf ZIMMER et al. (2008).

Bei KUP werden schnellwachsende Baumarten angepflanzt und in regelmäßigen Abständen alle drei bis sechs Jahre geerntet. Aufgrund der höchsten Biomassezuwächse werden in Deutschland bevorzugt Pappeln und Weiden angebaut (MEYER-MARQUART und FELDWISCH, 2006). Die Bäume treiben nach der Ernte von allein wieder aus, so dass die Bäume wie eine Dauerkultur mehrfach genutzt werden. Die Plantage darf bis zu 20 Jahre (rechtliche Bestimmungen) genutzt werden, wenn sie als Dauerkultur eingestuft werden soll und nicht als Wald.

Wegen der geringen Verbreitung gibt es nur wenige wissenschaftlich abgesicherte Erfahrungswerte für die Etablierung derartiger Plantagen und ihre Bewirtschaftung. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über bisherige Erfahrungen zu Pappel- und Weideklonen gegeben. Je nach Standortbedingungen schwankt der jährliche TM-Zuwachs bei Pappeln zwischen 7 und 20 t TM/ha und bei Weiden zwischen 6 und 20 t/TM/ha (MEYER-MARQUART und FELDWISCH, 2006). Fast alle Studien ergeben jedoch, dass wirtschaftlich interessante TM-Zuwächse in der Größenordnung von 10 t TM/Jahr auf mittleren bis besseren Standorten und ausreichender Wasserversorgung relativ stabil erzielt werden können. Die in Tabelle 4.4 dargestellten ökonomischen Kenngrößen entstammen einer Auswertung von SCHWEINLE et al. (2007).

Die nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsberechungen basieren auf folgenden produktionstechnischen Eckdaten: Vor der Anlage der Plantage wird eine 25 cm tiefe Pflugfurche mit einem Nachbearbeitungsgerät empfohlen, um ein gut abgesetztes Saatbett zu gewährleisten. Hierfür werden in der Literatur Kosten zwischen 47 und 125 €/ha angegeben (vgl. Tabelle 4.4). Die langsame Jugendentwicklung von Weiden und Pappeln macht eine Unkrautbekämpfung im Pflanzjahr notwendig, und zwar unmittelbar vor der Pflanzung und in den ersten drei Monaten danach. Die Kosten hierfür belaufen sich auf 41 bis 80 €/ha. Die Pflanzung der ca. 20 bis 25 cm langen Stecklinge erfolgt im zeitigen Frühjahr mit handelsüblichen Pflanzmaschinen und verursacht Arbeitserledigungskosten zwischen 200 und 562 €/ha. Es werden ca. 14.000 Stecklinge/ha benötigt, wobei Pappelstecklinge pro Stück etwa 0,22 € kosten. Somit beträgt die Investitionssumme für die Stecklinge bis zu 3.078 €/ha. Insgesamt verursacht die Anlage der Plantage einen Investitionsaufwand von 1.400 bis 3.700 €/ha.

Als gängigste Rotationsverfahren haben sich drei- oder vierjährige Umtriebszeiten mit einer maschinellen Ernte zur Vegetationsruhe in den Wintermonaten etabliert. Hierfür sind unterschiedliche Erntemaschinen wie konventionelle Feldhäcksler mit Holzschneidevorsätzen oder Anbaugeräte für Traktoren verfügbar. Die Investition für einen Holzschneidevorsatz beläuft sich auf ca. 50.000 €, für einen Anbauhäcksler auf etwa 22.500 € (WERNER et al., 2006). Die im dreijährigen Abstand anfallende Ernte verursacht Kosten zwischen 112 und 517 €/ha. Der Abtransport der Hackschnitzel ist mit dem Transport der etablierten Silomaiskette vergleichbar und verursacht Kosten zwischen 69 und 240 €/ha. Insgesamt belaufen sich die Erntekosten auf Werte in der Größenordnung von 125 €/ha bis 700 €/ha.

Zur Bestandspflege wird nach jeder Rotation ein Mulchgang empfohlen, für den weitere Ausgaben in Höhe von 18 €/ha anfallen. In Ergänzung zu der Aufstellung in Tabelle 4.4 wird in den nachstehenden Kalkulationen davon ausgegangen, dass zusätzlich eine Stickstoffdüngung mit Kosten von 37 kg/ha erfolgt, um die Entwicklung der jungen Sprosse zu fördern.

Nach Ablauf der Nutzungsdauer erfolgt die Rekultivierung der Fläche, indem mit einer Fräse das Wurzelsystem in den oberen Bodenschichten zerstört wird. Die Angaben zu den hierfür erforderlichen Ausgaben schwanken in der Literatur zwischen 200 und 1.400 €/ha.

Tabelle 4.4: Spannbreite der Produktionskosten für Kurzumtriebsplantagen

	Quelle geringe Kosten	Quelle hohe Kosten		Geringe Kosten	Hohe Kosten
1. Pflügen und Eggen (einmalig)	VETTER (2005)	HOFMANN (1998)	€/ha	47	125
2. Herbizid- und Vorauflauf-mittelbehandlung (einmalig)	VETTER (2005)	KTBL (2006)	€/ha	41	80
3. Pflanzung ohne Nachbesserung 14.000 Stück	OHRNER (2005)	VETTER (2005)	€/ha	200	562
Gesamtarbeitskosten der Schritte 1 – 3		Vetter (2005)	€/ha	n. a.	44
4. Stecklinge (Materialkosten) 14.000 St. à 0,08 oder 0,22 €	HOFMANN (1998)	WILWERDING, RÖSCH (1999)	€/ha	1,120	3,078
5. Ernte und Hacken (nach jeder Rotation)	VETTER (2005)	SCHNEIDER (2002)	€/ha*Ernte	112	517
6. Mulchen (nach jeder Rotation)	VETTER (2005)	VETTER (2005)	€/ha*Ernte	18	18
7. Transport (nach jeder Rotation)	VETTER (2005)	HOFMANN (1998)	€/ha*Ernte	69	240
Gesamtarbeitskosten für Schritte 5 – 7	VETTER (2005)		€/ha*Ernte	124	n. a.
8. Rodung (einmalig bei Ende der Nutzungsdauer; inkl. Arbeitskosten)	SCHNEIDER (2002)	KTBL (2006)	€/ha	200	1,400

n.a.: Nicht ausgewiesen.
Quelle: Schweinle et al. (2007).

Da die KUP eine Dauerkultur darstellt, ist für die Kalkulation der Wirtschaftlichkeit eine Annuitätenrechnung erforderlich. SCHWEINLE et al. (2007) weisen in dem Szenario mit geringen Kosten und unterstellten Erlösen von 60 €/t TM eine Annuität zwischen 250 und knapp 500 €/ha/Jahr aus. Bei den hohen Kosten konnte keine positive Annuität erzielt werden. Vor diesem Hintergrund erscheint es plausibel davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung einer gewissen Sicherheitsmarge mit reinen Produktionskosten von 80 €/t TM großflächig eine Produktion von Hackschnitzeln auf Basis von KUP möglich ist.

Da aber die Hackschnitzelerzeugung annahmegemäß in Kurzumtriebsplantagen erfolgt, die auf landwirtschaftlichen Flächen zu errichten wären, müssen die Opportunitätskosten der Flächennutzung ergänzend berücksichtigt werden. Landwirte werden nur dann in Kurzumtriebsplantagen (KUP) investieren, wenn die damit erzielbare Flächenverwertung die beste landwirtschaftliche Alternative für die jeweilige Fläche übersteigt. Daher werden in Tabelle 4.5 die Nutzungskosten der Fläche ermittelt. Für die Kalkulation wird davon ausgegangen, dass die KUP in erster Linie auf Standorten mit niedrigeren Ackerbauerträgen etabliert werden (Ertragsniveau 6 t/ha Wintergerste). Es wird unterstellt, dass Gerste bei einem Weizenpreis von 170 €/t zu Preisen in der Größenordnung von 160 €/t gehandelt wird.

Tabelle 4.5: Deckungsbeiträge Wintergerste (Alternativkultur für KUP)

		Gerste
Ertrag	t FM/ha	6
Preis	€/t FM	160
Leistung	€/ha	960
Saatgut	€/ha	90
Pflanzenschutz	€/ha	64
Dünger	€/ha	187
Arb. Erl. Kosten	€/ha	165
Erntekosten	€/ha	115
Summe Kosten	€/ha	621
Deckungsbeitrag Gerste/Nutzungskosten der Fläche	€/ha	339

Quelle: Eigene Berechnung nach LWK (2008a).

Aus der Kalkulation ist ersichtlich, dass sich die Nutzungskosten der Fläche bei einem hier unterstellten Preisniveau für Wintergerste von 160 €/t bei 340 €/ha liegen. Wenn diese 340 € auf einen unterstellten Ertrag von 10 t TM/ha umgelegt werden, ergibt dies Zusatzkosten von 34 €/t TM. Dieser Betrag wurde auf 35 € aufgerundet und zu den reinen KUP-Produktionskosten von 80 €/t addiert. Somit ergeben sich in dem hier unterstellten Szenario Produktionskosten für die Hackschnitzel in Höhe von 115 €/t, gehäckselt frei Zwischenlager. Bei einem Heizwert von 4,7 MWh/t_{atro} entspricht dies Kosten von 24,5 €/MWh. Der Marktpreis für Hackschnitzel schwankte im Zeitraum 2007 bis 2010 zwischen 21 und 28 €/MWh (C.A.R.M.E.N., 2010). Damit steht die Produktion von Hackschnitzeln auf Basis von KUP an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit. Dies gilt umso mehr als in den vorstehenden Kalkulationen nicht berücksichtigt wurde, dass bei einer kompletten Umstellung des landwirtschaftlichen Betriebes in erheblichen Umfang Arbeitszeit freigesetzt wird. Wenn diese Arbeitszeit alternativ verwertet werden kann, steigt die Wirtschaftlichkeit der KUP entsprechend stark an.

In Expertengesprächen wurden allerdings weitere Vorbehalte gegenüber dem Anbau von KUP deutlich:

- Die Landwirte sehen das Risiko die Flächen langfristig an eine Kultur zu binden. Sofern konventionelle Agrarprodukte im Preis stark steigen oder Abnehmer wegfallen, wird die KUP unrentabel. In einem solchen Fall ist eine Anpassung aufgrund der hohen Anfangsinvestitionen nur mit Verlusten möglich.
- Weiterhin sehen Landwirte im Falle eines Krankheitsbefalls oder Wildverbisses ein erhebliches Risiko für den Totalausfall der Plantage.
- Aufgrund der geringen Praxiserfahrungen mit dem Anbau von Kurzumtriebsplantagen besteht Unsicherheit hinsichtlich der Ertragserwartung.

– Die Landwirte befürchten, dass es nach Anlage der Plantage zu Änderungen der bisherigen Rechtslage kommen kann und KUP dann rechtlich als Wald und nicht mehr als Dauerkultur eingestuft wird. In einem solchen Szenario wäre eine ackerbauliche Nutzung dauerhaft ausgeschlossen – mit entsprechend negativen Folgen für den Wert der betroffenen Flächen.
– Weiterhin sehen die Landwirte das Risiko, dass die Wurzeln der Bäume in die Drainagen wachsen und diese nach der Rekultivierung der Fläche erneuert werden muss. Eine überschlägige Kalkulation ergibt allerdings, dass eine Erneuerung der Drainage mit Kosten von ca. 1.200 €/ha (KTBL, 2005: 207) verbunden wäre, sodass die Produktionskosten der Hackschnitzel um etwa 6 €/t TM steigen würden. Somit verringert selbst die Erneuerung der Drainage die Wirtschaftlichkeit der Plantage nur geringfügig.

4.2 Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Konversionsverfahren

In diesem Abschnitt wird die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Anlagen zur Wärme- sowie zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung analysiert.

Bei der Kalkulation ist zu berücksichtigen, dass im Vergleich zur Verbrennung von Holz bei der Strohverbrennung der Kessel technisch angepasst werden muss. Ursache hierfür ist, dass der Aschegehalt sowie die Anteile an Stickstoff, Kalium und Chlor im Stroh um ein Vielfaches höher sind als bei Holz. Aufgrund des hohen Kaliumgehaltes verklumpt die Strohasche schon bei einer Temperatur von etwa 800° C. Mithilfe von gekühlten Brennraumwänden, beweglichen Rosten, einer Asche- und Schlackeabtrennung sowie einer Anpassung der Temperatur- und Luftzuführung wird der Verschlackung entgegengewirkt (FNR, 2007: 103).

Weiterhin sind Strohfeuerungsanlagen bereits ab 100 kW Feuerungswärmeleistung nach der 4. BImSchV genehmigungspflichtig, während diese Grenze für Holzfeuerungsanlagen bei 1 MW liegt (vgl. Kapitel 2.2). Damit gelten deutlich schärfere Emissionsgrenzwerte für Strohfeuerungen. Insbesondere der Anteil an Feistaub kann nur mit Gewebe- oder Elektrofiltern hinreichend abgeschieden werden, was zu einem zusätzlichen Investitionsaufwand von 100.000 bis 250.000 € führt (VETTER und HERING, 2003: 1; TUCH, 2009).

Berücksichtigte Anlagentypen

Nachdem die Besonderheiten der Strohverbrennung genannt wurden, werden im Folgenden die ausgewählten Anlagentypen für den Wirtschaftlichkeitsvergleich vorgestellt. Dabei werden aus der Vielzahl von möglichen Anlagentypen und -größen jene ausgewählt und exemplarisch vorgestellt, die nach Experteneinschätzung unter den gegebenen technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen vermutlich besonders wirtschaftlich sind und grundsätzlich großflächig realisierbar wären.

(1) Nahwärmenetz in einem Bioenergiedorf (400 kW)

Das Bioenergiedorf besteht aus 35 Wohneinheiten und wird über ein Nahwärmenetz mit einer Länge von 950 m versorgt. Der Wärmebedarf beträgt 1.250 MWh, wobei die Wärme zu 95 % in einem 400 kW-Biomassekessel erzeugt wird. Die jährliche Auslastung des Biomassekessels beträgt 2.970 h. Zur Abdeckung der Spitzenlast ist ein Erdgasbrennwertkessel mit einer Leistung von 250 kW und einer Auslastung von 250 h installiert.

(2) Heizungsanlage für einen Gewerbebetrieb (400 kW)

Die Anlage versorgt eine Fertigungsstrecke in der Kunststoffproduktion eines mittelständischen Betriebes. Der Wärmebedarf beträgt 1.800 MWh. Die Grundlast wird von einem 400 kW Biomassekessel mit einer jährlichen Auslastung von 4.490 h bereitgestellt. Zur Abdeckung der Spitzenlast wird ein 144 kW Ergasbrennwertkessel mit einer jährlichen Auslastung von 660 h eingesetzt.

(3) 1 MW-Heizkraftwerk im Industriebetrieb

Die Anlage versorgt eine Produktionsstrecke in der Nahrungsmittelproduktion in der Grundlast mit Prozesswärme auf Dampfbasis. Der Wärmebedarf des Betriebes beträgt 11.200 MWh. Der Biomassekessel ist als Dampfkessel konzipiert und verfügt über eine thermische Leistung von 1,48 MW. Weiterhin ist in den Holzdampfkessel eine Entnahmedampfturbine mit einer elektrischen Leistung von 400 kW integriert. Der thermische Wirkungsgrad des Biomassekessels liegt bei 60 % und der elektrische Wirkungsgrad bei 22 %. Bei 8.600 Volllaststunden werden 9.288 MWh Wärme und 3.440 MWh Strom erzeugt. Da die Verstromung von Holz und Stroh ebenfalls unter das EEG fällt, wird mit ihr eine Stromvergütung von 16,8 ct/kWh erzielt.

(4) 17 MW-Heizkraftwerk für Fernwärme

Die Stromerzeugung aus Festbrennstoffen lässt sich am erfolgversprechendsten mit wärmegeführten Anlagen umsetzen. In der Vergangenheit wurden in der Kraftwerkstechnik häufig Wasserdampfturbinen verwendet. Diese zeichnen sich durch hohe elektrische Wirkungsgrade aus (22 bis 30 %). Der Gesamtwirkungsgrad ist jedoch geringer. Für holzbasierte Heizkraftwerke werden in der letzten Zeit jedoch vor allem ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle) eingesetzt. Die ORC-Anlage ist eine Kraftwärmeanlage, welche mit einem Thermoölkessel unter Verwendung von synthetischem Öl (häufig Silikonöl) betrieben wird. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage liegt bei über 85 %, wobei die elektrischen Wirkungsgrade zwischen 12 und 18 % liegen (ZIMMER et al., 2008: 51).

Diese Technologie wird ebenfalls für den Wirtschaftlichkeitsvergleich berücksichtigt. Das betrachtete Heizkraftwerk versorgt ein Fernwärmenetz ausschließlich mit Grund- und Mittellast. Die Wärme wird frei Netz vergütet, was bedeutet, dass die Netzverluste zu Lasten des Abnehmers gehen. Der Wärmebedarf des Fernwärmenetzes beträgt

57.182 MWh für die Grund- und 36.793 MWh für die Mittellast. Insgesamt müssen somit 93.975 MWh Wärme durch das Heizkraftwerk erzeugt werden. Die Spitzenlast des Fernwärmenetzes wird durch andere Erzeuger abgedeckt.

Damit das ORC-Modul eine möglichst hohe Auslastung hat, wird es nur für die Erzeugung der Grundlastwärme eingesetzt. Dies hat zur Folge, dass die Mittellast durch einen weiteren Kessel abgedeckt werden muss und die Anlage als bivalente Kesselanlage ausgelegt ist. Der thermische Wirkungsgrad des ORC-Moduls liegt bei 69 % und der elektrische bei 18 %. Das Modul verfügt über eine thermische Leistung von 7,33 MW und erreicht jährlich 7.800 Betriebsstunden. Bei einer elektrischen Leistung von 1,9 MW werden gleichzeitig 14.820 MWh Strom erzeugt.

Die Verstromung von Holz wird ebenfalls durch die EEG-Vergütung abgedeckt, wobei für die ORC-Technologie zusätzlich der Innovationsbonus gewährt wird. Somit erzielt die Anlage unter Berücksichtigung des NawaRo-Bonus für Holz und des KWK-Bonus eine Stromvergütung von 14,25 ct/kWh.

Für die Verstromung von Stroh ist die ORC-Technologie bisher nicht verfügbar. Daher muss das Strohheizkraftwerk mit einer anderen Technologie betrieben werden. Anstatt des ORC-Moduls wird zur Stromerzeugung in der Grundlast ein Dampfkessel eingesetzt. Der Dampfkessel ist dabei ebenfalls nach dem Grundlastbedarf des Fernwärmenetzes ausgelegt und verfügt über eine thermische Leistung von 7,33 MW. Aufgrund des geringeren thermischen Wirkungsgrades von 60 % (ORC-Modul: 69 %) ist die elektrische Leistung des Dampfkessels mit 2,68 MW und die jährlich eingespeiste Strommenge mit 20.866 MWh jedoch höher.

Der Mittellastkessel ist bei beiden Anlagen identisch und produziert als Heißwasserkessel mit einer Rostfeuerung lediglich Wärme. Er verfügt über eine thermische Leistung von 9,944 MW und eine jährliche Auslastung von 3.700 Stunden.

Annahmen für die Kalkulationen

Nachdem die betrachteten Anlagenkonstellationen beschrieben wurden, ist es erforderlich die der Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde gelegten Annahmen darzustellen:

– Aufgrund der Preiskopplung kann vom Rohölpreis auf den Erdgas- bzw. Heizölpreis geschlossen werden. Bei einem Ölpreis in Höhe von 80 $/barrel[28] wurde mithilfe einer Regressionsanalyse anhand von Daten des Statistischen Bundesamtes ein Brennstoffpreis für Erdgas von 57 €/MWh für Privathaushalte und 31 € für Industriebetriebe

[28] Die Energy Information Administration (EIA) prognostiziert für den Zeitraum 2008 bis 2015 einen durchschnittlichen Ölpreis in Höhe von 80 $/barrel (EIA, 2010).

ermittelt. Unter Berücksichtigung von Festkosten und Wirkungsgradverlusten einer Heizanlage wird für die Umsatzplanung ein Wärmepreis von 85 €/MWh für eine Vollversorgung im Privatbereich bzw. von 70 €/MWh für eine Vollversorgung im Gewerbebereich angelegt. Für eine Grundlastversorgung im Industriebereich wird ein Erlös von 40 €/MWh unterstellt.

- Weiterhin werden Rohstoffpreise für Hackschnitzel in Höhe von 115 €/t_{atro} bzw. 59 €/t Stroh (86 % TM) frei Zwischenlager angesetzt (vgl. Kapitel 4.1). Dabei wird von einem Energiegehalt für Hackschnitzel von 4,73 MWh/t_{atro} und für Stroh von 3,97 MWh/t_{atro} ausgegangen. Aufgrund des hohen Wassergehalts kommt es bei den Hackschnitzeln zu einem Lagerverlust von 8 %.
- Es wird unterstellt, dass die Rohstoffe in der Nähe der Anlagen anfallen, sodass die Transportentfernung lediglich 10 km beträgt. Hieraus resultieren Transportkosten in Höhe von 17 €/t TM für Stroh bzw. 13 €/t TM für Hackschnitzel (LEIBLE et al., 2003: 92).
- Der Aschegehalt beträgt 5 % /t_{atro} bei Hackschnitzeln bzw. 6 %/t_{atro} bei Stroh. Die anfallende Asche verursacht Entsorgungskosten von 85 €/t.
- Der Anlagenwirkungsgrad beträgt 0,87 für die Biomassekessel und 0,9 für die Spitzenlastkessel.
- Für Nahwärmeleitungen und Übergabestationen wurden pauschalierte Ansätze gewählt. Der laufende Meter Nahwärmeleitung wird mit 200 € kalkuliert und die einzelne Übergabestation mit 7.000 € in Ansatz gebracht. Der Leitungsverlust des Wärmenetzes liegt bei 5 %.
- Die Investitionen werden über 15 Jahre abgeschrieben. Ausgenommen sind aufgrund einer höheren Lebensdauer Bauwerke mit 50 Jahren und Nahwärmeleitungen mit 30 Jahren. Es werden Kapitalzinsen von 5 % unterstellt.
- Die Kosten für die Kaminreinigung werden pauschal mit jährlich 1.500 € angesetzt. Die Anschlussgebühren für Strom und Gas betragen pauschal 2.500 € im Jahr.
- Weiterhin wird unterstellt, dass die notwendigen Arbeiten zu einem Stundenlohn von 15 €/h durchgeführt werden; die Wartungs- und Instandhaltungskosten belaufen sich auf 2 % des Investitionsvolumens und die Versicherungen kosten annahmegemäß 0,5 % des Investitionsvolumens.

Ergebnisse des Wirtschaftlichkeitsvergleichs

Hinsichtlich der ökonomischen Bewertung der energetischen Nutzung von Stroh- und Hackschnitzeln (vgl. Tabelle 4.6) sind folgende Ergebnisse festzuhalten:

- Bei der reinen Wärmeerzeugung kommt es zu erheblichen Unterschieden zwischen den einzelnen Anlagentypen. Während die 400 kW-Stroh- und Hackschnitzelanlage im Verbund mit einem Gewerbebetrieb bei Gewinnen von 6.000 bzw. 24.000 € und

einer Kapitalrentabilität zwischen 9 und 25 % rentabel sind, ist das Bioenergiedorf für die getroffenen Preisannahmen nicht wirtschaftlich darstellbar. Dies liegt daran, dass der hohe Wärmebedarf des Gewerbebetriebes zu einer höheren Auslastung der Anlage führt. Somit wird bei dem Gewerbebetrieb trotz des geringeren spezifischen Wärmeerlöses insgesamt ein höherer jährlicher Wärmeerlös als beim Bioenergiedorf erzielt. Weiterhin ist sowohl das Wärmenetz als auch der Spitzenlastkessel bei dem Gewerbebetrieb kleiner dimensioniert, weswegen die absoluten und die spezifischen Kapitalkosten deutlich geringer ausfallen.

- Weiterhin ist hinsichtlich der reinen Wärmebereitstellung festzuhalten, dass die hackschnitzelbasierten Heizanlagen höhere Gewinne und Kapitalrenditen erzielen als die strohgefeuerten Anlagen.
- Lediglich die 400 kW Strohheizung im Verbund mit dem Gewerbebetrieb erwirtschaftet einen Gewinn in Höhe von 6.000 € und eine Kapitalrentabilität von 9 %. Allerdings ist auch für diese Anlagenkonstellation der Gewinn der Hackschnitzelheizung dreimal so hoch und die Rendite um 16 Prozentpunkte höher als bei der Strohheizung. Ursächlich für die geringere Wirtschaftlichkeit der Strohfeuerungen sind die zusätzlichen Investitionen für den Elektrofilter und die daraus resultierenden höheren Kapitalkosten.
- Im Gegensatz zu den reinen Anlagen zur Wärmebereitstellung ist bei der gekoppelten Strom- und Wärmeproduktion die Wirtschaftlichkeit der strohgefeuerten Anlagen höher. Bei dem in einen Industriebetrieb integrierten 1 MW-Heizkraftwerk ist der Gewinn der Strohfeuerung mit 265.000 € etwa doppelt so hoch wie bei der Hackschnitzelfeuerung (134.000 €). Die Kapitalrentabilität der Strohfeuerung liegt mit 30 % etwa 12 Prozentpunkte über der Rentabilität der Hackschnitzelfeuerung. Ursache dafür ist, dass die Investition in den Elektrofilter erheblichen Größendegressionen unterliegt und sich somit nur geringe Unterschiede bei den Kapitalkosten ergeben. Gleichzeitig ist der Brennstoff Stroh günstiger als Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen, da bei Stroh keine Nutzungskosten der Fläche zu berücksichtigen sind. Allerdings ist in Deutschland bisher kein strohgefeuertes Heizkraftwerk in Betrieb, sodass aus Investorensicht Unsicherheit hinsichtlich der technischen Machbarkeit besteht.
- Bei dem in ein Fernwärmenetz integrierten 17 MW-Heizkraftwerk kommen die genannten Effekte noch stärker zum Tragen. Hier erzielt nur die Strohfeuerung einen Gewinn in Höhe von 576.000 € und eine Rendite von 13 %, während die Hackschnitzelfeuerung unter den Preisannahmen nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Allerdings sind die beiden Anlagen nur eingeschränkt miteinander vergleichbar, da die Stromproduktion bei der Hackschnitzelanlage mit einem ORC-Modul und bei der Strohanlage mit einem Dampfkessel erfolgt.

  Diese Berechnung berücksichtigt allerdings nicht den Umstand, dass eine solche Anlage typischerweise auch von einem großen Energieanbieter errichtet und betrieben werden könnte. Da diese Unternehmen am Handel mit CO_2-Zertifikaten teilnehmen,

bestünde die Möglichkeit, mit der hier skizzierten Anlage entsprechende Zertifikate zu generieren. Bei einem Preis von 20 €/t CO_2-Vermeidung würde dies zusätzliche jährliche Erlöse in der Größenordnung von 300.000 bis 500.000 € nach sich ziehen und so die Wirtschaftlichkeit der Anlage um bis zu 85 % verbessern.

– Die maximale Zahlungsbereitschaft für die Rohstoffe variiert ebenfalls erheblich zwischen den einzelnen Anlagenkonstellationen. Über die höchste maximale Zahlungsbereitschaft für Hackschnitzel verfügen mit 165 €/t TM frei Zwischenlager die 400 kW-Heizanlage für den Gewerbebetrieb und das 1 MW-Heizkraftwerk. Die geringste maximale Zahlungsbereitschaft für Hackschnitzel wird mit 64 €/t TM frei Zwischenlager beim Bioenergiedorf erreicht. Für Stroh ist die maximale Zahlungsbereitschaft mit 144 €/t TM frei Zwischenlager ebenfalls bei dem 1 MW-Heizkraftwerk am höchsten.

Tabelle 4.6: Wirtschaftlichkeit der energetischen Verwertung von Stroh und Hackschnitzeln

		400 kW Bioenergiedorf		400 kW Gewerbebetrieb		1 MW Heizkraftwerk		17 MW Heizkraftwerk	
		Hackschnitzel	Stroh	Hackschnitzel	Stroh	Hackschnitzel	Stroh	Hackschnitzel	Stroh
Leistung Biomassekessel	kWth	400	400	400	400	1.080	1.080	17.275	17.325
Leistung Spitzenlastkessel	kWth	250	250	144	144	-	-	-	-
Leistung Verstromungseinheit	kWhel	-	-	-	-	400	400	1.900	2.675
Investment	€/kWth	1.680	2.654	616	1.441	1.951	2.018	853	891
Verkaufte Wärmemenge	MWh/a	1.250	1.250	1.800	1.800	9.288	9.288	93.975	93.975
Verkaufte Strommenge	MWh/a	-	-	-	-	3.440	3.440	14.820	20.866
Wärmepreis	€/MWh	85	85	70	70	40	40	40	40
Strompreis	€/MWh	-	-	-	-	168	168	143	123
Wärmeerlös	€/a	106.000	106.000	126.000	126.000	372.000	372.000	3.759.000	3.759.000
Stromerlös	€/a	-	-	-	-	578.000	578.000	2.112.000	2.556.000
Gesamterlös	**€/a**	**106.000**	**106.000**	**126.000**	**126.000**	**950.000**	**950.000**	**5.871.000**	**6.315.000**
Hackschnitzel-/Strohbedarf	t TM/a	353	361	509	520	3.544	3.910	26.920	35.209
Gasbedarf Spitzenlast	MWh/a	72.000	72.000	105.000	105.000	-	-	-	-
Hackschnitzel-/Strohkosten	€/a	38.000	21.000	54.000	31.000	407.000	230.000	3.094.000	2.069.000
Transportkosten	€/a	4.000	6.000	6.000	9.000	45.000	67.000	344.000	601.000
Brennstoffkosten Spitzenlast	€/a	4.000	4.000	3.000	3.000	-	-	-	-
Kapitalkosten	€/a	52.000	82.000	20.000	46.000	184.000	189.000	1.247.000	1.303.000
Sonstige Anlagenkosten	€/a	3.000	5.000	1.000	3.000	11.000	11.000	74.000	77.000
Betriebskosten	€/a	24.000	38.000	18.000	28.000	169.000	189.000	1.561.000	1.690.000
Summe Kosten	**€/a**	**125.000**	**157.000**	**102.000**	**120.000**	**815.000**	**685.000**	**6.320.000**	**5.740.000**
Gewinn	**€/a**	**-19.000**	**-51.000**	**24.000**	**6.000**	**134.000**	**265.000**	**-449.000**	**576.000**
Rendite	**%**	**1**	**-10**	**25**	**9**	**18**	**30**	**0**	**13**
Maximale Zahlungsbereitschaft Rohstoffe frei Zwischenlager	**€/t TM**	**64**	**-66**	**165**	**88**	**166**	**144**	**111**	**92**

Quelle: Eigene Berechnung.

4.3 Fazit

Als Fazit zur energetischen Nutzung von Stroh und Hackschnitzeln sind folgende Punkte festzuhalten:

1. Die Kalkulationen haben gezeigt, dass sowohl auf Basis von Stroh als auch bei Verwendung von Hackschnitzeln Anlagentypen bestehen, mit denen sich hohe und teilweise sogar sehr hohe Renditen erwirtschaften lassen. So können bei der Wärmebereitstellung für einen Gewerbebetrieb mit einer 400 kW-Hackschnitzelheizung und Hackschnitzeln aus KUP Renditen von über 20 % erwirtschaftet werden. Bei entsprechender Größe sind auch strohbasierte Anlagen - – insbesondere, wenn es sich um KWK-Anlagen handelt - – mit einer Rendite in der Größenordnung von 30 % überaus wirtschaftlich.
2. Nicht rentabel zu betreiben sind beide Anlagentypen im Rahmen eines dezentralen „Bioenergie-Dorfs“ sowie das große Heizkraftwerk (17 MW) auf Basis von Hackschnitzeln.
3. Die maximalen Zahlungsbereitschaften der wirtschaftlichen Anlagentypen liegen teilweise erheblich über den ermittelten Bereitstellungskosten für Stroh bzw. KUP, sodass ein ausreichender wirtschaftlicher Spielraum vorhanden sein dürfte, um den Lieferanten der Rohstoffe – insbesondere bei der bisher nur wenig verbreiteten und folglich riskanten KUP – zusätzliche Anreize bieten zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den vorgestellten Analysen die Produktion der Hackschnitzel auf Basis von KUP infolge der unterstellten hohen Agrarpreise mit vergleichsweise hohen Opportunitätskosten der Flächen belastet ist. Außerdem sind die möglichen wirtschaftlichen Vorteile einer kompletten Umstellung von landwirtschaftlichen Betrieben (Stichwort: Alternative Verwertung der freiwerdenden Arbeitskräfte) noch nicht berücksichtigt. Folglich sind die wirtschaftlichen Anreize zur Anlage einer KUP – insbesondere unter den aktuellen Preisrelationen - – deutlich höher als hier ausgewiesen.
4. Vor diesem Hintergrund scheint es möglich und wahrscheinlich, dass es mittel- und langfristig zu einem vermehrten Zubau von Kurzumtriebsplantagen kommt. Allerdings ist das Unternehmerrisiko der Landwirte vermutlich ein erhebliches Entwicklungshemmnis: Aufgrund der langen Produktionszyklen der KUP ist deren Anlage eine sehr langfristige Investitionsentscheidung, die zudem noch mit dem Risiko behaftet ist, dass das produzierte Produkt nur sehr eingeschränkt handelbar ist. Daher dürfte die Bereitschaft der Investoren, langfristige und indexierte Lieferverträge einzugehen eine Vorraussetzung für die praxisrelevante Etablierung von KUP sein. Im Einzugsbereich der Anlagen werden dabei zunächst Grenzstandorte für den Anbau von KUP genutzt werden.
5. Aufgrund der hohen Wirtschaftlichkeit der strohbasierten KWK-Anlagen ist auch hier zukünftig bei anhaltend hohen Rohölpreisen grundsätzlich mit einem Zubau von großen Anlagen (> 1 MW) zu rechnen. Aufgrund fehlender Erfahrungen in Deutschland

bestehen derzeit jedoch noch Vorbehalte gegenüber der Ausgereiftheit der Anlagentechnik. Dies könnte sich jedoch ändern, sofern erste Projekte, wie das geplante Strohheizkraftwerk in Emlichheim, erfolgreich realisiert werden.

6. Mit Blick auf die in vorherigen Abschnitten des Berichts vorgestellten Ergebnissen zur Konkurrenzfähigkeit der Biogasproduktion stellt sich die Frage, ob und ggf. wie diese Resultate für Stroh und Hackschnitzel die Biogasproduktion beeinflussen. Eine erste, überschlägige Kalkulation am Beispiel des 1 MW-Heizkraftwerkes in Verbindung mit einem Industriebetrieb legt die Vermutung nahe, dass die Auswirkungen, wenn überhaupt, marginal sein werden: Die Differenz zwischen der maximalen Zahlungsbereitschaft für Hackschnitzel frei Zwischenlager und den ermittelten Produktionskosten beträgt 51 €/t TM. Sofern sich der Kraftwerksbetreiber und der Landwirt diese Differenz untereinander teilen, sinkt die Rentabilität des Heizkraftwerkes auf 10 %. Bei einem Ertrag von 10 t TM/Jahr steigen der Gewinn aus der KUP und somit die Nutzungskosten der Fläche für die Alternative des Maisanbaus um 250 €/ha. Bei einem Maisertrag von 45 t/ha und bisherigen Produktionskosten von 24,8 €/t (vgl. Kapitel 3.2.2) würde aufgrund der um 250 €/ha steigenden Nutzungskosten der Fläche die Kosten für die Maissilage um 5,6 €/t auf dann gut 30 €/t steigen. Die maximale Zahlungsbereitschaft einer 200 kW-Anlage liegt jedoch etwa bei knapp 34 €/t frei Feld.

7. Auf die Frage nach der möglichen regionalen Verbreitung der Anlagen und damit nach der Nachfrage nach Stroh und KUP lässt sich beim gegenwärtigen Stand des Wissens nur Folgendes feststellen: Das in der Biogasproduktion zu beobachtende Muster der starken Dezentralisierung von Anlagen, die zudem überwiegend von Landwirten betrieben werden, ist in diesem Fall nicht zu erwarten. Vielmehr sind größere und zahlungskräftige – in der Regel industrielle – Abnehmer von Wärme die Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Konzepte. Allerdings sind die hier betrachteten Rohstoffe transportwürdiger und besser lagerfähig als Maissilage, sodass es für industrielle Wärmenachfrager grundsätzlich auch einfacher ist, auf diese Rohstoffe umzusteigen. Andererseits sind die hier vorgestellten Anlagentypen auch nicht so groß – wie zum Beispiel die vielfach diskutierten BtL-Anlagen mit Verarbeitungskapazitäten von 1 Mio. t TM/Jahr. Die Rohstoffproduktion bzw. -beschaffung für die hier diskutierten Anlagen erfordert daher keine Umwidmung ganzer Landstriche.

5 Bisherige Wirkungen der Produktion nachwachsender Rohstoffe auf die Flächennutzung

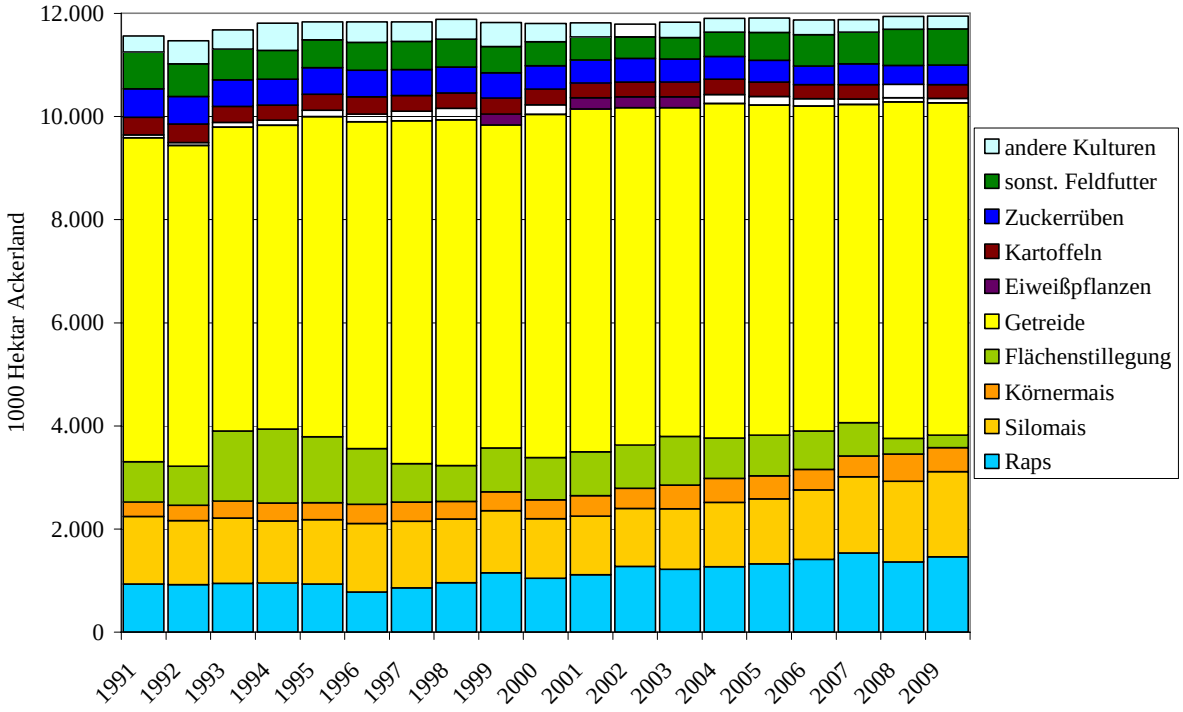
In diesem Kapitel werden in den vergangenen Jahren zu beobachtende Wirkungen der landwirtschaftlichen Produktion nachwachsender Rohstoffe auf die landwirtschaftliche Flächennutzung dargestellt. Im ersten Abschnitt werden die Entwicklungen auf der Ackerfläche in Deutschland bis 2009 betrachtet. Danach werden Entwicklung bezüglich der Silomaisproduktion für Biogasanlagen sowie der Grünlandflächennutzung untersucht. Abschließend werden auf Basis von Antragsdaten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) des Landes Niedersachsen Ergebnisse zur Silomaisproduktion und zur Grünlandumwandlung zwischen 2005 und 2007 vorgestellt. Im Vergleich zur Agrarstatistik auf Kreisebene erlauben InVeKoS-Daten Analysen mit sehr hoher räumlicher Auflösung und betrieblicher Differenzierung.

5.1 Veränderungen der Ackerflächennutzung

Die folgende Abbildung 5.1 stellt die Entwicklung der Nutzung des gesamten Ackerlands in Deutschland dar, differenziert nach wichtigen Kulturarten oder Kulturartengruppen. Raps und Mais haben in den letzten Jahren deutlich zugenommen, und gleichzeitig hat die nicht genutzte Ackerflächenstilllegung seit 2003 stark abgenommen. Der Anteil von Raps und Mais an der gesamten Ackerfläche lag bis 2002 zusammen konstant zwischen 20 und 22 % und ist seither bis 2009 auf 30 % angestiegen. Insgesamt dominieren aber nach wie vor die Getreidekulturen die Ackernutzung. Die Ackerfläche hat seit 1991 um 386.000 ha zugenommen. Dies ist vor allem auf die Umwandlung von Grünland in Ackerland zurückzuführen.

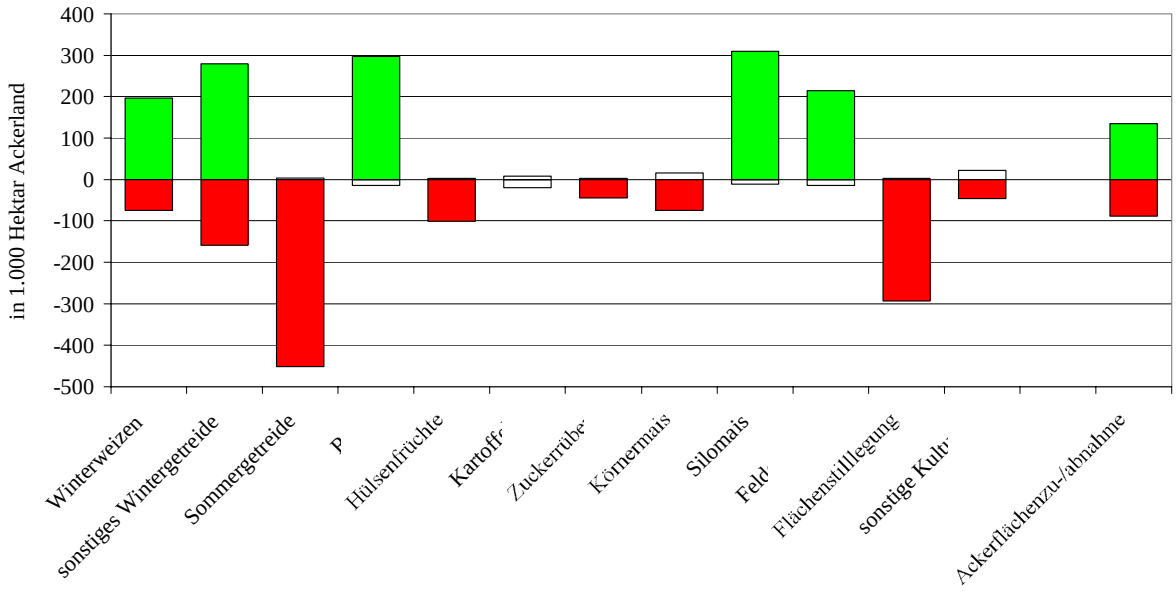
Wird die Flächennutzung auf hohem Aggregationsniveau betrachtet, etwa Bundes- oder Länderebene, ist zu berücksichtigen, dass in verschiedenen Regionen unterschiedlich verlaufende Flächenveränderungen saldiert werden. Parallel, aber in unterschiedlichen Regionen stattfindende Flächenzu- und -abnahmen werden durch diese Nettobetrachtung im Aggregat nicht mehr erkennbar. Um zu prüfen, in welchem Umfang bei den unterschiedlichen Kulturen regionale Flächenzu- und abnahmen vorliegen, werden auf Ebene der Agrarstatistik auf Kreisebene die positiven und die negativen Flächenveränderungen zwischen 2003 und 2007 einzeln berechnet und gegenübergestellt. Die Ergebnisse dieser Abschätzung der Brutto-Flächenveränderungen sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Bei Winterweizen und bei anderem Wintergetreide gibt es je nach Region Flächenzu- und -abnahmen, insgesamt überwiegt die Zunahme. Sommergetreide nimmt dagegen sehr stark ab, und Flächenzunahmen treten praktisch nicht auf. Ähnliches gilt für Hülsenfrüchte, Zuckerrüben und die Flächenstilllegung. Die Flächenabnahmen überwiegen bei Kartoffeln, Körnermais und bei sonstigen Kulturen.

Abbildung 5.1: Nutzung des Ackerlandes in Deutschland (Entwicklung 1991 bis 2009)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Fachserie 3, Reihe 3, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (div. Jgg.)

Abbildung 5.2: Flächenzu- und -abnahmen bei Ackerkulturen zwischen 2003 und 2007 (berechnet auf Kreisebene)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2003 und 2007.

Deutliche Flächenzuwächse sind für Raps, Silomais und Feldgras zu verzeichnen. Bei Raps ist die wachsende Verwendung für die Herstellung von Biotreibstoff und bei Silomais der Ausbau der Biogasproduktion als Grund zu nennen. Feld- und Kleegras werden seit der Agrarreform von 2005 durch die einheitliche, entkoppelte Prämie für Ackerflächen als Futterbaukultur mit Silomais gleichgestellt. Die relative Wettbewerbsfähigkeit von Feld- und Kleegras hat dadurch zugenommen, was vor allem auf für die Ackernutzung ungünstigeren Standorten relevant ist. Ein Grund für die Ausdehnung von Feld- und Kleegras kann auch der Anreiz für die landwirtschaftlichen Betriebe sein, bisheriges Grünland frühzeitig als Wechselgrünland zu beantragen, um sich vor dem Hintergrund möglicher Beschränkungen durch Cross Compliance eine spätere Nutzungsoption als Ackerland offen zu halten. Dies kann sich auch auf die Erfassung dieser Flächen in der Agrarstrukturerhebung ausgewirkt haben.

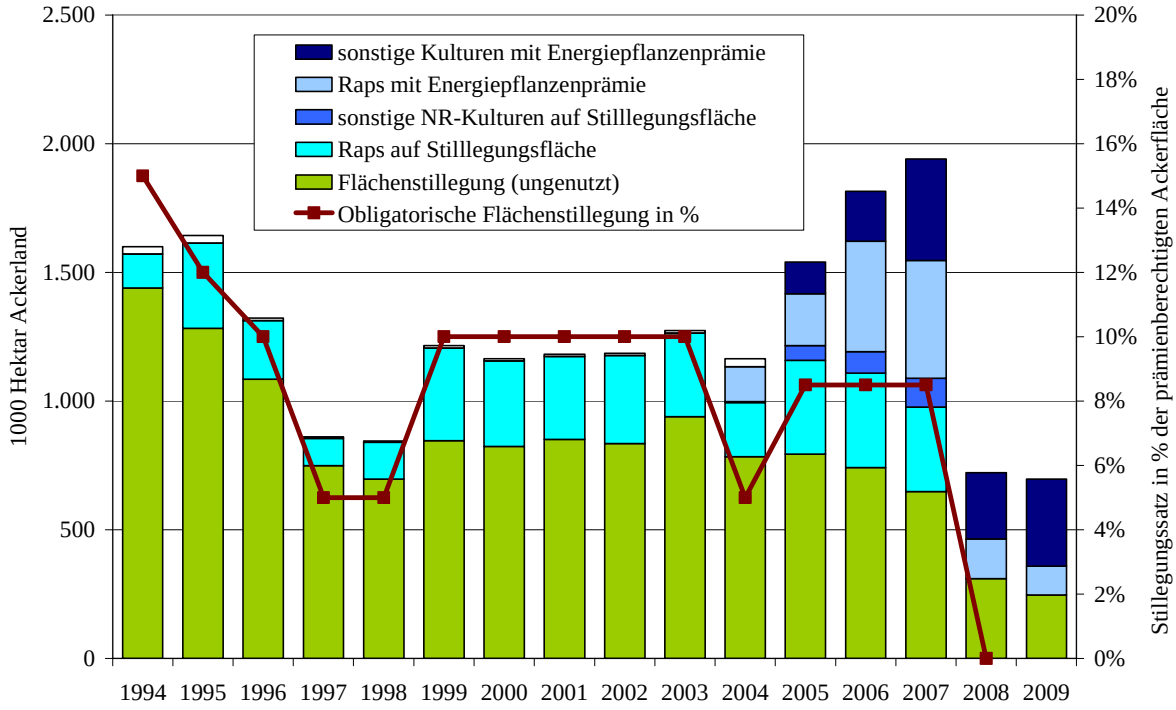
Raps und Silomais nahmen um ca. 300.000 ha zu, Feldgras um 200.000 ha. Die höchsten Flächenabnahmen verzeichnen Sommergetreide mit -450.000 ha, die Flächenstilllegung mit -290.000 ha und Hülsenfrüchte mit -50.000 ha. Die Ackerfläche hat im Saldo um 46.000 ha zugenommen, dahinter stehen Zugänge aus der Umwandlung von Grünland, und Abgänge durch Umwandlung von Ackerland in Bau- und Grünland. Das Herausfallen von Flächen aus der agrarstatistischen Erfassung, etwa aufgrund der Weiterbewirtschaftung in Kleinbetrieben unterhalb der Erfassungsgrenze, dürfte bei Ackerland kaum relevant sein.

Die obligatorische oder konjunkturelle Flächenstilllegung eines festgelegten Prozentsatzes der Ackerfläche wurde in der EU als Maßnahme zur Verringerung landwirtschaftlicher Überproduktion eingeführt. Bis zur Aussetzung der Regelung im Wirtschaftsjahr 2007/08 war der Nachweis eines vorgeschriebenen Anteils an Ackerflächenstilllegung Voraussetzung für den Erhalt von flächenbezogenen Direktzahlungen der EU-Agrarpolitik. Je nach Konjunktur an den Agrarmärkten konnte der Stilllegungssatz angepasst werden, was die Flächenentwicklung immer wieder beeinflusst hat (vgl. Abbildung 5.3). Als Nebeneffekt konnten diese Flächen, solange sie nicht bewirtschaftet werden, eine gewisse ökologische Ausgleichsfunktion entfalten. Die Regelung war aber nicht als umweltpolitisches Instrument konzipiert, sondern diente der Kontrolle der Produktionsmengen. Auf obligatorisch stillgelegten Flächen war der Anbau nachwachsender Rohstoffe möglich, sofern nachgewiesen wurde, dass die Ernteprodukte nicht in die Futter- oder Nahrungsmittelkette gelangten. Betriebswirtschaftlich gesehen wurden die Nutzungskosten der Produktionsfläche für nachwachsende Rohstoffe auf obligatorischer Stilllegungsfläche dadurch stark gegenüber der sonstigen Ackerfläche herabgesetzt.

Diese Regelung hat vor allem die Rapsproduktion für die Biotreibstoffproduktion begünstigt. Bis 2004 stellte Raps über 95 % der Fläche nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegungsflächen. Wie in Abbildung 5.3 gezeigt, hing die Entwicklung dabei vom obligatorischen Stilllegungssatz ab. Beispielsweise ging der Rapsanbau auf Stilllegungsflächen auf-

grund der Senkung des Stilllegungssatzes im Jahr 2004 um über 100.000 ha zurück. Zwischen 2005 und 2007 hat der Rapsanteil an den NR-Kulturen auf Stilllegungsflächen auf 75 % abgenommen. Dies liegt einerseits an der etwas zurückgehenden Rapsfläche auf Stilllegung, andererseits haben andere NR-Kulturen auf ca. 110.000 ha zugenommen. Im Jahr 2007 stellten Kulturen zur Produktion von Gärsubstraten 63 % der NR-Fläche ohne Raps. Die verbleibende NR-Fläche entfällt auf Rohstoffe für die Ethanolproduktion, für Festbrennstoffe und für die stoffliche Nutzung.

Abbildung 5.3: Entwicklung des Energiepflanzenanbaus auf Stilllegungsfläche und mit Energiepflanzenprämie (Entwicklung 1994 bis 2009)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Fachserie 3, Reihe 3, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (div. Jgg.), Meldedaten der BLE über Nachwachsende Rohstoffe auf Flächenstilllegung sowie die Energiepflanzenprämie (div. Jgg.).

Als weiteres Element zur Förderung der NR-Produktion im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik wurde 2004 erstmals eine Energiepflanzenprämie ausgezahlt. Mit 45 €/ha stellte diese Förderung nach Entkopplung der Direktzahlungen von der Produktion ein an die Produktion gekoppeltes Element in der Agrarförderung mit vergleichsweise geringer Anreiz- und Steuerungswirkung dar. Die mit der Energiepflanzenprämie geförderte Fläche wird in Abbildung 5.3 ebenfalls dargestellt. Auf andere Kulturen als Raps entfallen im Vergleich zu NR auf Stilllegungsfläche größere Flächenanteile. Im Jahr 2009 wurden nach Daten der BLE knapp 290.000 ha für Biogas-Gärsubstrate gefördert, dabei war Mais

mit 84 % der Fläche die wichtigste Kultur. Gefördert wurden auch 366 ha Kurzumtriebsplantagen.

Seit der Entkopplung der Direktzahlungen ist die Notwendigkeit für die obligatorische Flächenstilllegung als Instrument zur Begrenzung der Produktion entfallen. Eine solche Begrenzung wird für gekoppelte Stützungszahlungen durch internationale handelsrechtliche Vereinbarungen der Welthandelsorganisation (WTO) vorgeschrieben. Aufgrund gestiegener Preise für Agrarprodukte und aufgrund des bürokratischen Aufwands für die Umsetzung der Stilllegungsregelung wurde sie für die Vegetationsperiode 2007/08 ausgesetzt und im Rahmen des „Health Check“ der EU-Agrarpolitik zum Wirtschaftsjahr 2008/09 ganz abgeschafft. Im Jahr 2010 entfällt gemäß der „Health Check“-Beschlüsse auch die Energiepflanzenprämie.

Nach Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung wird die bisherige Stilllegungsfläche in den letzten Jahren verstärkt in Nutzung genommen. Bis 2009 ist die Stilllegungsfläche auf 245.000 ha zurückgegangen, d. h. auf weniger als ein Drittel der Fläche im Jahr 2005. Die verbleibende Fläche dürfte für eine ackerbauliche Nutzung nur eingeschränkt geeignet sein. Inwieweit auch weniger ertragsfähige, marginale Stilllegungsflächen zukünftig produktiv genutzt werden, ist abhängig von den weiteren Markt- und Preisentwicklungen.

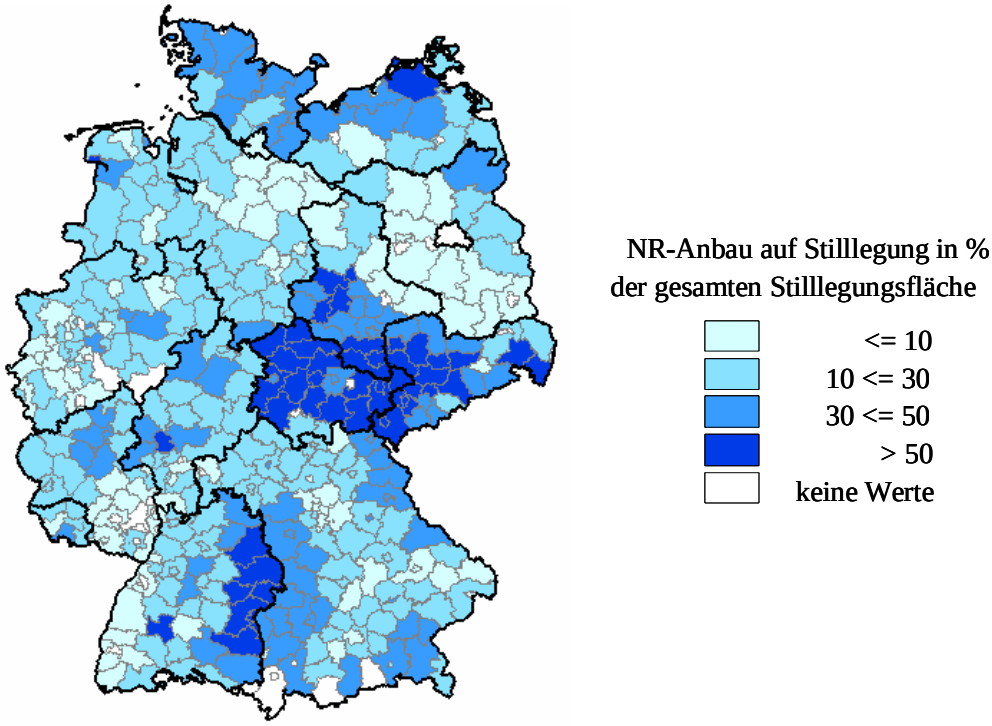
Die seit 2007 eingetretene Entwicklung mit einem deutlichen Rückgang der nicht genutzten Stilllegung zeigt, dass die produktive Nutzung der Stilllegungsflächen mit NR-Kulturen offenbar für viele Betriebe zuvor aufgrund des bürokratischen Aufwands für Anträge und Verwendungsnachweise nicht ausreichend attraktiv war. Nach Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung nahmen viele Betriebe die Nutzung dieser Flächen wieder auf, wo zuvor eine NR-Nutzung unterblieben war. In der Vergangenheit waren besonders die großen Ackerbaubetriebe an der NR-Produktion auf Stilllegungsfläche beteiligt, für die der Antragsaufwand weniger ins Gewicht fällt (vgl. NITSCH et al., 2008). Dies wird auch anhand Karte 5.1 deutlich, beispielsweise anhand der Schwerpunkte der NR-Produktion in Sachsen und Thüringen. Die schnelle Innutzungsnahme der zuvor stillgelegten Fläche ist auch vor dem Hintergrund der hohen Agrarpreise im Jahr 2008 zu sehen.

Mit der Abschaffung der obligatorischen Flächenstilllegung entfällt auch die Anreizwirkung, die von den geringeren Nutzungskosten der Stilllegungsfläche für die NR-Produktion ausgegangen ist. Für die Analyse des NR-Anbaus ergibt sich durch die Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung eine neue Referenzsituation, da nicht mehr die ungenutzte Agrarfläche als Alternative zur NR-Produktion angenommen werden kann.

Die energetische Nutzung von Biomasse, die weder auf Stilllegungsfläche noch mit Energiepflanzenprämie angebaut wird, ist hier nicht berücksichtigt, da sie statistisch nicht erfasst ist. Die Schätzungen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gehen von einer NR-Anbaufläche von insgesamt etwa 2 Mio. ha aus. Eine den einzelnen Anbauflä-

chen zugeordnete statistische Erfassung des NR-Anbaus in Deutschland wird künftig voraussichtlich nur noch zu Kulturen für die Biogasproduktion im Rahmen der Agrarstatistik erfolgen.

Karte 5.1: Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegung in Prozent der gesamten Stilllegungsfläche (2003)



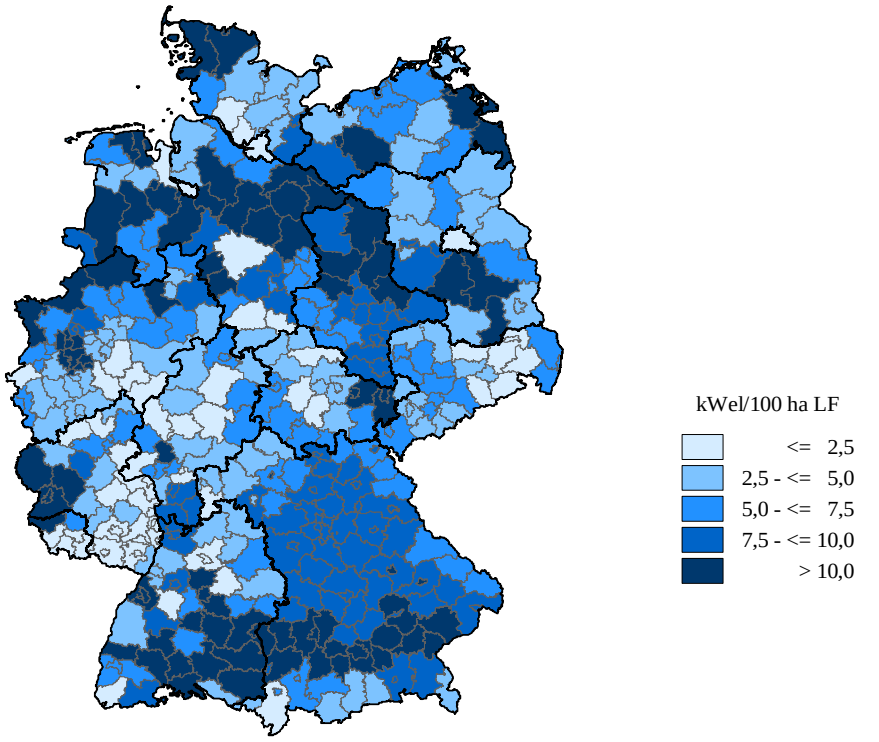
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes auf Kreisebene für das Jahr 2003.

5.2 Anbau von Gärsubstraten für die Biogasproduktion im Jahr 2007

Die folgenden Darstellungen basieren auf der Agrarstrukturerhebung 2007, bei der als neues Merkmal der Anbau von Gärsubstraten für die Biogasproduktion erhoben wurde. Die Daten wurden auf Kreisebene durch eine Abfrage bei den Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder verfügbar gemacht und enthalten zur Einhaltung des Datenschutzes viele Lücken, nämlich wenn in einem Kreis drei oder weniger Betriebe Gärsubstrate produzieren. Für Schleswig-Holstein und Hamburg wurden diese Merkmale nicht erhoben. Dennoch geben die Daten Einblicke in die regionale Verteilung der Gärsubstratproduktion. Im Datensatz sind insgesamt 385.184 ha Anbaufläche für Gärsubstrate gemeldet, darunter 244.908 ha Silomais, 103.015 ha Ganzpflanzensilage und andere Ackerkulturen sowie 37.260 ha Grünland.

Die Karten 5.2 bis 5.4 geben eine Übersicht über die regionalen Schwerpunkte der Biogaserzeugung, des Silomaisanbaus insgesamt im Jahr 2007 und den Flächenzuwachs 2003 bis 2007 auf Basis der LF. Karte 5.2 zeigt die installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen in kW_{el} je 100 ha LF. Die Daten für die Karte wurden aus Listen der Agrarressorts der Länder sowie auf Grundlage von Monitoringdaten des DBFZ zusammengestellt, die für das FNR-Projekt zur Verfügung gestellt wurden. Der so entstandene Datensatz ist nicht vollständig, dürfte aber eine gute Näherung an die tatsächliche Situation darstellen. Schwerpunkte der Biogasproduktion liegen in der norddeutschen Tiefebene und in Süddeutschland im Alpenvorland und im Süden Baden-Württembergs.

Karte 5.2: Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen in kWel je 100 ha LF (2007)

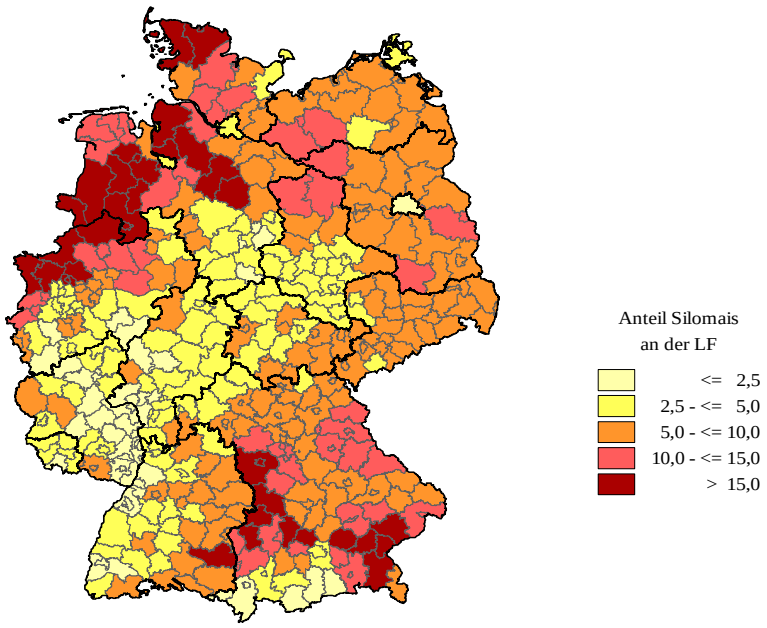


Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Länderministerien sowie des DBFZ zur Anzahl, Leistung und regionalen Lage von Biogasanlagen für das Jahr 2007, z. T. auch 2008.

Bezüglich der Silomaisproduktion lassen sich zwei Schwerpunkte erkennen (siehe Karte 5.3), zum einen in der norddeutschen Tiefebene, hier vor allem in Schleswig-Holstein, im nördlichen und westlichen Niedersachsen und im Norden Nordrhein-Westfalens, und zum anderen in Bayern und im angrenzenden Baden-Württemberg. Der größte Flächenzuwachs (siehe Karte 5.4) lag ebenfalls in diesen Gebieten, daneben auch im östlichen Niedersachsen, in Mecklenburg-Vorpommern, im nördlichen Sachsen-Anhalt, in Rheinland-Pfalz sowie im Süden Baden-Württembergs. Bezüglich der Flächenanteile von Silomais und

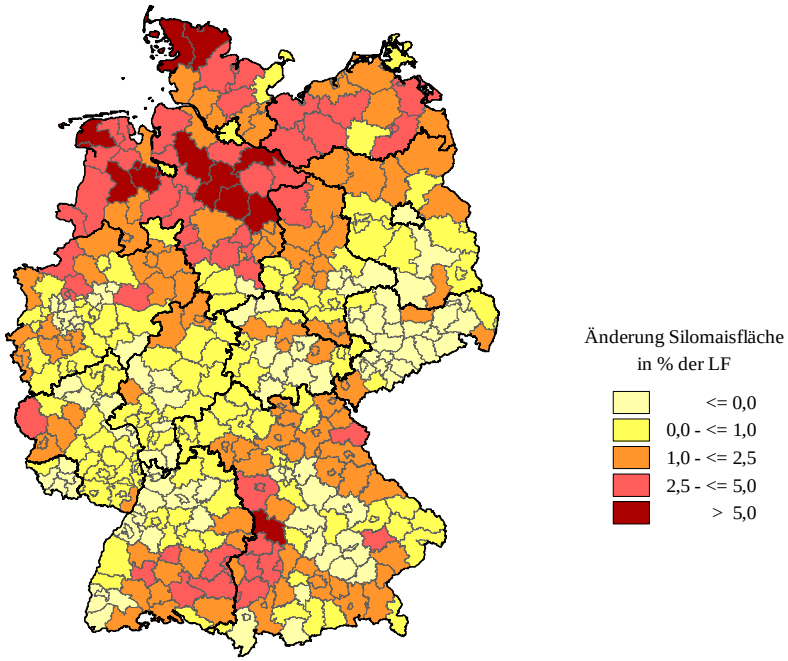
vor allem bei der Flächenveränderung lassen sich Übereinstimmungen mit dem regionalen Muster der Biogasanlagenleistungen je 100 ha LF erkennen.

Karte 5.3: Anteil Silomais an der LF (2007)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2007, eigene Berechnungen.

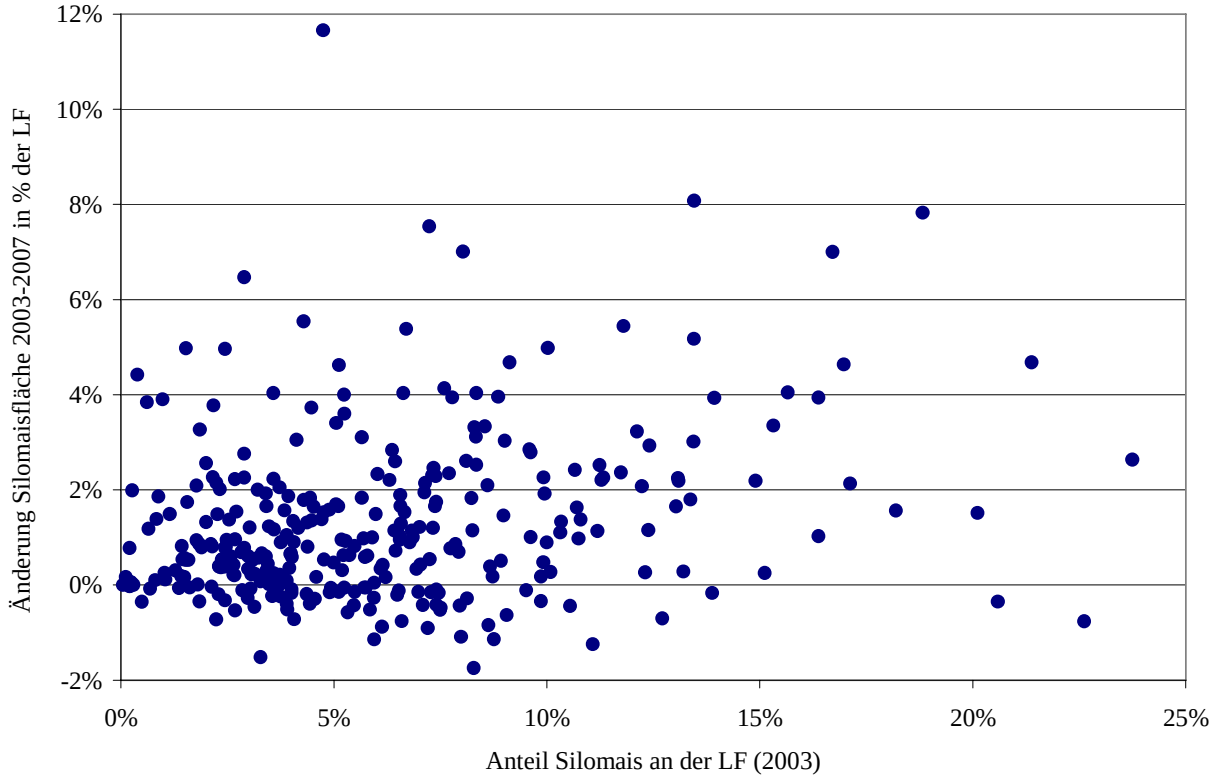
Karte 5.4: Änderung Silomaisfläche in Prozent der LF, 2003 bis 2007



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2003 und 2007, eigene Berechnungen.

Ergänzend zu der Kartendarstellung wird in Abbildung 5.4 der Zuwachs der Silomaisfläche in Bezug zu den Flächenanteilen von Silomais an der LF im Jahr 2003 gesetzt. In dieser Darstellung zeigt sich, dass die Fläche in den meisten Regionen zugenommen hat. Weiterhin ist kein klarer Trend zu erkennen, etwa zu höheren Zunahmen bei bereits 2003 hohen Anbauanteilen. Diese Verteilung weist darauf hin, dass der Silomaiszuwachs auf breiter Fläche stattgefunden hat, also auch in Regionen mit bisher eher geringen Anbauanteilen von Silomais.

Abbildung 5.4: Entwicklung der Silomaisfläche zwischen 2003 und 2007 in Abhängigkeit vom Anteil der Silomaisfläche an der LF (2003)

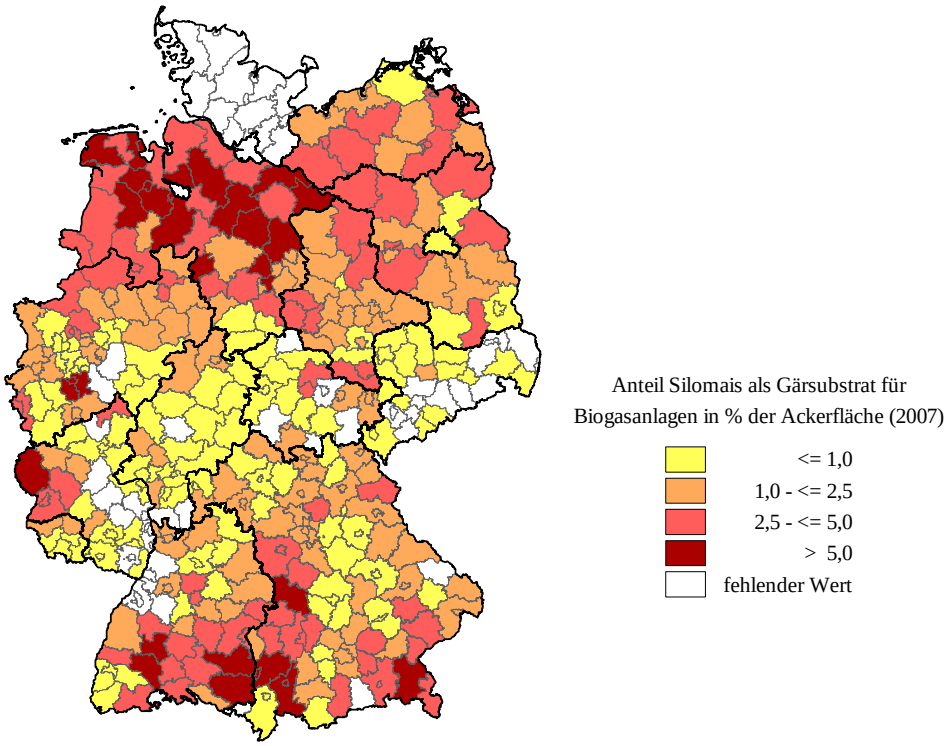


Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2003 und 2007.

In Karte 5.5 wird die Gärsubstratproduktion auf Basis von Silomais in Prozent der Ackerfläche abgebildet. Schwerpunkt der Maisproduktion für Biogas bildet Niedersachsen, wo besonders viele Regionen einen Biogas-Maisanteil an der Ackerfläche von über 5 % aufweisen. In Schleswig-Holstein, wo die entsprechenden Daten nicht erhoben wurden, dürften die Verhältnisse vergleichbar zu Niedersachsen sein. Die Kreise in Bayern und Baden-Württemberg mit hohen Anteilen Biogas-Mais im Voralpengebiet und im Bereich des Schwarzwalds weisen z. T. hohe Grünlandanteile auf. Entsprechendes gilt auch für den Nordwesten Niedersachsens.

In Gebieten mit hohem Grünlandanteil liegt der Silomaisanteil an der Ackerfläche aufgrund des vorherrschenden Futterbaus in vielen Gebieten ohnehin besonders hoch, vor allem an der Nordseeküste und im Voralpengebiet. Kleinere absolute Erhöhungen der Silomaisfläche resultieren in diesen Gebieten aufgrund des geringen Ackerlandanteils in entsprechend hohen Anbauanteilen. Obwohl in Karte 5.5 nicht die LF, sondern die Ackerfläche als Bezugsbasis gewählt wurde, ergeben sich ähnliche regionale Muster wie in den Karten 5.2 zur Anlagenleistung und 5.4 zur Zunahme des Silomaisanbaus.

Karte 5.5: Anteil Silomais als Biogas-Gärsubstrat in Prozent der Ackerfläche (2007)



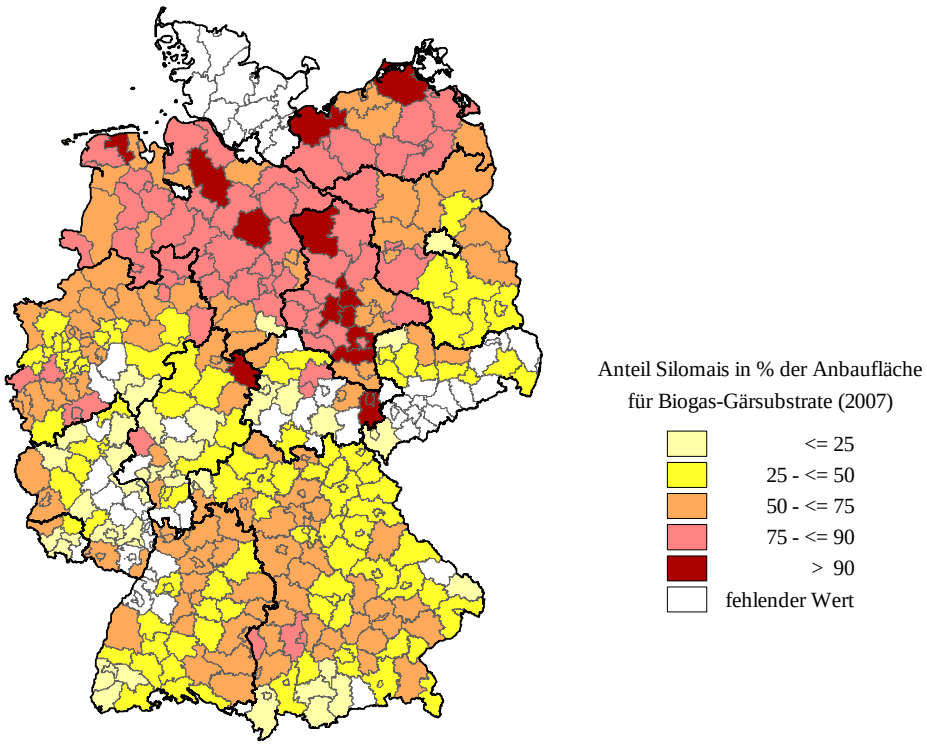
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2007, eigene Berechnungen.

Der Anteil von Silomais an der Anbaufläche für Gärsubstrate insgesamt liegt bei 64 %, regional ist die Bedeutung des Silomais aber sehr unterschiedlich (Karte 5.6). Generell liegt der Anteil von Silomais an der Gärsubstratfläche in Norddeutschland wesentlich höher als in Süddeutschland, in den Mittelgebirgsregionen sowie im Südosten der neuen Länder (Brandenburg und Sachsen). In letzteren Regionen spielen Ganzpflanzensilage und Grünland eine größere Rolle.

Die Entwicklung des Silomaisanbaus insgesamt, wie sie in Karte 5.3 vorgestellt wurde, wird zwar stark durch die Zunahme der Gärsubstratproduktion auf Silomaisbasis seit

2003 bestimmt. Sie ist aber auch durch unterschiedliche gerichtete Veränderungen der Futtermaisfläche beeinflusst. In Regionen mit abnehmender Bedeutung der Rinderhaltung nimmt die Silomaisproduktion zu Futterzwecken weiter ab, während es in Regionen mit intensiver Rinder- und vor allem Milchviehhaltung auch eine Zunahme der Silomaisfläche als Futtergrundlage geben kann.

Karte 5.6: Anteil Silomais in Prozent der Anbaufläche für Biogas-Gärsubstrate (2007)



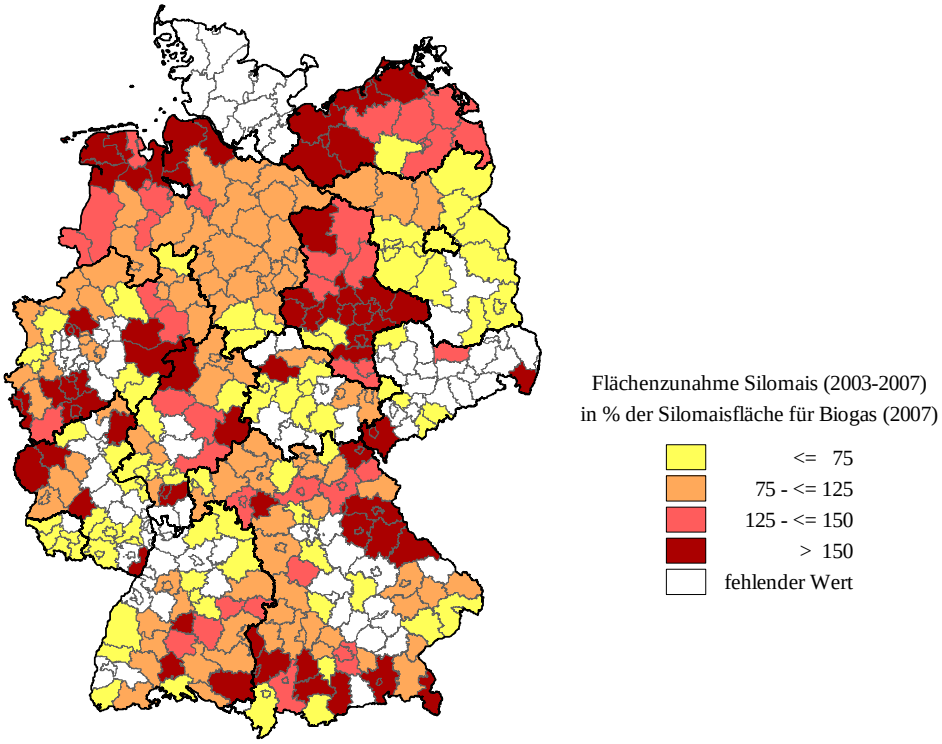
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2007, eigene Berechnungen..

In der Karte 5.7 wurde deshalb die Flächenveränderung von Silomais insgesamt in Relation zur Silomaisfläche für Gärsubstrate im Jahr 2007 gesetzt. Diese Darstellung erfolgt unter der Annahme, dass Biogas-Mais realitätsnah deklariert wurde. Dieser Kartendarstellung liegt die Annahme zugrunde, dass die Gärsubstratfläche im Wesentlichen seit 2003 etabliert wurde und somit „neue“ Silomaisfläche darstellt. Liegt nun der Flächenzuwachs der Silomaisfläche insgesamt zwischen 2003 und 2007 über der Gärsubstratfläche im Jahr 2007, muss auch die Futtermaisfläche ausgeweitet worden sein. Liegt der Flächenzuwachs dagegen unterhalb des Flächenzuwachses für Gärsubstrate, wurde die Futtermaisfläche verkleinert.

Die Karte 5.7 gibt somit Aufschluss über die regionale Zu- oder Abnahme der Futtermaisfläche. In vielen Futterbauregionen, etwa an der niedersächsischen Nordseeküste, in Mecklenburg-Vorpommern, Nordhessen und im Sauerland, im Bergischen Land und in der Eifel, im Bayerischen Wald und im Voralpengebiet lag der Silomaiszuwachs zwischen 2003 und 2007 bei 150 % der mit Silomais bestellten Gärsubstratfläche im Jahr 2007. In diesen Regionen ist es offensichtlich zu einer zusätzlichen Ausdehnung des Futtermaisanbaus gekommen. Der starke Zuwachs an sonstiger Silomaisfläche in Sachsen-Anhalt könnte darauf zurückzuführen sein, dass nicht alle Silomaisflächen für Biogas korrekt deklariert wurden.

In einer Reihe von Regionen mit weniger wettbewerbsfähigem Futterbau (Baden-Württemberg, Brandenburg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Thüringen) ist die Futtermaisfläche zurückgegangen, sodass der Silomaisflächenzuwachs deutlich unter der Gärsubstratfläche liegt. In einer Vielzahl von Regionen wird die Zunahme der Silomaisfläche näherungsweise durch die Gärsubstratfläche im Jahr 2007 erklärt. Zu einer größeren Veränderung der sonstigen Silomaisfläche ist es hier zwischen 2003 und 2007 somit nicht gekommen.

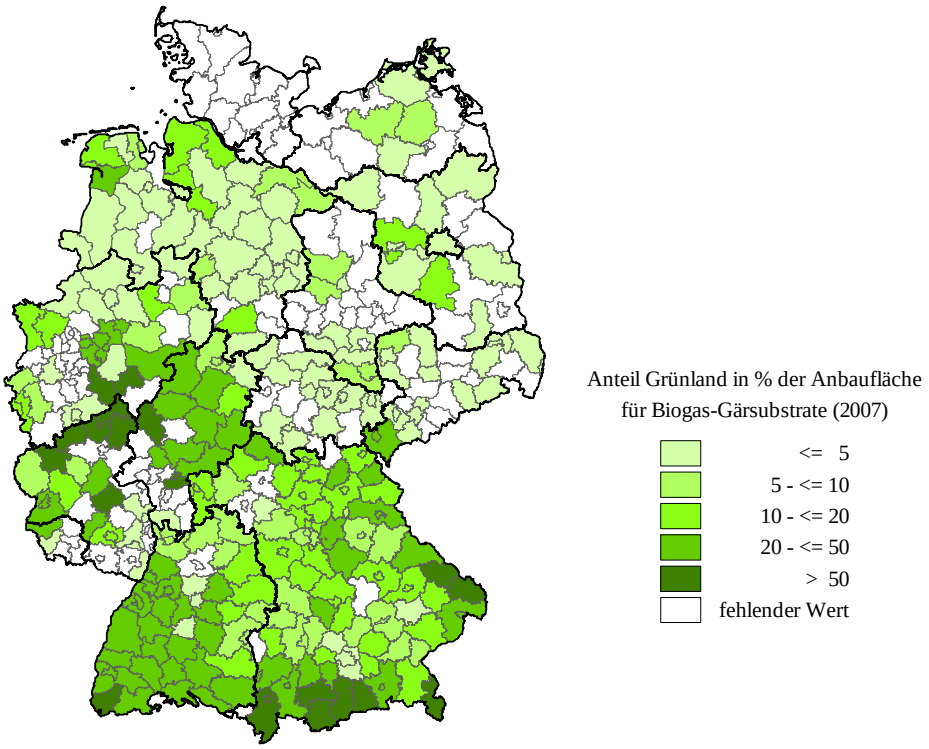
Karte 5.7: Flächenzunahme von Silomais (2003 bis 2007) in Prozent der Silomaisfläche für Biogasproduktion (2007)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2003 und 2007, eigene Berechnungen.

Wie die Karte 5.8 zeigt, spielt Grünland in Norddeutschland nur eine sehr untergeordnete Rolle als Anbaufläche für Gärsubstrate. In Süddeutschland und den Mittelgebirgsräumen stellen Grünlandflächen z. T. einen bedeutenden Anteil an allen Gärsubstratflächen dar, vor allem in Regionen mit hohem Grünlandanteil. An der Grenze zwischen Bayern und Hessen einerseits und Thüringen andererseits lässt sich erkennen, dass die Verteilung der Biogaskulturen nicht nur naturräumlich, sondern auch agrarstrukturell bedingt ist. Während in den kleineren, westdeutschen Agrarstrukturen eine höhere Grünlandnutzung für Biogas zu beobachten ist, liegt sie in den benachbarten Mittelgebirgsräumen der neuen Länder auf sehr niedrigem Niveau. In kleineren Betrieben und in den genannten Regionen, meist auch kleineren Biogasanlagen, wird demnach mehr Grünlandsubstrat verwertet.

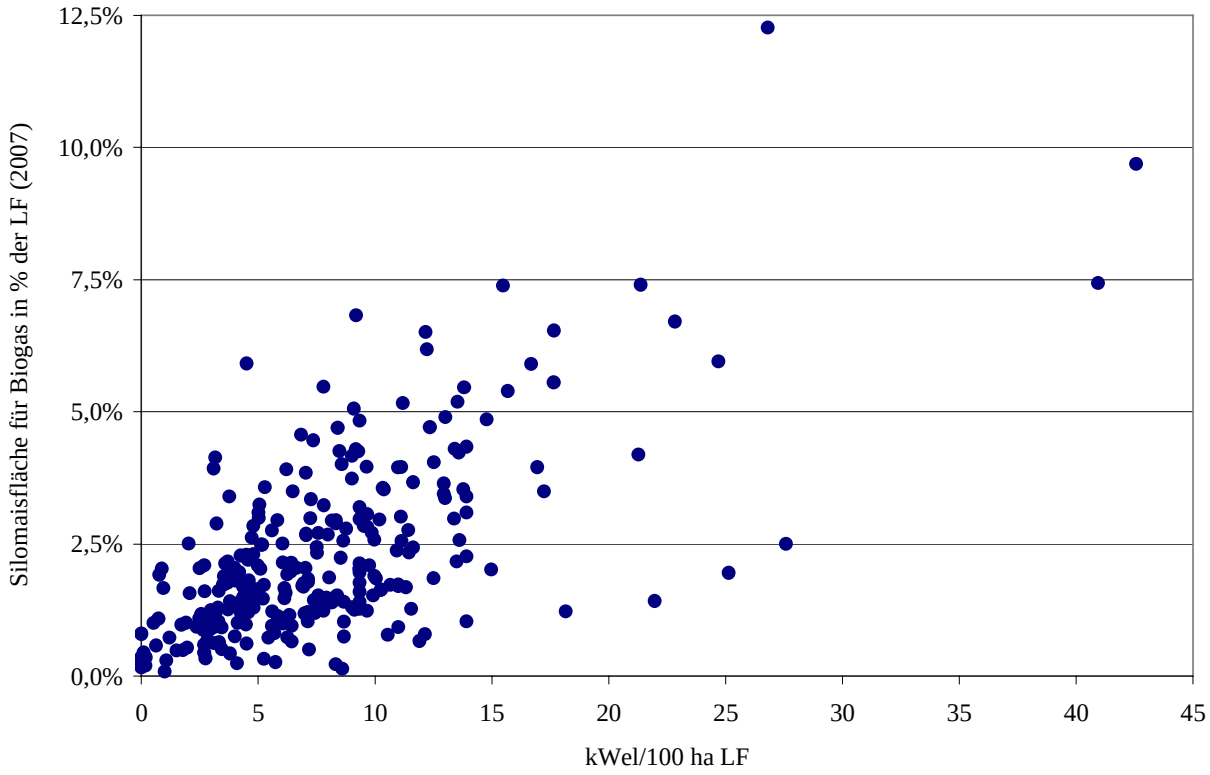
Karte 5.8: Anteil Grünland in Prozent der Anbaufläche für Biogas-Gärsubstrate (2007)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2007, eigene Berechnungen.

In Abbildung 5.5 wird der Zusammenhang zwischen der installierten elektrischen Leistung der Biogasanlagen und der Silomaisfläche für Gärsubstrate mit der LF als Bezugsgröße dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Gärsubstratzusammensetzung, und sicherlich auch wegen des unvollständigen regionalen Datensatzes für die Biogasanlagen, ist eine deutliche Streuung zu erkennen. Ebenso ist ein Zusammenhang zwischen den Anbauanteilen von Biogas-Mais und dem Indikator für die Anlagendichte zu erkennen.

Abbildung 5.5: Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen je Hektar LF und Silomaisfläche als Biogas-Gärsubstrat in Prozent der LF (2007)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2007; Daten über Biogasanlagen der Bundesländer und des DBFZ, eigene Berechnungen.

Der Frage, in welchen Regionen sich die Schwerpunkte der Gärsubstartproduktion herausbilden, wurde mit Hilfe einer Korrelationsanalyse nachgegangen (siehe Tabelle 5.1). Dabei wurden die Anbauanteile für Biogas-Mais sowie von allen Gärsubstraten an der LF im Jahr 2007 und der Flächenzuwachs von Silomais zwischen 2003 und 2007 mit ausgewählten Strukturvariablen korreliert. Die Anlagendichte in kWel/100 ha LF hängt stark mit den Anbauanteilen der Gärsubstrate zusammen, wie dies für Silomais auch anhand der Abbildung 5.5 erkennbar ist. Aufgrund der Überlagerung mit der Zu- und Abnahme der Futtermaisfläche ist der Zusammenhang zur Flächenentwicklung der gesamten Silomaisfläche weniger stark ausgeprägt.

Die Silomaisflächenanteile in den Jahren 1999 und 2003 hängen deutlich mit den Flächenanteilen für Gärsubstraten zusammen, der Zusammenhang ist aber im Vergleich zur Korrelation zwischen Gärsubstarten und Anlagendichte weniger stark. Dies bedeutet, dass die Gärsubstratproduktion Schwerpunkte in Regionen mit Futtermaisanbau bildet. Der schwächere Zusammenhang ist damit zu begründen, dass sich die Gärsubstratproduktion

auch in auf Marktfruchtbau spezialisierten Regionen findet, die in den Jahren 1999 und 2003 geringe Silomaisflächenanteile aufwiesen.

Nur ein schwacher und für Biogas-Mais nicht signifikanter Zusammenhang besteht zur Viehbesatzdichte je Hektar LF. Dies ist sowohl durch die Ausdehnung der Gärsubstratproduktion in Marktfruchtbauregionen als auch durch ihre geringere Bedeutung in vielen Grünlandregionen mit höherem Viehbesatz zu erklären. Zwischen dem Flächenstilllegungsanteil an der LF im Jahr 1999 – als Indikator für ertragsschwache, extensiver genutzte Ackerstandorte – und den Flächenanteilen für Gärsubstrate besteht kein Zusammenhang. Bei der Flächenentwicklung von Silomais insgesamt ergibt sich ein leicht negativer Zusammenhang zum Stilllegungsanteil, d. h., die Ausdehnung findet tendenziell eher nicht auf ertragsschwachen Standorten statt.

Tabelle 5.1: Korrelation der Gärsubstrat-Anbauanteile an der LF sowie der Zuwachsrate der Silomaisfläche mit ausgewählten Indikatoren auf Kreisebene

erklärende Variablen	zu erklärende Variablen		Biogasmais	Biogaskulturen insgesamt in % der LF (auf Kreisebene)	Zunahme der Silomaisfläche (2003-2007)
			n = 257	n = 278	n = 316
Biogasanlagendichte	kWel./100 ha LF	Koeffizient	**0,56**	**0,60**	**0,47**
		r	<.0001	<.0001	<.0001
Silomaisfläche in % der LF 1999	%	Koeffizient	**0,30**	**0,30**	**0,21**
		r	<.0001	<.0001	0,00
Silomaisfläche in % der LF 2003	%	Koeffizient	**0,29**	**0,29**	**0,21**
		r	<.0001	<.0001	0,00
Viehbesatzdichte (2007)	GV/ha LF	Koeffizient	0,11	**0,16**	**0,24**
		r	0,07	0,01	<.0001
Stilllegungsfläche in % der LF (1999)	%	Koeffizient	0,03	0,02	**-0,11**
		r	0,61	0,75	0,05

Korrelationskoeffizient nach Spearman, r = Signifikanzniveau; Koeffizienten bei r < 0,05 **fett**

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von Daten der Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 1999, 2003 und 2007.

Die hier vorgestellten Analysen sollten fortgesetzt werden, sobald belastbarere und vollständigere Daten über die regionale Verteilung von Biogasanlagen und über die in den Anlagen eingesetzten Substrate vorliegen.

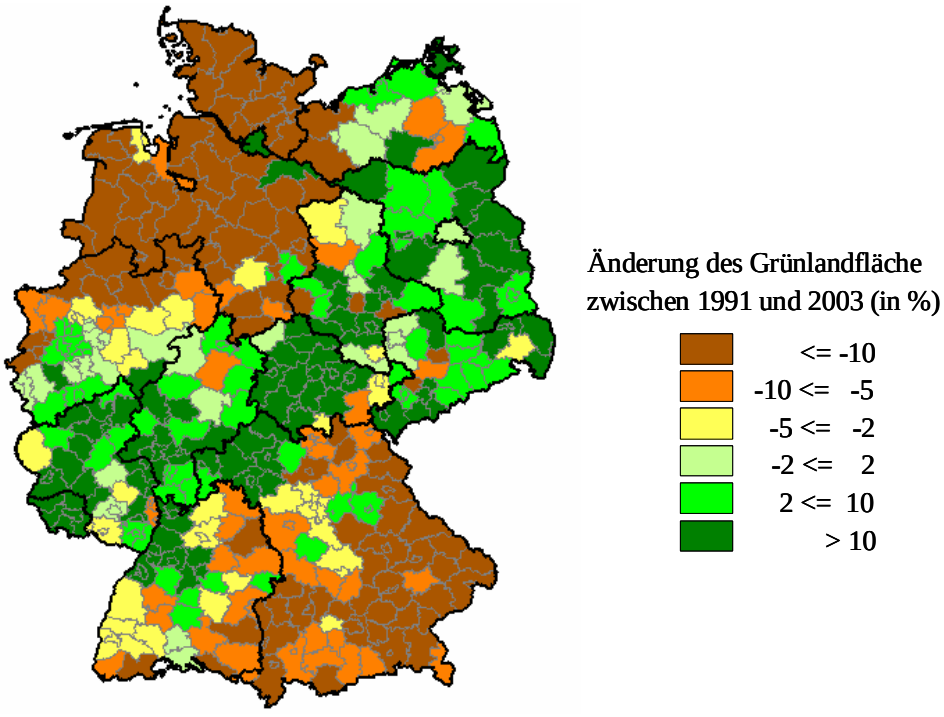
5.3 Umwandlung von Grünlandflächen in Ackerland – ein indirekter Effekt der Produktion nachwachsender Rohstoffe?

Im Zusammenhang mit der Ausdehnung der NR-Produktion auf Ackerflächen und der dabei stattfindenden Verbesserung der betriebswirtschaftlichen Vorzüglichkeit der acker-

baulichen Flächennutzung spielt die Mobilisierung neuer Ackerflächen aus Grünland eine Rolle. Wie in Abbildung 5.2 gezeigt wurde, nimmt die Ackerfläche insgesamt leicht zu, vor allem aufgrund der Umwandlung von Grünlandflächen in Ackerland. Die Grünlandfläche in Deutschland ist seit vielen Jahren rückläufig, im Durchschnitt lag der Rückgang zwischen 1992 und 2009 bei -0,6 % im Jahr. Diese Flächennutzungsänderung hat komplexe Ursachen und kann nicht einer einzelnen Ursache zugeordnet werden. Daher soll die Grünlandflächenentwicklung in diesem Abschnitt genauer betrachtet werden, aber nicht im Sinne der Überschrift des Kapitels 5, dass es sich um eine nachweisbare Auswirkung des bisherigen NR-Anbaus handeln würde.

Die Flächenentwicklung ist regional sehr unterschiedlich, wie dies in Karte 5.9 veranschaulicht wird. Während vor allem im Südosten und Nordwesten von Deutschland der Grünlandanteil um über 10 % abnahm, sind in den Mittelgebirgsregionen Zunahmen zu verzeichnen. Eine Interpretation für die ostdeutschen Länder gestaltet sich aufgrund sich überlagernder Effekte aufgrund des Strukturwandels nach 1989 schwierig. Nachdem die Nutzung umfangreicher Grünlandflächen in den neuen Ländern Anfang der 1990er-Jahre aufgegeben wurde, sind viele Flächen später wieder in Nutzung genommen worden.

Karte 5.9: Änderung der Grünlandfläche zwischen 1991 und 2003



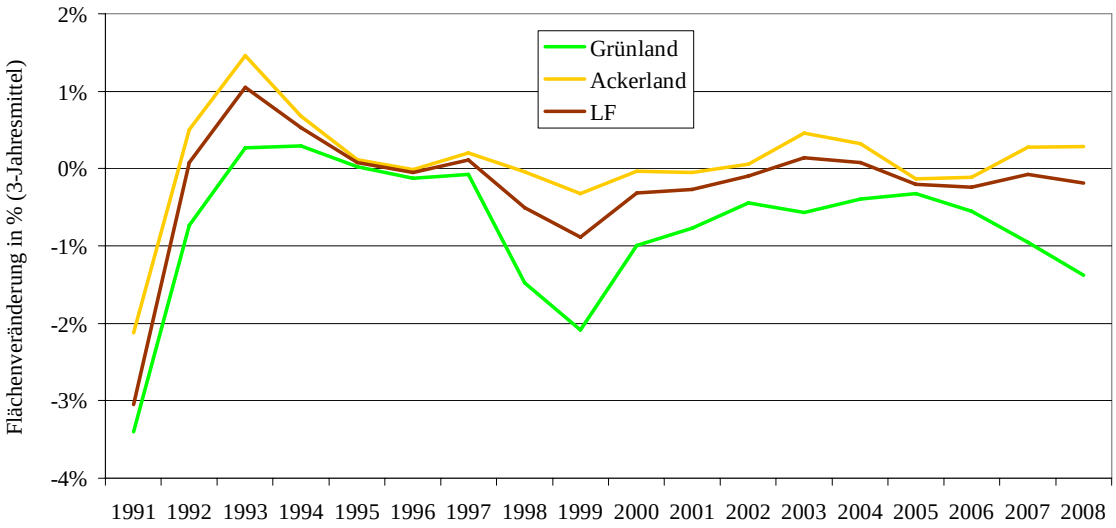
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes auf Kreisebene.

Der zeitliche Verlauf der Grünlandflächenentwicklung in Deutschland wird in Abbildung 5.6 gezeigt. Für Grünland, die Ackerfläche und die LF werden die prozentualen Änderungen im gleitenden Dreijahresmittel ausgewiesen. Die starken prozentualen Grünlandrück-

gänge Anfang der 1990er-Jahre sind auf den Strukturbruch im Osten Deutschlands und das zeitweilige Brachfallen, insbesondere der Grünlandflächen, zurückzuführen. Zwischen 1993 und 1997 blieb die Grünlandfläche insgesamt stabil. Der Einbruch um 1999 ist der Erhöhung der statistischen Erfassungsgrenze auf mindestens 2 ha Betriebsfläche geschuldet, da viel Grünland in sehr kleinen Betrieben

Zwischen 2001 und 2006 sind die Grünlandflächenrückgänge geringer ausgefallen. Ein Grund ist die „Nachmeldung“ von Flächen im Zuge der im Jahr 2005 implementierten Agrarreform. Die Einführung einer flächenbezogenen Direktzahlung für Grünland war ein Anreiz, bisher nicht im InVeKoS registrierte Grünlandflächen als Betriebsfläche für die Förderung zu melden. Nach 2005 haben die Grünlandrückgänge wieder zugenommen. bewirtschaftet wird. Die Ackerflächenveränderung war über den gesamten betrachteten Zeitraum stabil bis leicht positiv.

Abbildung 5.6: Entwicklung der LF sowie der Acker- und Dauergrünlandflächen in den Bundesländern zwischen 1991 und 2009 in Prozent (gleitende 3-Jahresmittel)



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes auf Bundesebene.

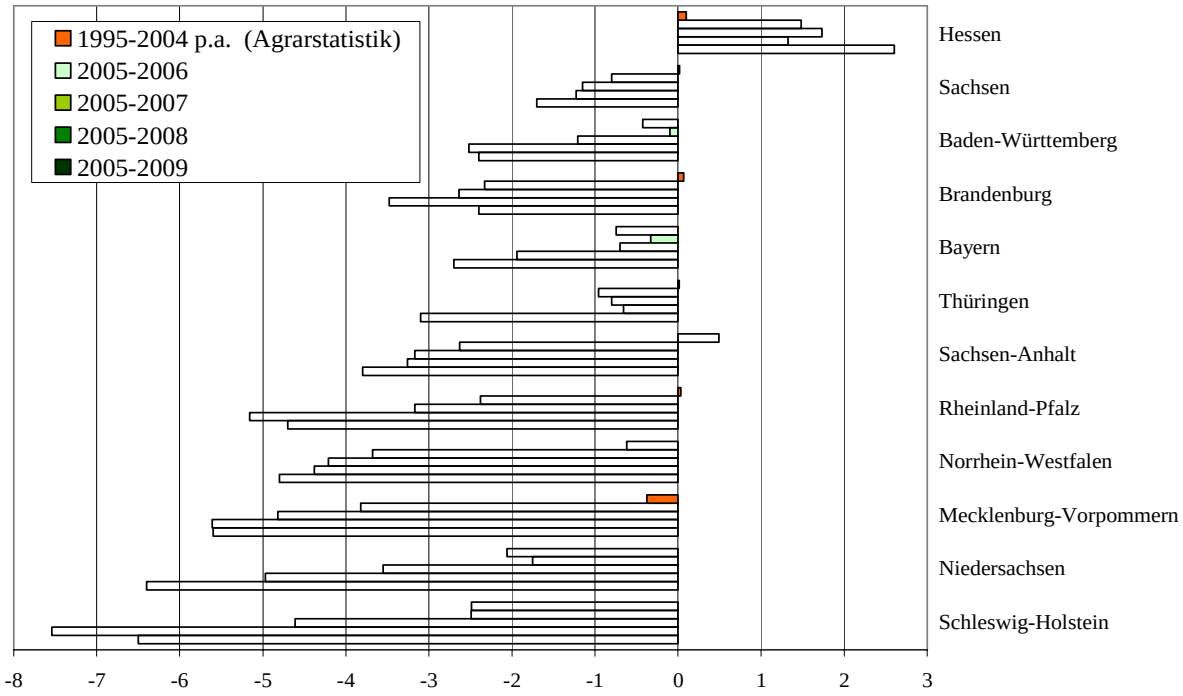
Für den verstärkten Grünlandrückgang seit 2005 können mehrere Gründe genannt werden. Vor der Reform wurden für Flächen in der Regel keine Ackerprämien gezahlt, die vor dem 31.12.1991 als Grünland genutzt wurden (vgl. GAY et al. 2003). Die seit 2005 umgesetzte Agrarreform von 2003 hat zu einer Aufhebung der vorher bestehenden Restriktionen für die Grünlandumwandlung geführt. Dies hat eine „nachholende“ Anpassung der Landnutzung ermöglicht.

Auch die ab einem bestimmten Grünlandrückgang drohenden Cross-Compliance-Anforderungen auf einzelbetrieblicher Ebene können die Entwicklung beschleunigt ha-

ben. Diese können als Anreiz für Betriebe mit ackerfähigen Grünlandstandorten gewirkt haben, Grünlandflächen möglichst bald nach Einführung der Reform umzuwandeln, um eine Verpflichtung zu einer Wiedereinsaat zu vermeiden. Auf die Prämienberechtigung der Flächen hat diese Umwandlung keinen Einfluss. Als weitere mögliche Ursachen für die Grünlandverluste sind die hohen Preise für Ackerbauprodukte in den Jahren 2007 bis 2009, der sehr schnelle Strukturwandel in der Milchviehhaltung und der Ausbau der NR-Produktion, z. B. für Biogas-Gärsubstrate, zu nennen.

Im Rahmen von Cross Compliance wird jedes Jahr der Anteil von Dauergrünland an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche auf Ebene der Bundesländer bestimmt, und zwar auf Basis der im InVeKoS gemeldeten Flächen an Ackerland, Dauergrünland und Dauerkulturen. Anhand der jährlichen Auswertungen der InVeKoS-Daten zeigt sich, dass der Grünlandanteil in den letzten Jahren in allen Bundesländern, mit Ausnahme von Hessen, auf Landesebene deutlich abgenommen hat (siehe Abbildung 5.6).

Abbildung 5.7: Jährliche Änderung der Grünlandflächenanteile nach Agrarförderstatistik (2005 bis 2009) und Agrarstatistik (1996 und 2004)



%-Änderung des Dauergrünlandflächenanteils an der gemeldeten landwirtschaftlichen Fläche nach InVeKoS-Daten
1995 - 2004: prozentuale jährliche Flächenveränderung auf Grundlage der Agrarstatistik

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von ALLIANCE ENVIRONNEMENT (2007); Pressemitteilung vom 16.04.2008 mit Daten aus der Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, 2008a); Pressemitteilung vom 13.11.2008 mit Daten aus der Antwort der Bundesregierung auf eine schriftliche Frage (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, 2008b). Pressemitteilung vom 18.11.2009 mit Daten aus der Antwort der Bundesregierung auf eine schriftliche Frage (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, 2009).

Bei Überschreiten eines Rückgangs des Grünlandanteils an der gesamten beantragten Agrarfläche auf Landesebene um mehr als 5 % müssen gemäß der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung zur Umsetzung von „Cross Compliance“ einzelbetriebliche Genehmigungsverfahren eingeführt werden. Ab einem Rückgang von 8 % kann, ab 10 % muss eine Wiedereinsaat von Grünland erfolgen. Solche Genehmigungsverfahren sind aufgrund eingetretener, hoher Grünlandverluste in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein im Jahr 2008 und in Niedersachsen im Jahr 2009 eingeführt worden. Grünland kann in diesen Ländern nach Genehmigung in Ackerland umgewandelt werden. Durch die neu eingeführten Beschränkungen für die Grünlandumwandlung ist die rückläufige Entwicklung in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein im Jahr 2009 gestoppt worden (vgl. Abbildung 5.7).

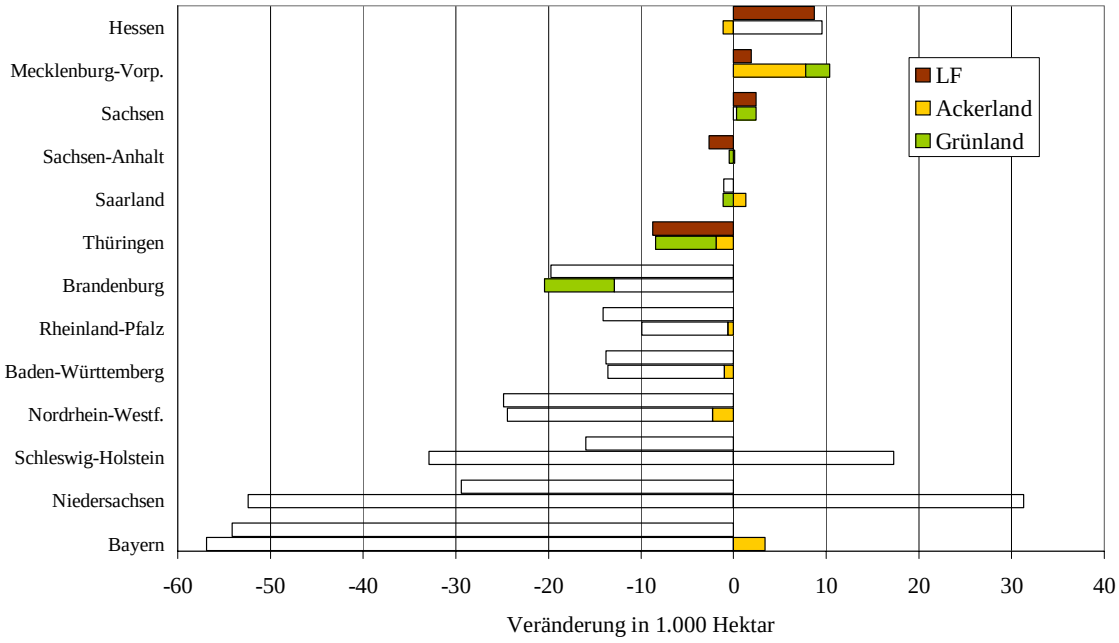
Abbildung 5.7 zeigt zusätzlich auch die Veränderung des Grünlandflächenanteils zwischen 1995 und 2004 auf Basis der Agrarförderstatistik. Beachtet werden muss, dass diese Zahlen auf Grundlage von Nettoveränderungen berechnet werden, das heißt dass regionale Verlagerungen innerhalb eines Bundeslandes saldiert und somit nicht berücksichtigt werden. Zudem sind die prozentualen Angaben zur Beobachtung der Grünlandentwicklung gemäß Cross Compliance auf Basis der gemeldeten LF berechnet.

Die Veränderungen der Acker- und Grünlandflächen zwischen 2005 und 2009 werden in Abbildung 5.8 in absoluten Zahlen wiedergegeben, die auf Basis der Agrarstatistik ermittelt wurden. Die Abbildung zeigt, dass es in einer Reihe von Ländern mit hohen Grünlandverlusten nach Förderstatistik, etwa Mecklenburg-Vorpommern oder Sachsen-Anhalt, laut Offizialstatistik keine wesentlichen Grünlandverluste gegeben hat. In den Ländern mit höheren Grünlandverlusten gehen diese meist mit erheblichen LF-Rückgängen einher. Die Ackerfläche ändert sich dabei oft nur wenig (z. B. in Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Bayern), obwohl sicher auch Ackerland in Bauland umgewidmet wird. Daher kann vermutet werden, dass hinter den Nettoangaben zur Flächenveränderung relevante Umwandlungen von Grünland in Ackerland stehen. In Schleswig-Holstein und Niedersachsen ist eine Zunahme der Ackerfläche zu beobachten, die sich aus den Umwandlungen von Grünland erklären lässt.

Die Ursachen für widersprüchliche Befunde über die Grünlandflächenentwicklung, je nachdem, ob man die Förderstatistik des InVeKoS heranzieht oder die Agrarstatistik, liegt in der unterschiedlichen Erfassung. Im InVeKoS werden nur Flächen der Betriebe geführt, die Förderanträge stellen. In einer Untersuchung des Verbleibs von Grünlandflächen in vier Bundesländern (OSTERBURG et al., 2009; Analysen in Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz) zeigte sich, dass in Bezug auf Grünlandverluste neben der Umwandlung in Ackerland auch die „Deaktivierung“ von im Jahr 2005 im InVeKoS gemeldeten Grünlandflächen eine Rolle spielt. In vielen Fällen wurde nämlich für Grünlandflächen in den Jahren nach 2005 kein Antrag mehr gestellt. Dem stehen Fälle gegenüber, in denen neue Flächen in das System aufgenommen wurden

(„Aktivierung“). Anhand der Daten für 2005 und 2007 konnte in diesen vier Ländern für über 40.000 ha Fläche eine Umwandlung von Grünland in Ackerland nachgewiesen werden, im Vergleich zu einem Grünlandflächenverlust nach Cross-Compliance-Statistik von insgesamt ca. 80.000 ha. Die Differenz ist auf „Deaktivierungen“ zurückzuführen, etwa aufgrund einer Umwidmung in Bauland oder der Fortführung der Bewirtschaftung ohne Förderung.

Abbildung 5.8: Entwicklung der LF sowie der Acker- und Dauergrünlandflächen in den Bundesländern zwischen 2005 und 2009



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes auf Landesebene.

Die Ergebnisse deuten auf erhebliche Grünlandverluste hin, die in der aggregierten Betrachtung auf Bundes- oder Landesebene aber nicht genau quantifizierbar sind und auch nicht unmittelbar dem Energiepflanzenanbau zuzuschreiben sind. Eine weitergehende Analyse der Zusammenhänge ist nur mit höher räumlich aufgelösten Daten möglich.

5.4 Analysen von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems am Beispiel Niedersachsen

Eine systematische Analyse der Flächennutzungsentwicklung ist auf Grundlage der InVeKoS-Daten möglich, insbesondere, seitdem im Jahr 2005 georeferenzierte Informationen über die Lage der im Rahmen der Agrarförderung gemeldeten Flächen vorliegen. Auf Grundlage der InVeKoS-Daten für das Jahr 2005 untersuchte erstmalig SCHNAUT (2008)

am Institut für Ländliche Räume des vTI die Wirkungen der Biogasproduktion auf die Landnutzung in Niedersachsen. In dieser Arbeit wurden Umwandlungen von Grünland im Zusammenhang mit der Biogasproduktion nachgewiesen. Eine Einordnung in die Gesamtentwicklung nahm SCHNAUT aber aus methodischen Gründen nicht vor. Ein methodisches Problem besteht darin, dass für Schläge innerhalb von Feldblöcken mit mehreren Schlägen nicht bekannt ist, wo sich der Schlag befindet. Eine direkte Zuordnung der Vor- und Nachnutzungen ist aufgrund dieser „Unschärfe" nicht möglich. Für die Feldblöcke liegen im InVeKoS-GIS dagegen präzise kartographische Informationen vor.

Aufbauend auf Vorarbeiten von SCHNAUT (2008) und OSTERBURG et al. (2009) wurden am Institut für Ländliche Räume weiterführende Analysen auf Basis der Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems durchgeführt. Diese Arbeiten erfolgten im Rahmen des Projektes „WAgriCo2" zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Niedersachsen, das aus Mitteln des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt und Klimaschutz finanziert wurde. Aufgrund der dynamischen Entwicklung im Biogassektor sollte der Frage nachgegangen werden, welche Wirkungen auf die Flächennutzung beobachtet werden können. Aufgrund der inhaltlichen Nähe wurde dabei mit dem FNR-Projekt „Modellgestützte Folgenabschätzungen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland" kooperiert. Vor diesem Hintergrund sollen im Folgenden ausgewählte Ergebnisse aus diesen Untersuchungen (OSTERBURG, 2010) vorgestellt werden. In dem WAgriCo2-Bericht sind Datengrundlagen, Methoden und Ergebnisse ausführlicher beschrieben, als dies an dieser Stelle möglich ist.

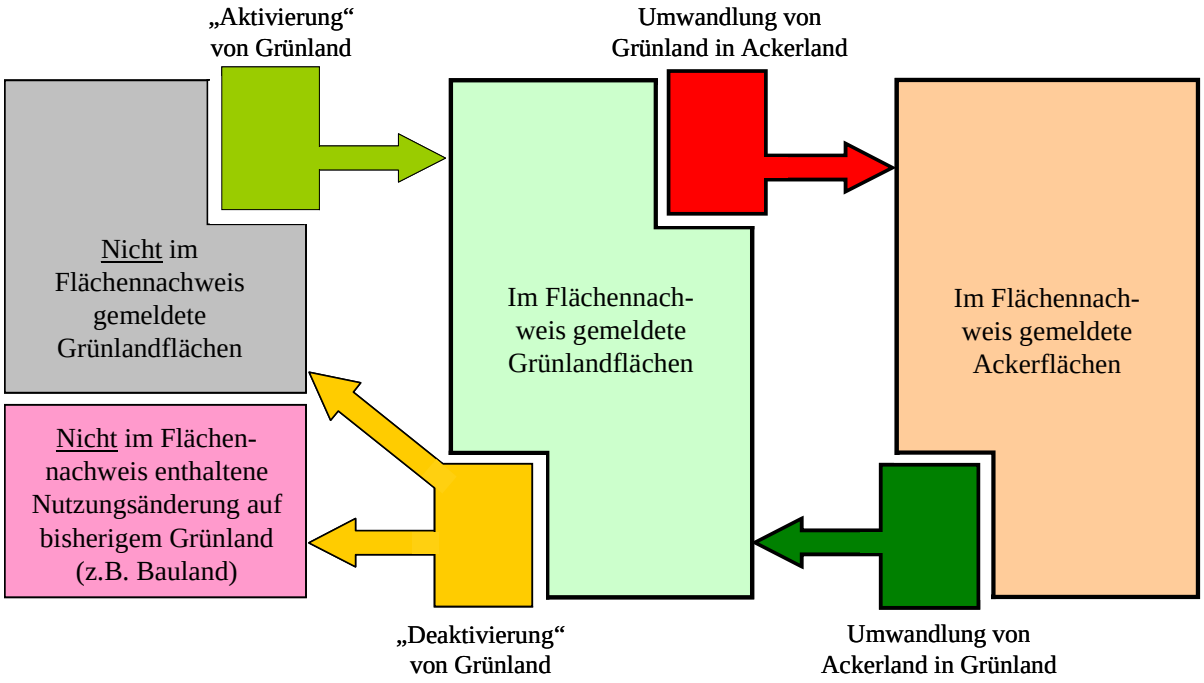
Methodische Fragen zur Ermittlung der Grünlandumwandlung

Eine zentrale Frage ist die Interpretation von Nutzungsänderungen innerhalb der Feldblöcke, was insbesondere für die Identifizierung der Umwandlung von Grünland in Ackerland relevant ist. In Feldblöcken mit verschiedenen Nutzungen lassen sich die Änderungen zwischen 2005 und 2007 nicht eindeutig einer einzelnen Vornutzung zuordnen, die Information ist in diesen Fällen innerhalb des Feldblocks „unscharf". Weiterhin spielt die Nichtmeldung von Flächen im Jahr 2007, die 2005 noch erfasst waren („Deaktivierung"), sowie die Meldung „neuer", zuvor nicht beantragter Flächen („Aktivierung") eine Rolle. Die ebenfalls stattfindende Änderung der Flächennutzung, z. B. zu Bauland, kann auf Basis der InVeKoS-Daten nicht von der Nichtmeldung ohne Flächennutzungsänderung unterschieden werden. Die Aktivierungs- und Deaktivierungsprozesse überdecken die tatsächlich stattfindenden Nutzungsänderungen. Die Größe der von Veränderungen betroffenen Flächen kann deshalb nicht in allen Fällen direkt aus den Daten abgeleitet werden, sondern muss rechnerisch abgeschätzt werden.

In Abbildung 5.9 sind die Änderungsflüsse für das Grünland, wie sie im InVeKoS-System erfasst werden, dargestellt. Dokumentiert werden nur die im Flächennachweis gemeldeten Flächen. Neben der Umwandlung von Grünland in Ackerland spielt auch die Neuetablie-

rung von Grünland aus bisherigem Ackerland eine Rolle. Über die verschiedenen Arten der Flächenveränderung können nur indirekte Schlüsse gezogen werden, die auf einem Vergleich der Meldungen für die Jahre 2005 und 2007 auf Feldblock-Basis beruhen. Eine gleichzeitige Aktivierung und Deaktivierung unterschiedlicher Teilflächen eines Feldblocks kann genauso wenig erfasst werden wie ein Flächentausch zwischen Acker- und Grünland.

Abbildung 5.9: Bilanzierung der Grünlandflächen und „Sichtbarkeit“ der Flächenveränderungen im InVeKoS-System



Quelle: OSTERBURG et al. (2009).

Zur Abschätzung der Umwandlung von Grünland in Ackerland und umgekehrt müssen zunächst die Aktivierungs- und Deaktivierungsprozesse anhand der LF-Veränderung identifiziert werden. Eine Zunahme des Grünlands in einem Feldblock bei gleichzeitiger Zunahme der LF wird als Aktivierung eingeordnet, eine Flächenabnahme, sowohl von Grünland als auch der LF, als Deaktivierung. Entsprechend wird auch im Falle von Zunahmen oder Verlusten von Ackerland bei gleichzeitiger Veränderung der LF vorgegangen. Verbleibende Flächenveränderungen ohne Änderung der LF lassen sich nun aus einer Umwandlung von Grünland in Ackerland (Abnahme von Grünland = Zunahme von Ackerland im FLIK) oder einer Umwandlung von Ackerland in Grünland (Abnahme von Ackerland = Zunahme von Grünland im FLIK) erklären. Die so berechneten Änderungen stellen einen Mindestwert für die von Nutzungsänderungen tatsächlich betroffene Fläche dar, die Unterschätzung der tatsächlichen Fläche dürfte aber in Niedersachsen aufgrund der relativ kleinen Feldblöcke von durchschnittlich ca. 3 ha vernachlässigbar sein.

Die räumliche Lage von Biogasanlagen wird anhand der Postleitzahlen und der Ortsnamen als Punktinformationen in das GIS aufgenommen. Anschließend wird für jede Anlage die Entfernung zu den Feldblöcken berechnet. Auf dieser Grundlage kann für jeden Feldblock die Entfernung zur nächsten Biogasanlage ermittelt werden. Da die tatsächliche Lage der Anlagen erheblich von den im GIS ermittelten Mittelpunkten von Postleitzahlgebieten abweichen kann, stellt dieser Indikator nur ein vergröbertes Abbild der tatsächlichen Verhältnisse dar.

Die nachfolgenden Analysen von Betrieben und Flächen mit und ohne Biogaskulturen beziehen sich auf die im InVeKoS im Jahr 2007 identifizierbare Biogas-Maisfläche, also die Fläche mit Energiepflanzenprämie oder mit Anbau auf Stilllegung, im Umfang von zusammen ca. 84.000 ha. Nach Schätzungen des BIOGASFORUMS (2007) wurde im Jahr 2007 in Niedersachsen auf etwa 110.000 ha Mais als Biogas-Gärsubstrat angebaut, daneben wurden Getreide für Ganzpflanzensilage oder Ethanol und Grünland für die Gärsubstratproduktion genutzt.

Etwa 20 % des geschätzten Flächenumfangs mit Biogas-Mais sind im InVeKoS nicht identifizierbar, da sie nicht als Stilllegungsfläche oder für die Energiepflanzenprämie gemeldet waren. Obwohl die Biogas-Maisflächen nicht vollständig erfasst sind, erlaubt der Datensatz eine umfassende und sehr detailscharfe Analyse. Die Zuwächse an Gärsubstratflächen lagen zwischen 2005 und 2007 besonders hoch, daher ist der betrachtete Zeitraum gut geeignet, um Wirkungen auf die Flächennutzung zu untersuchen. Mit dem Wegfallen der Stilllegungsverpflichtungen und der Energiepflanzenprämie wird die Identifikation von Gärsubstratflächen künftig nicht mehr flächenscharf möglich sein. Die hier angewendete Analysemethode kann daher nicht fortgeschrieben werden.

Merkmale der Betriebe mit Biogaskulturen

Etwa 10 % aller im niedersächsischen InVeKoS erfassten Betriebe bauten im Jahr 2007 Biogaskulturen an. Mit 21 % der LF sind diese Betriebe überdurchschnittlich groß. Die Verteilung der unterschiedlich spezialisierten Betriebe mit Biogas entspricht bei viehlosen Betrieben sowie Milchviehbetrieben weitgehend dem niedersächsischen Durchschnitt. Veredlungsbetriebe sind unter den Betrieben mit Biogas überproportional vertreten, Betriebe mit anderen Raufutter fressenden GV unterproportional. Dies zeigt, dass ein breites Spektrum unterschiedlicher Betriebe an der Produktion von Biogas-Gärsubstraten beteiligt ist.

Viele Betriebe mit Biogas gehören zu den überdurchschnittlich wachsenden Betrieben. Die Betriebsgruppe mit Biogas hat zwischen 2005 und 2007 insgesamt ca. 47.000 ha Ackerfläche aufgenommen, dies entspricht 10 % ihrer Ackerfläche im Jahr 2007. In Betrieben mit Biogas dominiert die Maisfläche für Gärsubstrate den Anbauflächenzuwachs, eingeschränkt werden Getreide, nicht genutzte Stilllegungsflächen und andere NR-

Nutzungen auf Stilllegungsflächen. Etwa 70 % der positiven Netto-Flächenveränderungen ist durch die Zupacht von Ackerflächen (63 %) und die Grünlandumwandlung (7 %) zu erklären, der Rest erklärt sich aus Umwidmung eigener, bereits 2005 als Acker genutzter Flächen.

Hingewiesen sei darauf, dass sich die Tierbestände in GV-Einheiten zwischen 2005 und 2007 in den betrachteten Betriebsgruppen im Vergleich zwischen Betrieben mit und ohne Biogas sehr ähnlich entwickelt haben. Ein merklicher Einfluss des Biogassektors auf die Tierhaltung, etwa ein Verdrängungseffekt, ist also im betrachteten Zeitraum nicht zu beobachten. Vielmehr nehmen auch Betriebe mit intensiver Tierhaltung die Produktion von Biogaskulturen zusätzlich ins Produktionsprogramm auf.

Ergebnisse zum Maisanbau

Eine Betrachtung auf einzelbetrieblicher Ebene zeigt, dass etwa 50 % der Maisfläche in Betrieben mit über 50 % Anbauanteil an der Ackerfläche liegt. Dies gilt sowohl für Biogas- wie auch für sonstigen Mais. Mais wird somit zu einem erheblichen Teil nicht in Fruchtfolgen angebaut. Entscheidender als die einzelbetriebliche Konzentration der Maisproduktion ist jedoch die lokale und regionale Konzentration. Hierdurch wird das Landschaftsbild beeinflusst oder hohe Maisanbauanteile stellen ein Problem für Wasserschutzziele dar.

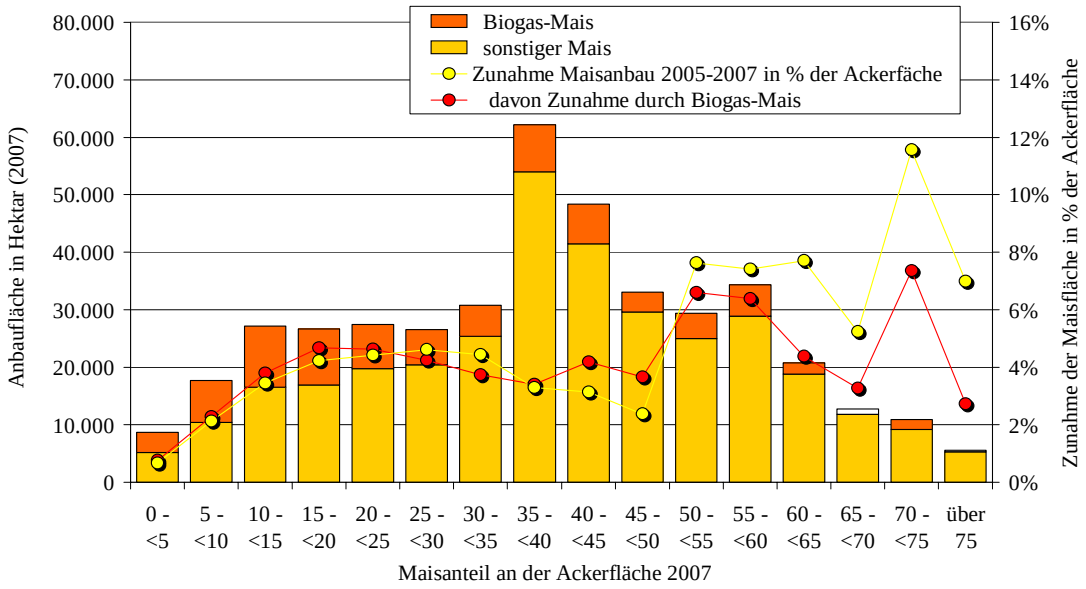
Die regionale Konzentration des Maisanbaus ist weniger ausgeprägt als die einzelbetriebliche Konzentration. Durch die regionale Aggregation werden auch Flächen von Betrieben ohne Mais berücksichtigt, was zu einer „Verdünnung“ der Anbaukonzentration führt. So gibt es in Niedersachsen keinen Landkreis mit Maisanteilen an der Ackerfläche über 55 %. Ein „Verdünnungseffekt“, der zu einer gegenüber den einzelbetrieblichen Daten geringeren regionalen Konzentration des Maisanbaus führt, ist bereits auf Ebene der Gemarkungen zu beobachten, also in Einheiten deutlich unterhalb der Gemeindeebene. Etwa 30 % der Maisflächen in Niedersachsen liegen in Gemeinden mit über 50 % Maisanteil an der Ackerfläche, und nur sehr wenige Gemeinden liegen im Bereich von über 75 % Maisanteil.

Die relative Bedeutung des Anbaus von Biogas-Mais für den Maisanbau insgesamt nimmt in Gemeinden mit hohen Maisanteilen an der Ackerfläche deutlich ab (vgl. Abbildung 5.10). Während in Niedersachsen 22 % der sonstigen Maisfläche in Gemeinden mit über 50 % Maisanteil an der Ackerfläche liegen, sind es bei Biogas-Mais nur 13 %. Dies ist auf die stärkere Verbreitung von Biogas-Mais außerhalb der Futterbau- und Veredlungsregionen zu erklären.

Die Erhöhung der Maisanbauanteile zwischen 2005 und 2007 ging jedoch in allen hier betrachteten Gemeindeklassen vor allem von der Ausdehnung der Biogas-Maisfläche aus. In Gemeinden mit hohen Maisanteilen kommt eine Ausdehnung der sonstigen Maisfläche

hinzu, während in den Gemeinden unter 50 % Ackerflächenanteil die sonstige Maisfläche insgesamt leicht zurückgegangen ist. Die Zuwächse an Maisfläche in Prozent der Ackerfläche lagen zwischen 2005 und 2007 mit über 5 % sehr hoch, und die höchsten Zunahmen lagen in Gemeinden mit hohen Maisanteilen.

Abbildung 5.10: Verteilung der Maisanteile an der Ackerfläche auf Basis von InVeKoS-Daten, gruppiert auf Gemeindeebene (Anbauflächen)



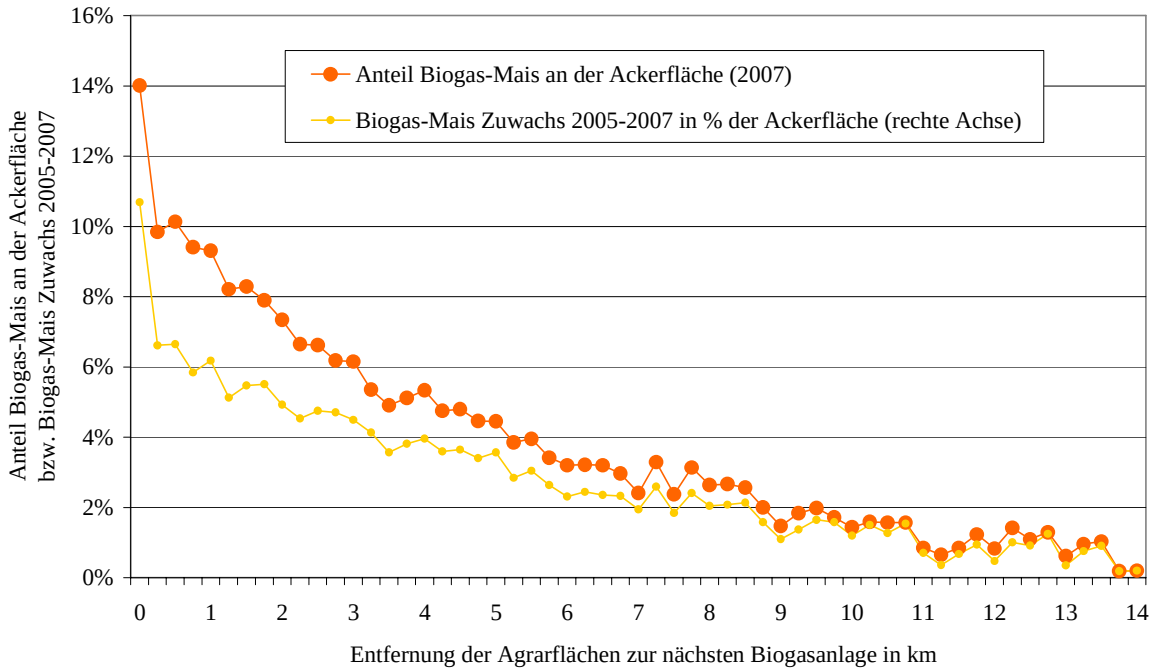
Quelle: Flächennachweise im InVeKoS des Landes Niedersachsen (2005 und 2007); eigene Berechnungen.

Ein weiterer Aspekt ist die lokale Konzentration der Maisanbauflächen in der Nähe der Biogasanlagen. Innerhalb einer Entfernung von 5 km befinden sich 55 % der gesamten Ackerfläche und 74 % des gesamten Biogas-Mais. Diese Konzentration von Biogas-Mais im Umkreis der Anlagen wird in Abbildung 5.11 als Anteil an der Ackerfläche dargestellt. Im Vergleich zu den im Landesdurchschnitt 4,5 % Anbauanteil an Biogas-Mais an der Ackerfläche liegt der Anbauanteil im nahen Umfeld der Anlagen bei über 10 %, bei Entfernungen über 5 km fällt der Anbauanteil von Biogas-Mais unter 4 %.

Gut 95 % der Biogas-Maisfläche liegt innerhalb einer Entfernung von 8 km zur nächsten Anlage. Der in Abbildung 5.11 abgebildete Zuwachs an Biogas-Maisfläche zwischen 2005 und 2007 in Prozent der Ackerfläche legt nahe, dass sich der Großteil der Ausdehnung seit 2005 vollzogen hat. Dieser hohe Flächenzuwachs zeigt sich auch beim Mais insgesamt, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sonstiger Mais nicht durch Biogas-Mais verdrängt wurde, sondern Biogas-Mais zum zuvor bestehenden Maisanteil hinzugekommen ist.

Bei der Interpretation der Ergebnisse zur Anlagenentfernung ist zu berücksichtigen, dass keine Bundesland-übergreifenden Anlagendaten für Biogasanlagen ausgewertet wurden, weshalb die Wirkung von Anlagen in benachbarten Regionen außerhalb von Niedersachsen nicht einbezogen werden konnten. Außerdem sind die im GIS digitalisierten Standorte mit Unsicherheiten bezüglich der genauen Lage behaftet. Dennoch zeigt sich in den Abbildungen ein sehr klares Bild über die räumlichen Effekte der Biogasanlagen auf die Maisproduktion.

Abbildung 5.11: Anbauanteile an Biogas-Mais an der Ackerfläche in Abhängigkeit von der Entfernung zur nächsten Biogasanlage (auf Feldblock-Ebene)



Quelle: Flächennachweise im InVeKoS des Landes Niedersachsen (2005 und 2007); eigene Berechnungen.

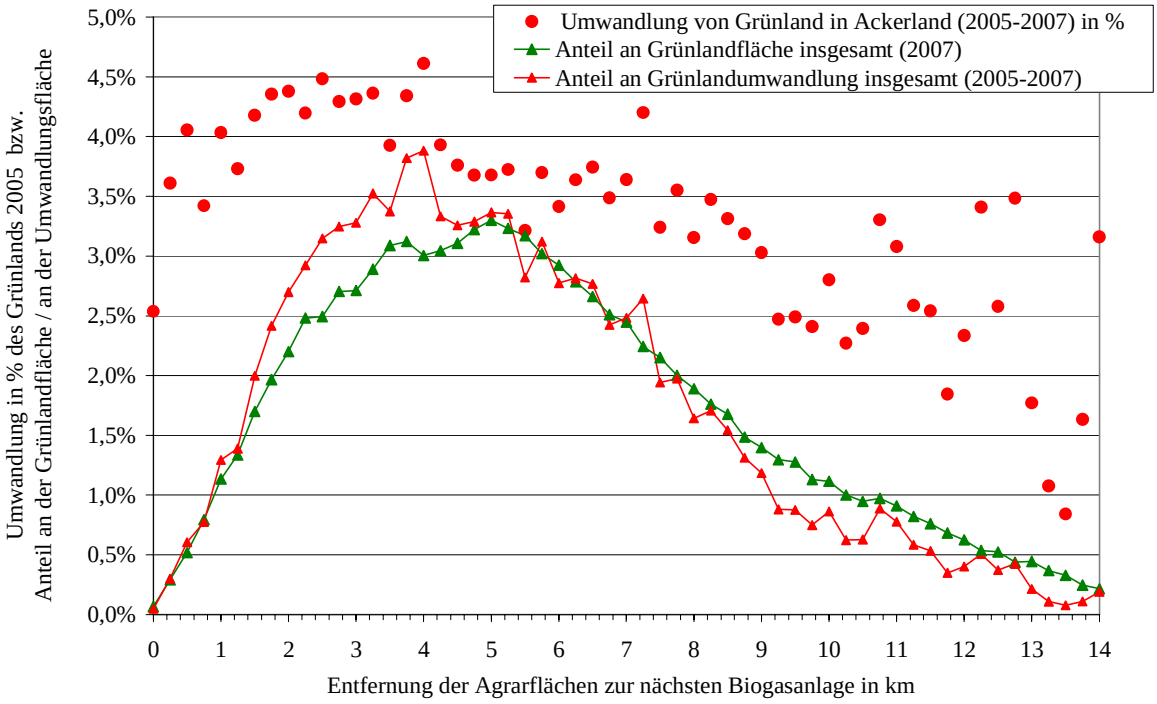
Ergebnisse zur Grünlandumwandlung in Ackerland

Insgesamt können für die Zeit von 2005 bis 2007 Umwandlungen von Grünland in Ackerland auf ca. 27.700 ha nachgewiesen werden, dies entspricht einer Verlustrate von 3,6 % über zwei Jahre bzw. 1,8 % pro Jahr. Auf 59 % der neu entstandenen Ackerfläche wurde im Jahr 2007 Mais angebaut, darunter 8 Prozentpunkte Biogasmais und 51 Prozentpunkte Mais für andere Zwecke, daneben Getreide (20 %) und Feldgras (10 %). Somit stellt Mais die bedeutendste „Nachfrucht“ nach Grünlandumwandlung in Ackerland dar.

Abbildung 5.12 zeigt auf Feldblockebene die Verteilung der Grünland- und der Umwandlungsflächen und die Umwandlungsraten zwischen 2005 und 2007 in Abhängigkeit von der Entfernung zur nächsten Biogasanlage. Im Nahbereich von Anlagen zwischen einem und 4 km Entfernung zeigen sich gegenüber dem Durchschnitt von 3,5 % leicht erhöhte

Grünlandumwandlungsraten. In größeren Entfernungen fallen die Raten tendenziell ab, streuen aber stark. Die erhöhte Verlustrate in der Nähe der Biogasanlagen ist auch an dem gegenüber dem Anteil am Gesamtgrünland überproportionalen Anteil an der gesamten Umwandlungsfläche zu erkennen (die rote Linie für den Anteil an der Umwandlungsfläche in Abbildung 5.12 hebt sich nach oben von der grünen Linie für den Anteil am Gesamtgrünland ab). Ein schwacher Einfluss auf die Grünlandumwandlung konnte auch mit Hilfe einer Regressionsanalyse auf Basis eines Logit-Modells gezeigt werden. In Anlagennähe zwischen 1 und 3 km Entfernung erhöht sich den Schätzungen zufolge die Wahrscheinlichkeit für eine Grünlandumwandlung um 0,4 Prozentpunkte.

Abbildung 5.12: Grünlandumwandlung in Ackerland (2005 bis 2007) in Abhängigkeit von der Entfernung zur nächsten Biogasanlage (auf Feldblockebene)

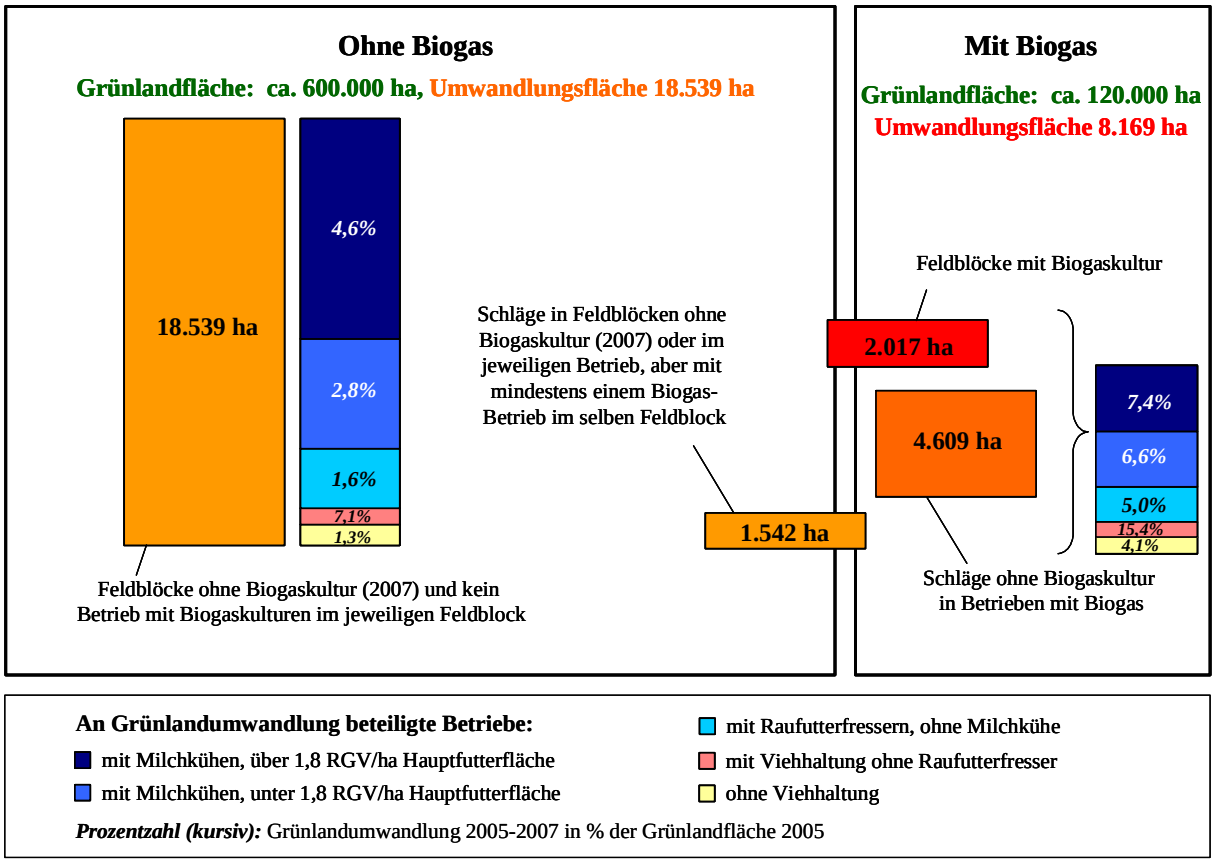


Quelle: Flächennachweise im InVeKoS des Landes Niedersachsen (2005 und 2007); eigene Berechnungen.

Eine besonders hohe Grünlandumwandlungsrate tritt bei Bewirtschafterwechseln auf. Dies kann damit erklärt werden, dass Betriebe oftmals Grünland zusammen mit Ackerland zupachten, das neu gepachtete Grünland aber nicht betriebswirtschaftlich sinnvoll verwerten können. In der Folge kann es in solchen Grünland aufnehmenden Betrieben zur Umwandlung nicht benötigter Grünlandflächen kommen. Die Verlustraten für Grünland erreichen im Durchschnitt der Feldblöcke mit Nutzerwechsel bis zu 9 %. Zusammen entfallen etwa 34 % der gesamten Grünlandumwandlungsfläche zwischen 2005 und 2007 auf die Feldblöcke mit Wechseln zwischen den Bewirtschaftern, sie repräsentieren aber nur 18 % des gesamten Grünlandes.

Durchschnittlich lag die Grünlandverlustrate durch Umwandlung in Ackerland in Betrieben ohne Biogas bei 3 %, in der Gruppe mit Biogas bei 9 %. Wachstumsbetriebe oder neue Betriebe, die aufgrund von Hofübergabe, Neugründung oder Umorganisation mit neuer Betriebsnummer im Datensatz 2007 aufgetaucht sind, weisen in beiden Gruppen besonders hohe Grünlandumwandlungsraten auf. Auch wenn die Grünlandumwandlung mit der Etablierung von Grünland durch Umwandlung von Ackerland saldiert wird, ergeben sich gerade in den Betrieben mit Biogas immer noch sehr hohe Verlustraten. Der Anteil der Betriebe ohne Biogas an der Grünlandumwandlungsfläche insgesamt liegt bei 75 %. Betriebe mit Biogas wandeln zwar mit überdurchschnittlich hohen Raten Grünland in Ackerland um, da sie jedoch nur einen kleineren Teil der LF und insbesondere des Grünlands bewirtschaften, entfällt auf sie nur etwa ein Viertel der Grünlandumwandlungsfläche zwischen 2005 und 2007. In Abbildung 5.13 wird die Umwandlung von Grünland in Ackerland differenziert nach Betrieben bzw. Schlägen und Feldblöcken mit oder ohne Biogas dargestellt.

Abbildung 5.13: Umwandlung von Grünland in Ackerland (2005 bis 2007) in Betrieben bzw. auf Flächen mit und ohne Biogaskulturen



Quelle: Flächennachweise im InVeKoS des Landes Niedersachsen (2005 und 2007); eigene Berechnungen.

Im linken Teil der Graphik stehen Feldblöcke und Betriebe ohne Biogaskulturen, rechts solche mit Biogaskulturen. Die Umwandlungsflächen sind in roten und orangen Farben proportional zu ihrem Umfang abgebildet. Rechts daneben ist die Aufteilung auf die an der Umwandlung beteiligten Betriebe abzulesen, zusammen mit den jeweiligen Grünlandumwandlungsraten. Auf Betriebe und Feldblöcke, die keine direkten Berührungspunkte zur Biogasproduktion aufweisen, entfallen 18.513 ha Umwandlungsfläche. 2.017 ha Umwandlungsfläche liegen in Feldblöcken mit Biogaskultur, weitere 4.609 ha Umwandlungsfläche liegen in Betrieben mit Biogaskulturen, waren 2007 aber nicht mit Biogaskulturen bestellt. Bei den 1.542 ha Umwandlungsfläche in Betrieben ohne Biogaskulturen, die zusammen mit Betrieben mit Biogaskulturen in den betroffenen Feldblöcken wirtschaften, handelt es sich möglicherweise um einen indirekten Effekt der Nachbarschaft zu Betrieben mit Biogaskulturen.

Diese Umwandlungsfläche „in Nachbarbetrieben“ wird deshalb der Gruppe „mit Biogas“ zugeschlagen. Der auf Biogasanlagen zurückgehende Anteil an der Grünlandumwandlung steigt bei Hinzuzählung dieser Fläche auf 30 % an. Allerdings liegt die Grünlandverlustrate im Falle dieser 1.542 ha Umwandlungsfläche im Vergleich zur Gruppe ohne Biogas sogar etwas niedriger. Angesichts dieser Werte erscheint ein indirekter Einfluss der Betriebe mit Biogaskulturen auf die Grünlandumwandlung in Nachbarbetrieben im betrachteten Zeitraum unwahrscheinlich.

Die Umwandlungsraten im rechten Teil der Abbildung 5.13 sind im Durchschnitt aller drei Kategorien (Umwandlungsfläche mit Biogaskulturen, in Betrieben mit Biogaskulturen, in Nachbarbetrieben) ermittelt. Werden nur die Biogasflächen und -betriebe berücksichtigt, steigt die Grünlandumwandlungsrate über die betrachteten zwei Jahre auf 8 bis 9 % in Milchviehbetrieben und auf ca. 19 % in viehlosen und Veredlungsbetrieben. Aufgrund ihrer hohen Bedeutung für die Grünlandnutzung und der erhöhten Umwandlungsraten in intensiveren Betrieben entfallen auf Milchviehbetriebe über 70 % aller Umwandlungsflächen, davon über 50 % in Betrieben ohne Biogaskulturen und ohne Nachbarschaft zu Betrieben mit Biogaskulturen.

5.5 Zwischenfazit zur Analyse der Flächennutzungsentwicklung

Beobachtungen zur Flächennutzungsentwicklung

Die Ackerflächennutzung ist durch eine Intensivierung gekennzeichnet. So nehmen die mit Raps und Mais bestellten Flächen deutlich zu, während Sommergetreide, Hülsenfrüchte und die Flächenstilllegung abnehmen. Der Zuwachs von Raps und Mais ist durch die Förderung der energetischen NR-Nutzung ausgelöst worden. Mit der Abschaffung der obligatorischen Flächenstilllegung entfällt die Anreizwirkung, die in der Vergangenheit von den geringeren Nutzungskosten der Stilllegungsfläche für die NR-Produktion ausgegangen ist. Für die Analyse des NR-Anbaus ergibt sich durch die Aufhebung der Stillle-

gungsverpflichtung eine neue Referenzsituation, da nicht mehr die ungenutzte Agrarfläche als Alternative zur NR-Produktion angenommen werden kann.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Gemeinsamen Agrarpolitik ist die Förderung des NR-Anbaus durch den NR-Anbau auf Stilllegungsflächen und durch die Energieprämie ausgelaufen. Künftig wird es keine flächenbezogenen Förderungen mehr geben, und entsprechend auch keine aus der Förderstatistik stammenden, flächenbezogenen Daten zum NR-Anbau. Sowohl die Förderung als auch die Statistik wird sich künftig auf die Verwendungsseite konzentrieren. Eine konkrete Flächenerhebung wird es künftig nur noch zu Gärsubstraten im Rahmen der Bodennutzungserhebungen geben. Die Verfolgung der Zusammenhänge zwischen NR-Einsatz und Flächennutzung wird in Zukunft verstärkt auf Schätzmethoden zurückgreifen müssen. Bemerkenswert ist, dass für das letzte Jahr mit flächenbezogenen Daten zum Energiepflanzenanbau nur 366 ha Kurzumtriebsplantagen in Deutschland in der Statistik enthalten sind. Eine breitere Einführung von KUP in der Praxis ist offenbar in Deutschland bisher ausgeblieben.

Die Zunahmen der Silomaisproduktion lassen sich seit 2003 vor allem durch den Ausbau der Biogasproduktion auf Maisbasis erklären. Schwerpunkte der Maisproduktion für Biogas liegen in Regionen, in denen es schon zuvor viel Silomais gab. Eine Ausdehnung des Biogas-Maisanbaus ist auch in stärker auf Marktfruchtbau spezialisierten Regionen zu beobachten. Gleichzeitig geht in vielen Regionen der Silomaisanbau für Futterzwecke zurück, in einigen, intensiveren und wettbewerbsfähigeren Futterbauregionen nimmt er aber auch zu. In letzteren Regionen kommt es durch das Zusammenspiel beider Entwicklungen zu erhöhten Anbauanteilen an der Ackerfläche, gerade dort, wo bereits Schwerpunkte des Silomaisanbaus liegen. Hieraus ergeben sich Fragen nach den pflanzenbaulichen und phytosanitären Grenzen der Erhöhung der Maisanbauanteile und nach den Umweltwirkungen, insbesondere bezüglich der Wasserqualität und des Landschaftsbilds. Während Silomais in weiten Teilen Norddeutschlands das beherrschende Gärsubstrat darstellt, stellen Ganzpflanzen und Grünland in vielen Regionen einen größeren Anteil der Substratproduktion. In Nordwestdeutschland gibt es erst wenige Regionen, die eine stärkere Nutzung des Grünlands für die Substratproduktion realisieren.

Der Rückgang der Grünlandfläche ist ein langfristig laufender Prozess, der sich in den letzten Jahren verstärkt hat. Hierfür sind viele unterschiedliche Gründe zu nennen, etwa die hohen Agrarpreise der letzten Jahre, der Strukturwandel in der Milchproduktion oder die Förderung der NR-Produktion. Hinzu kommen im Jahr 2005 eingeführte, förderrechtliche Veränderungen, durch die eine Umwandlung von Grünlandflächen erleichtert wurde, ohne dass die Prämienberechtigung in Frage gestellt wird. Eine genaue Zuordnung von Grünlandverlusten zu einzelnen Ursachen ist auf Grundlage aggregierter agrarstatistischer Daten nicht möglich. Bei Überschreitung der im EU-Recht vorgegebenen Schwellenwerte für den Grünlandrückgang wird der Grünlandrückgang künftig zunehmend durch

betriebliche Melde- und Genehmigungspflichten begrenzt. Dies ist in Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein bereits der Fall.

Ergebnisse der Auswertung der InVeKoS-Daten

Die InVeKoS-Daten ermöglichen eine räumlich hoch aufgelöste Analyse von Nutzungsveränderungen und stellen damit die beste derzeit verfügbare Datengrundlage zur Beantwortung der Frage dar, welche Wirkungen der zunehmende Anbau von Biogaskulturen auf die Flächennutzung hat. Dennoch müssen gewisse „Unschärfen" in den Daten berücksichtigt werden. Einerseits ist die Lage der Schläge aus den Flächennachweisen innerhalb der Feldblöcke nicht bekannt, weshalb in Feldblöcken mit mehreren Schlägen keine flächenscharfe Zuordnung der Vor- und Nachnutzungen möglich ist. Bei Betrachtung der beteiligten Betriebe kommt hinzu, dass angesichts des sehr dynamischen Strukturwandels in der Fläche einfache Vorher-/Nachher-Betrachtungen der einzelbetrieblichen Flächennutzung keine sinnvollen Ergebnisse liefert, da Nutzungsveränderungen oft mit dem Wechsel der Flächenbewirtschafter zusammenfallen.

Bezüglich der Wirkungen der Biogaskulturen auf den Maisanbau sind auf Basis der Auswertungen für Niedersachsen und die Jahre 2005 bis 2007 die folgenden Ergebnisse festzuhalten (die folgenden Punkte enthalten auch Ergebnisse einer Standortanalyse für Böden und Schutzgebiete, die im Abschnitt 5.4 nicht vorgestellt wurde; vgl. OSTERBURG, 2010):

- Mais ist eine dominierende Biogaskultur und steht daher im Mittelpunkt der Untersuchung. Biogas-Mais wird in vielen Betrieben zusätzlich zu Mais für andere Zwecke angebaut.
- Der Rückgang der sonstigen Maisfläche fällt geringer aus als die Zunahme des Biogas-Mais, dadurch erhöht der Anbau von Biogas-Mais maßgeblich die einzelbetrieblichen und regionalen Maisanteile an der Ackerfläche.
- Der leichte Rückgang der sonstigen Maisfläche ist auf die Regionen und Betriebe mit geringeren Maisanbauanteilen konzentriert, in Regionen und Betrieben mit hohen Anteilen gab es zwischen 2005 und 2007 auch bei sonstigem Mais eine Ausdehnung.
- Die einzelbetriebliche Betrachtung weist einen sehr hohen Anteil der gesamten Maisfläche in Betrieben mit Anbauanteilen von über 50 % der Ackerfläche aus. Dagegen kommt es auf regionaler Ebene der Gemarkungen und Gemeinden durch Mittelwertbildung zu geringeren durchschnittlichen Anbauanteilen.
- Gerade in Gemeinden mit ohnehin hohen Maisanteilen ist eine weitere Ausdehnung des Maisanbaus zu beobachten, gemessen in Prozentpunkten der Ackerfläche. Auch hier spielt die Ausdehnung des Biogas-Mais eine wichtige Rolle.
- Im Umkreis von Biogasanlagen bis ca. 6 km ist eine sehr starke Ausdehnung der Anbauflächen für Biogas-Mais zu beobachten, und insbesondere im Nahbereich bis

2 km. Dies bedeutet, dass es lokal sehr starke Veränderungen in der Ackernutzung geben kann. Ein Rückgang von sonstigem Mais in der näheren Umgebung der Anlagen ist im betrachteten Zeitraum nicht zu beobachten.

– Hinzuweisen ist auf die Bedeutung von Moorstandorten und anderen feuchten Standorten für die Biogasproduktion und die hier zu beobachtenden, hohen Zuwachsraten der Biogas-Maisfläche. Auf Hoch- und Niedermoorflächen entfielen im Jahr 2007 8 % der Biogas-Maisfläche. Bezüglich der Nutzung von weniger für den Ackerbau geeigneten Standorten fällt auf, dass der Biogas-Maisanbau auch auf trockene und von Wassererosion gefährdete Standorte ausgedehnt wird, wo der Maisanbau bisher nur eine geringe Rolle spielt. Bisher handelt es sich noch um wenige Flächen, und die Zuwachsraten sind unterdurchschnittlich.

– In Schutzgebieten sind ähnliche Zuwachsraten der Biogas-Maisfläche zu beobachten wie im Landesdurchschnitt, die Entwicklung beginnt aber von durchschnittlich meist geringeren Maisanteilen an der Ackerfläche. Hinzu kommt, dass in den meisten Schutzgebietsarten nach Naturschutzrecht die Grünlandfläche dominiert und nur vergleichsweise wenig Ackerfläche betroffen ist. Für Wasserschutzgebiete und die prioritären Gebiete gemäß Wasserrahmenrichtlinie ist die Entwicklung im Biogasbereich aufgrund der größeren Bedeutung des Ackerlands besonders relevant.

Zu den Wirkungen der Biogaskulturen auf die Umwandlung von Grünland in Ackerland wurden die folgenden Erkenntnisse gewonnen:

– Die Umwandlung von Grünland in Ackerland hat zwischen 2005 und 2007 zu einer Bereitstellung neuer Ackerfläche in relevantem Umfang geführt, es kam aber auch – in deutlich geringerem Umfang – zu Umwandlungen von Ackerland in Grünland.

– Mais spielt als Ackerkultur auf umgewandeltem Grünland mit 59 % der Fläche die wichtigste Rolle, davon gehen nur 8 Prozentpunkte auf Biogas-Mais zurück.

– Ein sehr hoher Anteil der Umwandlung von Grünland in Ackerland von bis zu 35 % findet im Zuge von Bewirtschafterwechseln statt. Dies weist auf die Problematik hin, dass aufnehmende Betriebe oft kein Nutzungskonzept für das Grünland haben und deshalb eine Nutzung als Ackerland vorziehen.

– In der einzelbetrieblichen und Feldblock- bzw. Schlag-bezogenen Analyse zeigt sich, dass Veredlungsbetriebe, intensive Milchviehbetriebe und Betriebe mit Biogaskulturenbesonders hohe Grünlandumwandlungsraten aufweisen. Betriebe mit Biogaskulturen, die insgesamt 21 % der LF bewirtschaften, sind für etwa 25 % der Grünlandumwandlungsfläche verantwortlich, davon wurde der größere Teil im Jahr 2007 nicht für Biogas-Mais genutzt.

– Flächen von Betrieben ohne Biogas, die in Feldblöcken liegen, in denen auch Betriebe mit Biogaskulturen wirtschaften, wurden gesondert betrachtet. Sie machen ca. 6 % der Umwandlungsflächen aus. Erhöhte Umwandlungsraten aufgrund der Nachbar-

schaft zu Betrieben mit Biogaskulturen, d. h. als indirekter Effekt, konnten nicht festgestellt werden.

– Der Einfluss der Nähe zu Biogasanlagen auf die Flächennutzungsänderung wurde auch mittels statistischer Modelle geprüft. Im Nahbereich von Biogasanlagen zwischen 1 bis 3 km kommt es zu sehr leicht erhöhten Umwandlungsraten um +0,4 %, die statistisch signifikant sind. Die lokal messbaren Effekte blieben im betrachteten Zeitraum also offenbar begrenzt. Die betriebsbezogenen Analysen zeigen demgegenüber deutlich erhöhte Umwandlungsraten in Betrieben mit Biogaskulturen.
– Bezüglich der von Grünlandumwandlung betroffenen Standorte liegen die Bodentypen Plaggenesch, Tiefumbruchböden, Podsol und Gley im überdurchschnittlichen Bereich der Grünlandverluste. Die Zunahme von Mais in Feldblöcken mit Grünlandverlusten liegt auf feuchten und humosen Böden (Moor, Tiefumbruch, Plaggenesch, Pseudogley, Gley, Marsch) sowie Podsol besonders hoch.
– In Schutzgebieten nach Naturschutzrecht sowie in Überschwemmungsgebieten liegen die Grünlandumwandlungsraten zum Teil sehr deutlich unter dem Mittelwert, was auf Schutzeffekte hinweist. In Wasserschutzgebieten sind keine Schutzeffekte für das Grünland festzustellen.

Eine Betrachtung und Bewertung der Flächennutzungswirkungen der Biogasproduktion sollte nicht isoliert von der sonstigen landwirtschaftlichen Flächennutzung erfolgen. Eine Beurteilung des Anbaus von Biogas-Mais ohne Betrachtung des Maisanbaus insgesamt ist ebenso wenig sinnvoll wie eine vorschnelle Interpretation von Grünlandverlusten als Folge allein der Biogasproduktion.

Bezüglich der aufgeworfenen Fragen des Bodenschutzes im Zusammenhang mit dem Maisanbau in erosionsgefährdeten Lagen und in Hinblick auf den Grünlandumbruch ist auf die neueren Entwicklungen nach 2007 bei der Umsetzung von Cross Compliance in Niedersachsen hinzuweisen. Landwirte müssen ab Juli 2010 auf besonders von Erosion gefährdeten Flächen Schutzauflagen einhalten. Seit Ende 2009 gilt für Grünlandumbrüche eine einzelbetriebliche Melde- und Antragsverpflichtung. Daher ist zu erwarten, dass die Grünlandverluste in den nächsten Jahren geringer ausfallen werden.

Angesichts der aktuellen, sehr dynamischen Entwicklung in der Flächennutzung sollte die Nutzung sensibler Standorte und die Entwicklung der Grünlandnutzung künftig weiter beobachtet werden. Die vorgelegten Analyseergebnisse ermöglichen eine sehr differenzierte Betrachtung, und die darin erkennbar werdenden Entwicklungen legen es nahe, die Analysen für aktuellere Jahre fortzusetzen. Nach dem Wegfall der Stilllegungsverpflichtung und der Energiepflanzenprämie stellt die Identifikation von Gärsubstratflächen künftig eine methodische Herausforderung dar. Weitere Analysen sollten nach Möglichkeit auf Datensätze zu den Anlagen und ihrem Gärsubstratbedarf aufbauen.

6 Modellgestützte Analyse eines weiteren Ausbaus der Produktion nachwachsender Rohstoffe

6.1 Methodische Überlegungen zur Modellierung des NR-Anbaus in RAUMIS

Das Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland (RAUMIS) wurde am Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie der Universität Bonn entwickelt. Die Weiterentwicklung erfolgte in einem Kooperationsprojekt, an dem auch die agrarökonomischen Institute der FAL in Braunschweig-Völkenrode sowie die Forschungsgesellschaft für Agrarsoziologie und Agrarpolitik e. V. (FAA) in Bonn beteiligt waren (HENRICHSMEYER et al., 1996; bzgl. der Modellbeschreibung vgl. auch CYPRIS, 2000; ROEDENBECK, 2004). Die Aktualisierung der Datenbasis und die laufende Weiterentwicklung des Informationssystems wird seit wird 2004 am heutigen vTI durchgeführt.

Das Informationssystem soll der Regionalanalyse von Entwicklungen im Agrarsektor und deren Umweltwirkungen dienen und liefert quantitative Abschätzungen zur Entwicklung der Agrareinkommen, der landwirtschaftlichen Produktion, des Vorleistungs- und Faktoreinsatzes im Agrarsektor sowie zu Agrar-Umweltindikatoren. Der Untersuchungsgegenstand ist der Agrarsektor Deutschlands, definiert nach der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung (LGR). Dieser wird regional tief differenziert auf Ebene der Kreise abgebildet. Da die gesamte Produktionskapazität einer Region durch einen einzigen Produktionsstandort vertreten wird, spricht man vom so genannten „Regionshof“. Jeder Regionshof zeichnet sich durch eine charakteristische Ausstattung mit Primärfaktoren, eine prozessspezifische Produktionsfunktion sowie bestimmte Bezugsmöglichkeiten und wirtschaftliche Verhaltensweisen aus.

Hierzu werden die sektoralen Randgrößen - wie z. B. die LGR - in einem „top down“-Ansatz auf Grundlage der verfügbaren Regionaldaten disaggregiert. Die landwirtschaftliche Produktion wird mittels etwa 45 Haupt- und 400 Nebenaktivitäten in einem Prozessanalyseansatz dargestellt. Die Aktivitäten werden durch Input- und Outputvariablen, Koeffizienten zu Umweltindikatoren und Einkommensgrößen beschrieben. Teil dieser prozessanalytischen Darstellung des Agrarsektors sind innerlandwirtschaftliche Verflechtungen zwischen der pflanzlichen und tierischen Produktion durch Futtermittel- und Wirtschaftsdüngerverwendung.

Die Spezifizierung der regionalen Aktivitäten und deren Produktionsumfänge basiert auf Agrarfachstatistiken, Normdaten (vor allem vom KTBL), anderen Modellergebnissen und Experteneinschätzungen. Die Ex-post-Abbildung erfolgt auf Grundlage von Dreijahresmitteln in einer Periodizität von vier Jahren für die Basisjahre von 1979 bis 1999. Als

Umweltindikatoren sind Nährstoffbilanzierungen, Kennzahlen zum Viehbesatz sowie zur Struktur und Intensität der Flächennutzung implementiert. Mit diesem Rechnungssystem lassen sich zurückliegende Entwicklungen im Agrarsektor in hoher regionaler Auflösung analysieren.

Für Prognosen erfolgen für ein Zieljahr (derzeit 2019) trend- und expertenbasierte Projektionen von Faktorkapazitäten, Erträgen und Inputkoeffizienten sowie die Vorgabe von Preisen. Im Bereich des Pflanzenbaus finden Anpassungen der optimalen speziellen Intensität an geänderte Produkt-Faktorpreisrelationen Berücksichtigung. Arbeitsbedarfskoeffizienten und Abschreibungen werden durch Vorgaben zum erwarteten Strukturwandel bestimmt.

Mittels der mathematischen Programmierung werden auf Ebene der Modellkreise (Regionshofkonzept) unter den für das Zieljahr eingeschätzten Produktionsalternativen und Restriktionen die optimalen Produktionsumfänge errechnet. Als Referenzsituation zur Beurteilung der Wirkungen von geänderten Rahmenbedingungen wird eine Beibehaltung der derzeitigen agrarpolitischen und ökonomischen Rahmenbedingungen formuliert. In diese Status-quo-Projektion gehen Experteneinschätzungen und Modellergebnisse aus den Marktmodellen des vTI ein.

In Szenarioanalysen werden veränderte Rahmenbedingungen vorgegeben und die Anpassungsreaktionen im nichtlinearen Programmierungsansatz abgebildet. Hierfür werden exogene Vorgaben z. B. zu Politikvariablen, Preisen, Direktzahlungen, Erzeugungsquoten und -auflagen, Vorleistungspreisen und die Prognosen von Koeffizienten des technischen Fortschritts verändert. Durch eine vergleichende Gegenüberstellung der alternativen Politikszenarien werden Rückschlüsse auf die Wirkung agrar- und umweltpolitischer Instrumente gezogen. Diese Analysen erfolgen komparativ-statisch, d. h. der Entwicklungspfad bis zum Zieljahr wird nicht im Optimierungsmodell nachgezeichnet. Vielmehr wird für ein einzelnes Jahr anhand veränderter exogener Vorgaben und Fortschreibung eine neue Gleichgewichtssituation berechnet. Dies bedeutet, dass der Faktor Zeit für sektorale Anpassungen, z. B. für die Verbreitung von Innovationen im Laufe längerfristiger Investitionszyklen, im Modell nicht explizit berücksichtigt wird.

Das Regionshofkonzept bringt ein Aggregationsproblem mit sich, das besonders für die Modelloptimierung von Bedeutung ist. Das Regionshofkonzept impliziert die Annahme, dass alle Verhaltensweisen, Kapazitäten und Verfahrensalternativen der Einzelbetriebe dieser Region im Aggregrat Regionshof zusammengeführt werden können. Dadurch werden identische naturale Input- und Outputkoeffizienten, identische Input- und Outputpreisrelationen und gleiche Relationen der Faktorkapazitäten aller landwirtschaftlichen Produzenten im Modellkreis unterstellt. Grundsätzlich resultiert aus diesem Aggregationsfehler eine Überschätzung der Mobilitäten innerhalb des Regionshofes, wodurch Regionshofmodelle bei der Optimierung zur Überspezialisierung neigen.

In diesem Aggregat wird jedoch mit Hilfe einer hohen Differenzierung der Produktionsalternativen versucht, die Realität so genau wie möglich abzubilden. Demgegenüber existieren auf regionaler Abbildungsebene angesichts der Datenverfügbarkeit und des Regionshofkonzepts nur eine relativ geringe Anzahl technischer, politischer oder ökonomischer Restriktionen.

Ein Ansatz zur Reduzierung der Überspezialisierung liegt in der Einführung von Nebenbedingungen bzw. Restriktionen, wie beispielsweise technischen Kapazitätsbeschränkungen, technische Substitutionsbeschränkungen zwischen den Aktivitäten (Fruchtfolgebedingungen, Fütterungsbedingungen), ökonomischen Nebenbedingungen (Handelsrestriktionen, Finanzierungsmöglichkeiten), politischen Beschränkungen (Stilllegung, Quote) und Verhaltensbeschränkungen (historische Beobachtungen). Mit zunehmender Anzahl an Nebenbedingungen bei der Optimierung verringert sich die Überspezialisierung. In RAUMIS werden vor allem Fruchtfolge- und Fütterungsrestriktionen abgebildet, daneben Vorgaben zur Stilllegung sowie Produktionsquoten.

Weiterhin wird in RAUMIS ein nichtlinearer Programmierungsansatz verwendet. Nichtlineare Terme in den Zielbeiträgen bewirken, dass sich mit Änderung des Produktionsumfanges die Höhe der Zielbeiträge verändert. Diese Methode der Positiven Mathematischen Programmierung (PMP) wurde von PARIS und HOWITT (1996) entwickelt. Die Anwendungsmöglichkeiten in RAUMIS wurden von CYPRIS (2000) analysiert. Durch eine Analyse der Dualwerte (Schattenpreise) der im Basisjahr realisierten Verfahren werden Korrekturterme abgeleitet, die zu einer Kalibrierung des Modells im Basisjahr führen. Die Ausgangssituation wird somit ohne Probleme der Überspezialisierung abgebildet. Die Dualwerte geben Hinweise darauf, wie „teuer“ die Realisierung der beobachteten Strukturen im Vergleich zur im Modell ermittelten „optimalen“ Struktur des Produktionsprogramms laut Modellspezifierung sind. Durch die Einbeziehung der für die Ausgangssituation generierten Dualwerte in die Zielfunktion ergibt sich im Modell eine optimierte Gleichgewichtssituation, die auch ohne feste Produktionsbeschränkungen („bounds“) alle beobachteten Produktionsumfänge abbildet.

Der beschriebene, nichtlinearer Programmierungsansatz bringt allerdings auch Probleme mit sich, die für die Modellierung von neueren NR-Anbauverfahren relevant sind:

- Neue Verfahren, die im Ausgangsjahr nicht beobachtet wurden, können nicht einfach in das Modell integriert werden, da die PMP-Terme fehlen.
- Innovationsverläufe, die bei unveränderten Rahmenbedingungen über einen längeren Zeitraum zu einer veränderten Situation im Agrarsektor führen, können nicht abgebildet werden, da die Ausgangssituation als Gleichgewichtszustand modelliert wird. Sektorale Veränderungen können nur auf Grundlage veränderter exogener Vorgaben (Preise, Subventionen, etc.) oder veränderte Produktivitäten im Modell abgebildet werden.

Beide Probleme betreffen die Abbildung des NR-Anbaus im Modell. Zum Teil handelt es sich um neue Verfahren, für die keine Daten für ein Ausgangsjahr zur Verfügung stehen. Weiterhin ist davon auszugehen, dass unter den gegebenen Rahmenbedingungen Innovationsprozesse und schrittweise Investitionen in Konversionsanlagen zu einem kontinuierlichen, weiteren Ausbau der NR-Produktion führen werden. Diese Situation ist vor allem für den Biogassektor anzunehmen.

NR-Verfahren sind bereits in verschiedenen Projekten in RAUMIS abgebildet worden, neben Raps auf Flächenstilllegung, der seit 1999 als Verfahren im Modell integriert ist. HEMME-SEIFERT (2003) bildete in RAUMIS NR-Verfahren ab und konzentrierte sich dabei auf bekannte Kulturen, vor allem Raps, Getreide incl. Stroh und Zuckerrüben. Daneben wurde die Produktion von Pappeln und Miscanthus abgebildet, die Verfahren spielten aber in den Ergebnissen der Szenarioberechnungen keine Rolle. GÖMANN et al. (2007) formulierten in RAUMIS ein Energiemaisverfahren mit PMP-Termen, die aus Getreideverfahren abgeleitet wurden.

Diese Modellspezifikation führt dazu, dass Energiemais als Marktfrucht abgebildet wird, und zwar unabhängig vom bisher beobachteten Anbau von Silomais. Die Ergebnisse legen eine Ausdehnung des Energiemaisanbaus vor allem in Marktfruchtbaugebieten nahe, beispielsweise in den Bördegebieten in Ostniedersachsen, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen und den Gäugebieten Bayerns. Die Konkurrenz zum Futterbau wird im Modell über die regionalen Flächenansprüche abgebildet. Eine Verdrängung von Futtermais durch die Ausdehnung der Energiemaisproduktion findet nicht statt. Diese Modellreaktion kann damit erklärt werden, dass die Ausdehnung des Energiemais vor allem in Regionen mit weniger Viehhaltung stattfindet. In der Vergangenheit konnte zwar eine Ausdehnung des Energiemaisanbaus in Marktfruchtbaugebieten beobachtet werden, die Schwerpunkte der Ausdehnung liegen jedoch in Regionen mit Viehhaltung und Erfahrungen mit dem Silomaisanbau in der Ausgangssituation. Angesichts des Güllebonus im neuen EEG erscheint eine gewisse Bindung an die Tierhaltung auch in Zukunft wahrscheinlich. Daher wurde für die hier vorgestellten Modellanwendungen eine andere Modellformulierung gewählt.

In den im Folgenden dargestellten Modellanalysen sind NR-Anbauverfahren auf zwei unterschiedliche Weisen abgebildet:

– Handelbare und weitgehend homogene Agrargüter, die sowohl für die Nutzung als Nahrungs- oder Futtermittel verwendet werden können als auch als energetische Biomasse, werden ohne Differenzierung in NR- und Food-Verwendungen abgebildet und über die Marktpreisannahmen gesteuert. Dies gilt für Getreide und Raps.

– Eingeschränkt handelbare Agrarrohstoffe wie Silomais als Biogas-Gärsubstrat und Stroh zur Verbrennung werden als Verkaufsaktivitäten formuliert, die bei Vorgabe unterschiedlicher Preise auf die Anbauverfahren Silomais und Getreide zurückwir-

ken. Der Silomaisanbau selbst wird somit nicht in Futter- und Gärsubstratverwendung differenziert, vielmehr entscheidet sich im Modell die Verwendung über die Lieferung an den Tierbestand oder über den Verkauf an Biogasanlagen. Die Ausdehnung der Silomaisfläche erfolgt daher vor allem ausgehend von der bereits bestehenden Anbaufläche. Wegen der geringen Transportwürdigkeit der Gärsubstrate impliziert das regionale Gärsubstratangebot auch die Anzahl der aufnehmenden Anlagen. Um auch für Regionen mit bisher geringem Silomaisanbau ein möglichst realistisches Bild zu erhalten, wurden die Silomaisumfänge des Jahres 2007 zur Kalibrierung der Ausgangssituation verwendet. Entsprechend wird auch Stroh als Nebenprodukt der Getreideproduktion, das zu einem vorgegebenen Preis ab Feld an Konversionsanlagen verkauft werden kann. Die Abbildung des Ausbaus der Biogas-Maisproduktion und des Strohverkaufs im Zieljahr wird durch erhöhte Verkaufspreise für diese Produkte im Zieljahr erreicht.

Kurzumtriebsplantagen wurden angesichts der geringen Anbauumfänge in der Ausgangssituation nicht in die quantitative Analyse einbezogen. Auch die Nutzung von Grünlandflächen zur Gärsubstratproduktion wurde nicht im Modell abgebildet. Die Agrarstrukturerhebung im Jahr 2007 ergab lediglich 40.000 ha Grünland für die Gärsubstratproduktion, demnach handelt es sich bisher ebenfalls nicht um ein bedeutendes Produktionsverfahren.

6.2 Szenarien und Annahmen

Die Modellrechnungen bauen auf die „vTI-Baseline 2009-2019“ auf, die im Jahr 2009 durch den Modellverbund der agrarökonomischen Institute des vTI erstellt und mit dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz abgestimmt wurde (vgl. OFFERMANN et al., 2010). Durch die Änderung einiger Modellspezifikationen, wie sie im vorherigen Abschnitt erläutert wurden, stimmen die hier vorgestellten Produktionsumfänge nicht vollständig mit dem Ergebnis der Baseline überein. Der Schwerpunkt der folgenden Analysen liegt auf den relativen Änderungen, die absoluten Werte sollten nicht als „Prognose“ für das Zieljahr 2019 interpretiert werden.

Die Preisannahmen für Agrarprodukte liegen gegenüber den Erwartungen aus dem Jahr 2008 (FAPRI, 2008) auf einem niedrigeren Niveau. So wird ein Weizenpreis von 154 €/t angenommen, Futtergetreide bewegt sich zwischen 120 und 140 €/t. Der Rapspreis liegt bei 295 €/t, der Milchpreis beträgt ca. 270 €/t. Die obligatorische Flächenstilllegung ist gemäß Health-Check-Beschlüssen aufgehoben.

Für die Szenarioberechnungen einschließlich des Referenzszenarios für 2019 ist die Frage zu stellen, welches Stadium des Ausbaus der Biogasproduktion in Deutschland abgebildet werden soll. In der komparativ-statischen Analyse würde unter Beibehaltung der jetzigen Förderung und der daraus resultierenden, in Kapitel 3 erläuterten hohen Wettbewerbsfä-

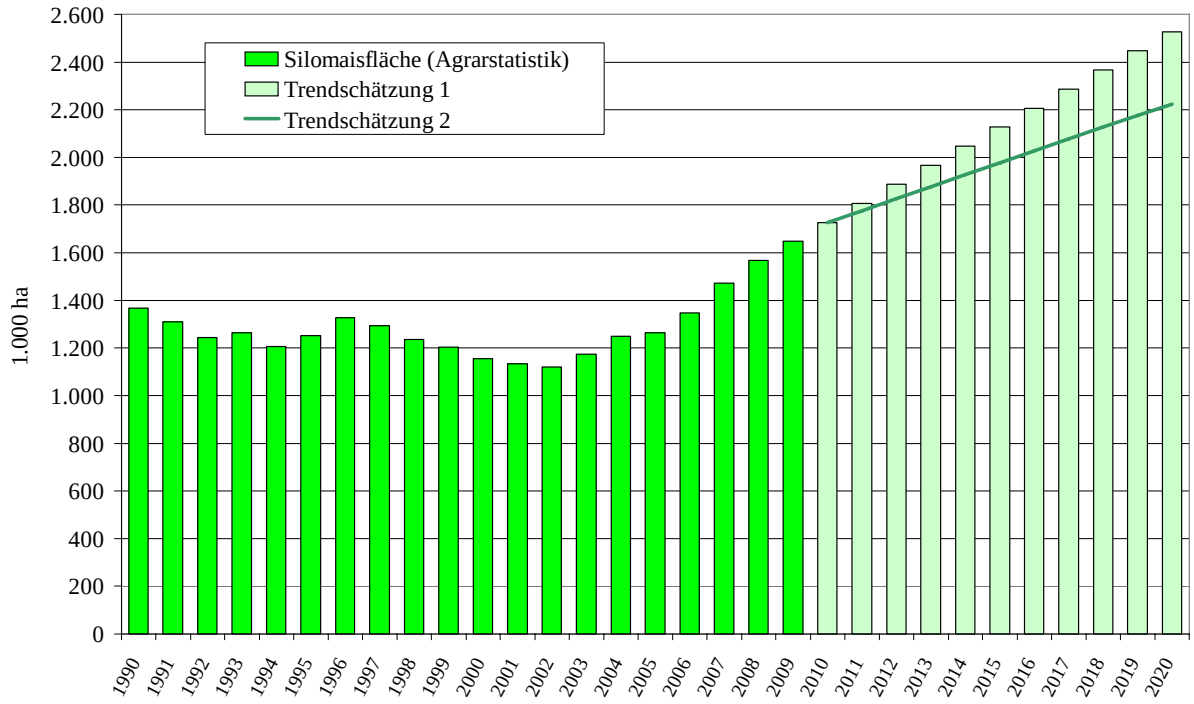
higkeit der Gärsubstratproduktion in einem Linearen Programmierungsansatz eine Fläche von nahezu 100 % in Deutschland für Gärsubstratproduktion bereitgestellt. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass aufgrund der staatlich festgesetzten Förderung und des großen, aufnahmefähigen Energiemarktes keine Marktsättigungseffekte oder andere Marktrückkopplungen eintreten würden, welche die Expansion bremsen könnten. Eine so weitgehende Umstellung der Agrarproduktion hätte zwar gewisse Preisreaktionen zur Folge, in globalem Maßstab hat Deutschland aber nur einen begrenzten Einfluss auf die Agrarpreisbildung.

Die in RAUMIS abgebildeten Flächenumfänge für Biogas-Mais liegen aufgrund der nichtlinearen Programmierung weit unterhalb einer vollständigen Umstellung der Ackernutzung. Kurz- und mittelfristig ist auch in der Realität nicht mit einer so weitgehenden Umstellung der Agrarproduktion auf Biogaskulturen zu rechnen. Dies liegt an langsam ablaufenden Lern- und Diffusionsprozessen, der zeitlichen Staffelung der Investitionstätigkeiten und der kurzfristigen Knappheit von Kapital. Auch die Festlegung der Produktionsprogramme aufgrund der Betriebsleiterfähigkeiten und Präferenzen sowie versunkener Kosten, z. B. für Stallbauten, spielt eine Rolle, weiterhin die Risikostreuung, aufgrund derer sich Betriebe nicht ausschließlich auf Biogasproduktion spezialisieren.

Vor diesem Hintergrund wurde der Trend des Flächenzuwachses bei Silomais analysiert. In Abbildung 6.1 ist die Entwicklung der Silomaisfläche von 1990 bis 2009 auf Grundlage der Agrarstatistik abgebildet. Im Jahr 2007 wurde der Flächenumfang im Ausgangsjahr 1990 überschritten. Für die Zeit bis zum Jahr 2020 wird in Abbildung 6.1 eine lineare, auf Basis der Jahre 2004 bis 2009 geschätzte Trendprojektion ergänzt (hellgrüne Säulen). Die zweite Trendschätzung, in der Abbildung als Linie dargestellt, entspricht der vTI-Baselineprojektion. Bei diesem Trend liegt die Silomaisfläche (Futter- und Energiemais) ca. 200.000 ha unterhalb der linearen Vorausschätzung.

Die Annahmen zu den berechneten Szenarien sind in Tabelle 6.1 zusammengestellt. Mit der Referenz wurde näherungsweise die vTI-Baseline abgebildet. Eine Iteration mit Marktmodellen, um Preise und Mengen in Konsistenz zu den Marktmodellen des vTI zu bringen, wurde für diese Berechnungen nicht vorgenommen. Die beiden Szenarien „Biogas 1“ und „Biogas 2“ stellen verschiedene Ausbaustufen der Biogasproduktion auf Maisbasis dar, verbunden mit unterschiedlichen Preisen für Silomais von 30 und 32 € je t Frischmasse (FM). Die Preisannahmen sind die Stellgröße, die im Modell über den Umfang der Biogas-Maisfläche entscheidet. Das Referenzszenario stellt im Vergleich zu den Trendschätzungen in Abbildung 6.1 eine konservative Fortschreibung dar, das Szenario „Biogas 1“ repräsentiert mit knapp 2 Mio. ha Fläche eine im Vergleich dazu sehr hohe Ausdehnung der Gärsubstratproduktion.

Abbildung 6.1: Entwicklung der Silomaisfläche in Deutschland zwischen 1990 und 2009 sowie Trendschätzungen bis 2020



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Fachserie 3, Reihe 3, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (div. Jgg.), eigene lineare Trendschätzung.

Das Szenario „ohne Biogas“ ist ein fiktives Szenario ohne NR-Förderung für die Biogasproduktion. Es dient als eine Referenzsituation für den Vergleich zu den Szenarien mit Biogas und illustriert, wie sich Produktion und Flächennutzung ohne die Biogasförderung den Modellrechnungen zufolge darstellen würde. Im Szenario „+Stroh“ wird gegenüber der Referenz ein Verkaufsverfahren für Stroh ergänzt.

Tabelle 6.1: Szenarien für die RAUMIS-Berechnungen

		Referenz	Biogas 1	Biogas 2	ohne Biogas	+Stroh
Silomais-Verkaufspreis	€/t FM	28	32	30	19	28
Strohverkaufpreis frei Feld	€/t FM	0	0	0	0	20
Silomais insgesamt	1.000 ha	2100,4	2785,6	2453,1	976,1	1971,1
davon Futtermais	1.000 ha	839,1	795,3	812,8	936,6	842,9
davon Biogas-Mais	1.000 ha	1261,3	1990,4	1640,4	39,5	1128,2

Quelle: Eigene Darstellung, Berechnungen auf Grundlage von RAUMIS.

Wie in Kapitel 3 erläutert, werden durch den Güllebonus im neuen EEG hohe Anreize geschaffen, in Biogasanlagen über 30 Masseprozent Gülle als Gärsubstrat einzusetzen.

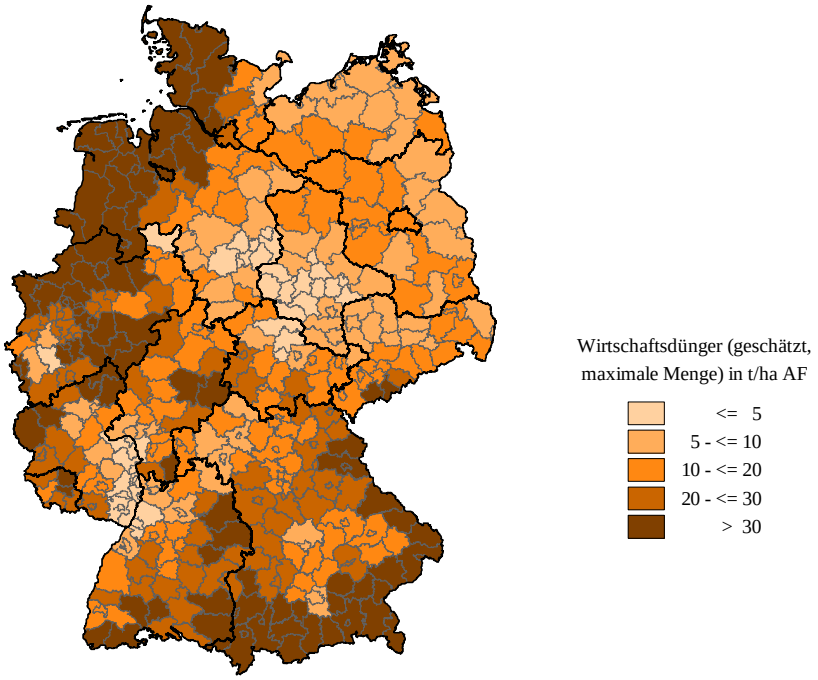
Unter Berücksichtigung einer Sicherheitsmarge kann angenommen werden, dass wo Gülle zur Verfügung steht oder zugekauft werden kann ca. 35 % Gärsubstrat über Gülle abgedeckt wird. Um zu untersuchen, ob die Gülleverfügbarkeit auf der in RAUMIS abgebildeten Kreisebene eine Restriktion darstellen könnte, wurde für das Jahr 2007 eine Analyse der verfügbaren Wirtschaftsdüngermenge vorgenommen. Die Kalkulation entspricht den in Kapitel 3 vorgestellten Berechnungen (vgl. Karte 3.6).

Nicht die gesamte in Karte 6.1 dargestellte Wirtschaftsdüngermenge steht allerdings für eine Kofermentation in Biogasanlagen zur Verfügung. Ein Teil wird durch weidende Tiere auf der Weide ausgeschieden, und Wirtschaftsdünger in Kleinbetrieben dürfte nur schwer zu erfassen sein. Ein Unterschied ergibt sich ferner, wenn nicht mit Gülle, sondern mit Stallmist gerechnet wird. Zur Frage der Verteilung auf Stall und Weide sowie Gülle oder Mist liegt keine ausreichende Datengrundlage vor. In der Schätzung der Ackerfläche, die mit Silomais als Gärsubstrat unter Einbeziehung des Güllebonus genutzt werden könnte, wurden daher pauschal 50 % der Ausscheidungen von Rindern, Pferden und Schafen abgezogen. Bei einem Aufkommen von etwa 20 t / ha Ackerfläche könnte diese gesamte Fläche für Silomais mit Güllebonus genutzt werden (siehe Karte 6.2).

Anhand der Ergebnisse der Szenariorechnungen wurde überprüft, ob die Verfügbarkeit von Gülle eine Restriktion darstellen könnte. Dies ist nur bei starker Ausdehnung der Biogasproduktion in Marktfruchtbauregionen der Fall, etwa in Ostniedersachsen oder in den östlichen Bundesländern. In diesen Regionen könnte die Produktion mit importierter Gülle oder ohne Güllebonus erfolgen, ebenso entsteht ein Anreiz für den Ausbau der Tierhaltung in diesen Regionen. Diese Zusammenhänge wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt, da die Schwerpunkte des in RAUMIS abgeschätzten Flächenzuwachses von Biogas-Mais in Regionen mit Viehhaltung und mit hoher Verfügbarkeit von Wirtschaftsdünger liegen.

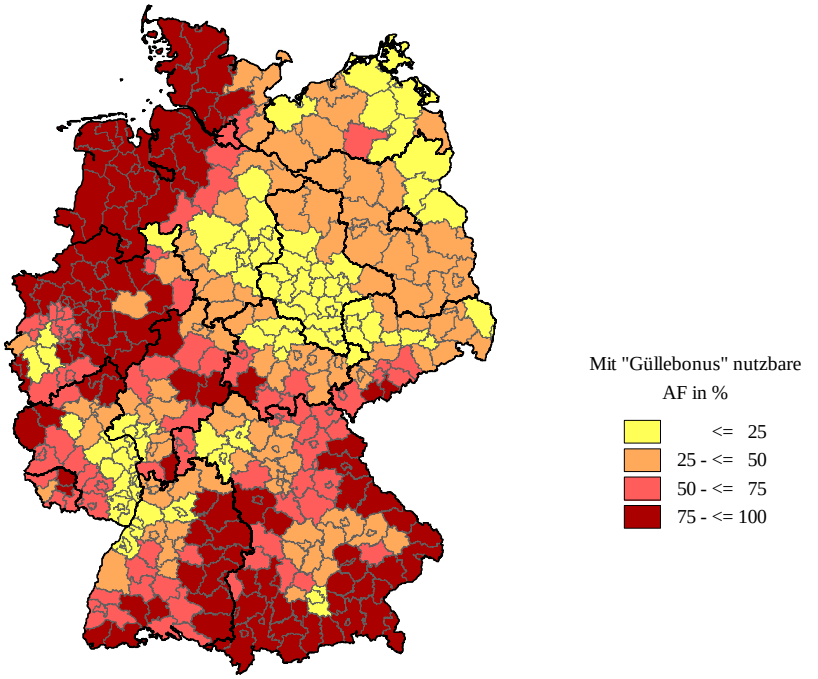
Für das Szenario mit Stroh wurde entsprechend der Berechnungen in Kapitel 4 (vgl. Karte 4.1) eine Restriktion eingeführt, damit nur das Stroh verkauft werden kann, das nicht für den Ausgleich der Humusbilanz benötigt wird. Insgesamt stehen nur etwa 35 % des Strohaufkommens für die energetische Biomassenutzung zur Verfügung.

Karte 6.1: Wirtschaftsdüngeraufkommen aus der Tierhaltung in t / ha Ackerfläche



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2007, eigene Berechnungen.

Karte 6.2: Möglicher Anteil Energiemais an der AF bei Ausnutzung des Gülleaufkommens in Biogasanlagen mit 35 % Gülleanteil



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung 2007, eigene Berechnungen (vgl. Karte 3.6).

6.3 Ergebnisse der Modellierung

Die Ergebnisse der Szenariorechnungen werden in Tabelle 6.2 für den deutschen Agrarsektor zusammengefasst. Der Vergleich zwischen den Jahren 1999 und 2007 mit dem Referenzszenario zeigt, dass im Zuge des Ausdehnung des Energiemaisanbaus auf über 1,25 Mio. ha vor allem die Getreide- und die Stilllegungsfläche eingeschränkt werden. Die Ölsaatenfläche wird hingegen ausgedehnt, u. a. aufgrund des Rückgangs der Zuckerrübenfläche. Die Grünlandfläche bleibt angesichts der Cross Compliance-Bestimmungen annahmegemäß erhalten, d. h. dass keine umfangreiche Umwandlung in Ackerland im Modell zugelassen wurde. Eine Modellierung des Flächennutzungswandels (Umwandlungen zwischen Acker und Grünland, Aufforstung) mit RAUMIS wird derzeit u. a. aufgrund der geringen räumlichen Auflösung nicht vorgenommen.

Der Rinderbestand stagniert gegenüber 2007, da die Milchproduktion nach Aufhebung der Milchquote erhöht wird und die Milchleistungssteigerungen bei höheren Leistungsniveaus nicht mehr so hohe Kuhbestandsrückgänge nach sich zieht wie in der Vergangenheit. Die Zunahme der Geflügelproduktion liegt im in der Vergangenheit beobachteten Trend. Der Rückgang der Schweineproduktion erscheint dagegen unplausibel. Bei Abstimmung mit Marktmodellen würden voraussichtlich höhere Preisen resultieren, mit einem höheren Angebot als Resultat. Vor diesem Hintergrund sollte nicht die Änderung bis 2019, sondern nur die relativen Änderungen zwischen den Szenarien interpretiert werden.

Bezüglich der Flächennutzung wird komplementär zur Flächenausdehnung von Silomais vor allem die Getreide- und die Rapsfläche, ferner die Stilllegungs- und die sonstige Ackerfutterfläche eingeschränkt. Die Getreideproduktion geht aufgrund der Ausdehnung von Biogas-Mais um 730.000 ha um 2,5 Mio. t zurück, die Ölsaatenproduktion geht um 0,33 Mio. t zurück. Die Änderungen der Stilllegungsfläche und des Ackerfutterbaus haben dagegen kaum Einfluss auf die Produktionsmengen. Lediglich die Rindfleischproduktion verringert sich um ca. 25.000 t.

Insgesamt bleibt die Milch- und Fleischproduktion von den Veränderungen der Fläche für Biogasgärsubstrate in den Modellberechnungen weitgehend unberührt, da die Flächennutzungsverschiebungen vor allem auf der Getreide- und Ölsaatenfläche stattfinden. In der Rinderfütterung ist eine begrenzte Reduzierung der Silomaisfütterung zu erkennen, da diese Futtergrundlage teurer wird. Die Rinderhaltung weicht dann stärker auf die Grünlandflächen aus. Die Schweinehaltung ist ggf. von steigenden Kosten der Gülleausbringung betroffen. Bezüglich der Wirkungen von Düngungsauflagen in der Praxis bestehen jedoch Unsicherheiten (vgl. Kapitel 7.2).

Die Nettowertschöpfung als Einkommensgröße für den Agrarsektor steigt mit dem Ausbau der Biogas-Maisfläche in Szenario „Biogas 1“ um über 6 % an. Aus der Nettowertschöpfung sind alle im Agrarsektor eingesetzten Faktoren (Boden, Arbeit, Kapital) zu

entlohnen. Teile dieses Einkommens gehen auch an nichtlandwirtschaftliche Eigentümer der eingesetzten Faktoren. Gegenüber dem fiktiven Vergleichsszenario ohne Biogas beträgt die Einkommensdifferenz über 1,5 Mrd. € bzw. ca. 13 % der Nettowertschöpfung. Mit höheren Preisen für Silomais als Gärsubstrat gehen im Modell höhere Schattenpreise für Ackerland einher. Diese spiegeln den steigenden Wert der zugepachteten Ackerfläche wider. Ein Teil der erhöhten Nettowertschöpfung dürfte aufgrund steigender Pachtpreise an die Verpächter von Ackerflächen weitergereicht werden.

Tabelle 6.2: Entwicklung von Landnutzung, Produktion und Einkommen der deutschen Landwirtschaft in den Szenariorechnungen

Jahr		1999	2007	2019	%-Änderung (auf Basis der Referenz)			
Basisjahr / Szenario		Basisjahr		Referenz	Biogas 1	Biogas 2	ohne Biogas	+Stroh
Landnutzung								
Getreide	1.000 ha	6.840	6.572	6.199	*-6,0%*	*-3,0%*	*10,3%*	*5,9%*
davon Winterweizen	1.000 ha	2.550	2.955	2.586	*-4,2%*	*-2,1%*	*6,9%*	*5,9%*
davon Gerste	1.000 ha	2.196	1.917	1.953	*-7,2%*	*-3,6%*	*12,5%*	*6,2%*
davon Roggen	1.000 ha	851	681	587	*-6,2%*	*-3,1%*	*10,3%*	*8,1%*
Hülsenfrüchte	1.000 ha	219	109	137	*-6,9%*	*-3,4%*	*9,3%*	*-6,9%*
Ölsaaten	1.000 ha	1.137	1.569	1.739	*-5,9%*	*-3,0%*	*7,7%*	*-4,6%*
Kartoffeln, Zuckerrüben	1.000 ha	793	678	405	*-2,0%*	*-1,1%*	*5,1%*	*-1,9%*
Silomais	1.000 ha	1.203	1.471	2.100	*32,6%*	*16,8%*	*-53,5%*	*-6,2%*
davon Futtermais	1.000 ha	1.203	1.221	839	*-5,2%*	*-3,1%*	*11,6%*	*0,4%*
davon Biogas-Mais	1.000 ha	?	ca. 250	1.261	*57,8%*	*30,1%*	*-96,9%*	*-10,5%*
anderes Ackerfutter	1.000 ha	469	640	420	*-13,8%*	*-7,0%*	*21,7%*	*-10,5%*
Ackerflächenstilllegung/Brache	1.000 ha	720	648	415	*-40,6%*	*-24,6%*	*53,2%*	*-32,6%*
Tierproduktion								
Rinder	1.000 Stück	14.896	12.687	12.719	*-1,5%*	*-0,8%*	*2,4%*	*-0,3%*
davon Milchkühe	1.000 Stück	4.765	4.071	3.925	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*
Produktion								
Getreide	1.000 t	44.513	43.497	43.229	*-5,9%*	*-3,0%*	*10,1%*	*5,6%*
Ölsaaten	1.000 t	3.033	2.744	4.787	*-6,8%*	*-3,4%*	*8,7%*	*-5,5%*
Milch	1.000 t	26.768	28.283	29.575	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
Rindfleisch	1.000 t	1.396	1.186	1.213	*-1,0*	*-1,0*	*3,2*	*-0,3*
Schweinefleisch	1.000 t	3.863	4.985	3.528	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
Geflügelfleisch	1.000 t	799	1.142	1.379	*0,1*	*0,1*	*-0,1*	*0,0*
Einkommen								
Nettowertschöpfung [1)]	Mio. Euro	10.394	13.782	11.957	*6,7%*	*3,2%*	*-6,2%*	*3,8%*

1) Nettowertschöpfung zu Faktorkosten

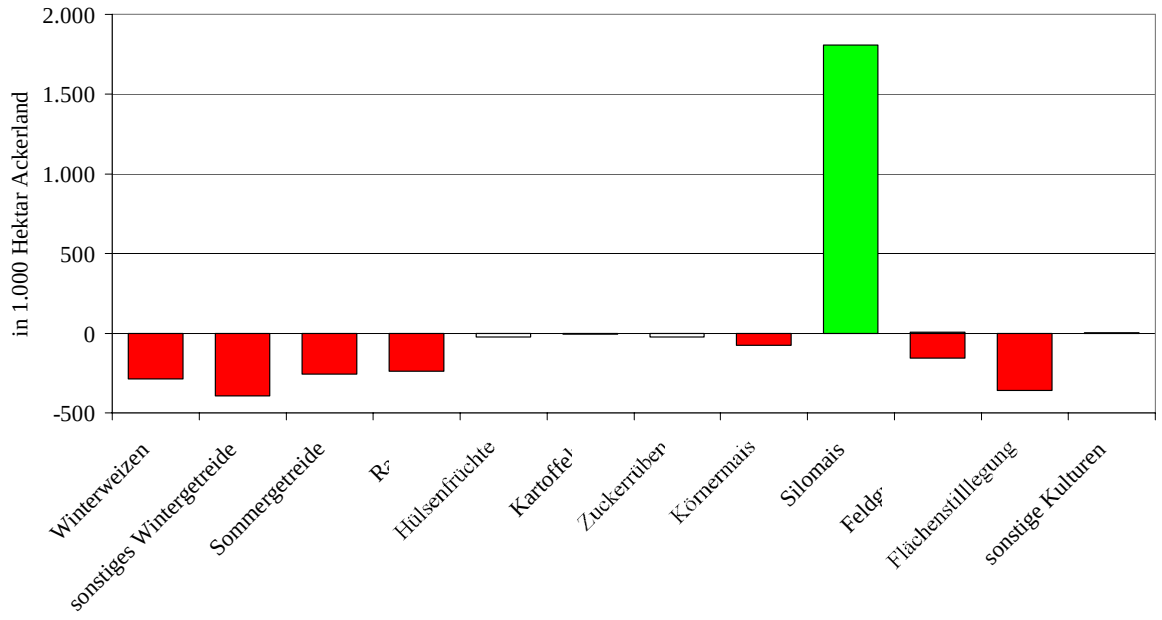
Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von RAUMIS.

Der Ausbau der energetischen Strohnutzung hat eine Verschiebung der Flächennutzung zugunsten des Getreides zur Folge. Der Getreideanbau wird durch die Möglichkeiten des Strohverkaufs für die energetische Nutzung also wettbewerbsfähiger. Die Biogas-Maisfläche wird um etwa 130.000 ha eingeschränkt, und um die gleiche Größenordnung geht die Stilllegung zurück. Auch die Ölssaatenfläche und die sonstige Ackerfutterfläche werden etwas eingeschränkt. Gegenüber der Referenz steigt die Nettowertschöpfung um knapp 4 %. Dieses Szenario illustriert zum einen die potentielle Konkurrenz zwischen

den verschiedenen NR-Optionen. Bei der Kombination verschiedener NR-Optionen werden extensivere Verfahren (Stilllegung, sonstiges Ackerfutter) unter sonst gleichen Rahmenbedingungen deutlicher eingeschränkt.

Abbildung 6.2 stellt einen Vergleich der Flächennutzungsänderungen auf Grundlage der RAUMIS-Ergebnisse dar. Dabei wurde das Szenario „Biogas 1“ mit fast 2 Mio. ha Biogas-Maisfläche mit dem fiktiven Szenario „ohne Biogas“ verglichen. Wie oben erläutert wird der Flächenzuwachs von Silomais zu über 95 % durch die Einschränkung der Anbauflächen von Getreide, Raps und sonstige Ackerfutterfläche sowie dem Rückgang der Stilllegungsfläche erklärt. Gleichzeitig wird die Futtermaisfläche um ca. 140.000 ha eingeschränkt. Im Szenario „Biogas 1“ liegt die Stilllegungsfläche bei ca. 245.000 ha, dies entspricht in etwa dem aktuellen Umfang der nach Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung verbleibenden Ackerbrache. Die Ergebnisse zeigen, dass es auf Grenzertragsstandorten auch künftig Stilllegung geben dürfte. Die Förderung der NR-Produktion kann die Nutzung solcher Standorte attraktiver machen. Damit verbunden ist jedoch auch eine Intensivierung der Nutzung von Flächen, die für den Ackerbau nur eingeschränkt geeignet sind (vgl. Kapitel 7.1 zur Intensivierung der Landnutzung).

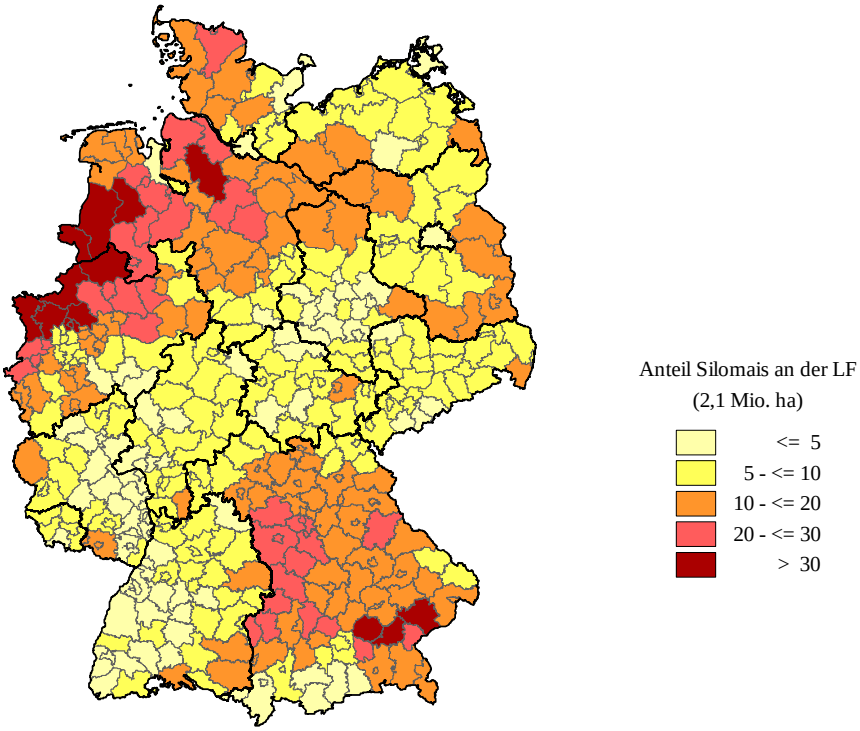
Abbildung 6.2: Flächenzu- und abnahmen bei Ackerkulturen im Szenario „Biogas 1“ im Vergleich zum Szenario „ohne Biogas“



Quelle: Eigene Darstellung nach Ergebnissen des Modells RAUMIS.

Die Ausdehnung des Silomais in der Referenz sowie im Szenario „Biogas 1“ wird in den Karten 6.3 und 6.4 dargestellt. Schwerpunkte der Silomaisproduktion liegen in Nordwestdeutschland und in Bayern, und es sind die regionalen Verteilungsmuster aus Karte 5.3 zum Silomaisanbau im Jahr 2007 zu erkennen.

Karte 6.3: Anteil Silomais in % der LF (Referenzszenario, ca. 2,1 Mio. ha)

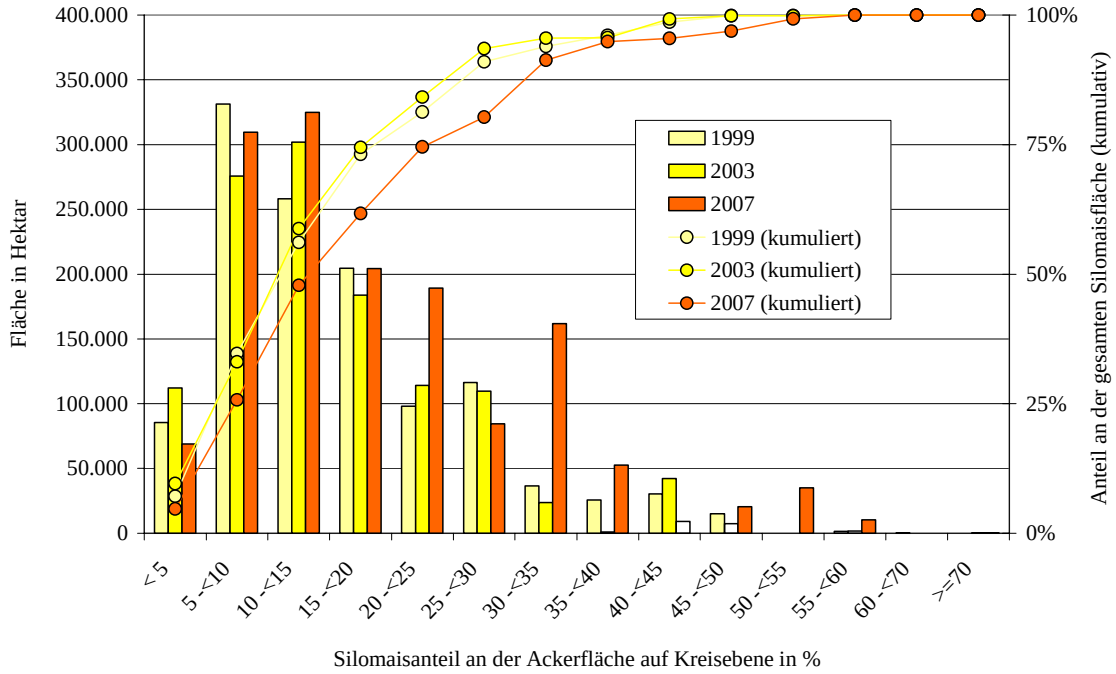


Quelle: Eigene Darstellung nach Ergebnissen des Modells RAUMIS.

Die Folgen der Ausdehnung der Silomaisproduktion auf die Anbauanteile an der Ackerfläche sind in Abbildung 6.3 für die Jahre 1999, 2003 und 2007 sowie in Abbildung 6.4 für den Vergleich „Biogas 1“ und „ohne Biogas“ dargestellt. Die bisher stattgefundene Intensivierung und Verengung der Ackerfruchtfolgen ist in Abbildung 6.3 am Vergleich zwischen dem Jahr 2007 mit den beiden Jahren 1999 und 2003 erkennbar. Im Jahr 2007 fielen mehr Regionen in die Klassen mit höheren Anbauanteilen. Entsprechend verschiebt sich die Kurve der kumulativen Verteilung der gesamten Maisfläche nach rechts in die Klassen mit höheren Silomais-Anbauanteilen.

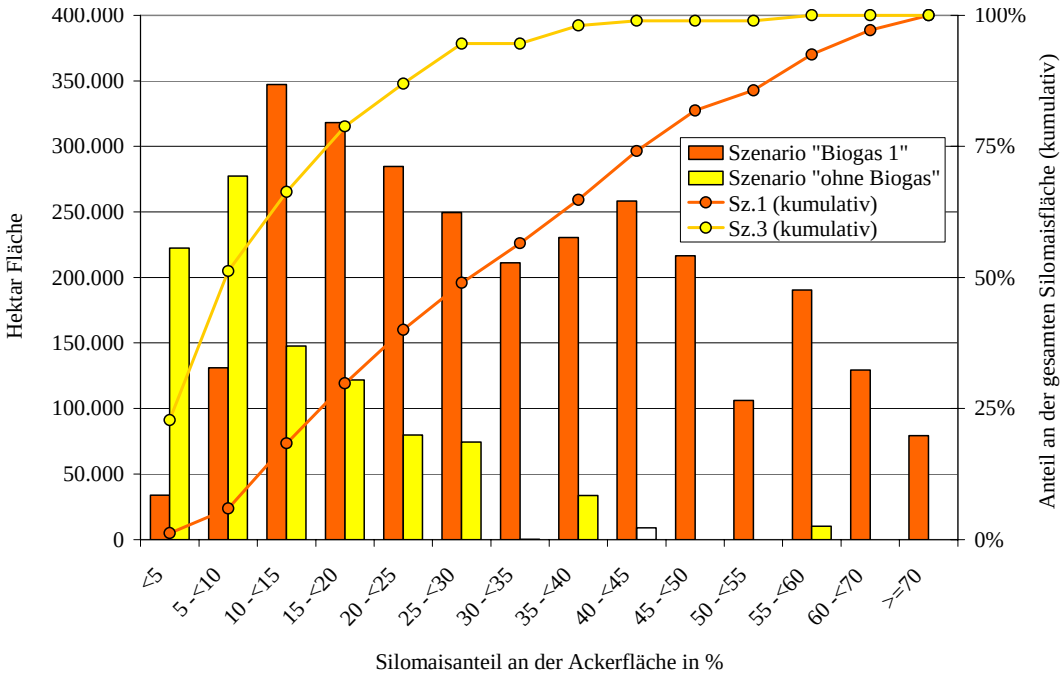
In Abbildung 6.4 wird ersichtlich, dass der starke Ausbau der Biogas-Maisfläche zu einer wesentlich stärkeren Erhöhung der Anbauanteile beiträgt. Dies liegt an der Konzentration des Biogasausbaus in Regionen mit höherer Bedeutung auch der Futtermaisproduktion. Im Szenario „Biogas 1“ liegen ca. 18 % der Silomaisfläche in Kreisen mit über 50 % Anbauanteil. Diese Ergebnisse entsprechen den in Kapitel 5.4 vorgestellten, empirischen Analysen der Maisflächenentwicklung in Niedersachsen zwischen 2005 und 2007.

Abbildung 6.3: Verteilung des Silomaisanbaus, geschichtet nach regionalen Ackerflächenanteilen in den Jahren 1999, 2003 und 2007



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Forschungsdatenzentren FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Agrarstrukturerhebung, 2007, eigene Berechnungen.

Abbildung 6.4: Verteilung des Silomaisanbaus, geschichtet nach regionalen Ackerflächenanteilen, Szenario „Biogas 1“ und „ohne Biogas“



Quelle: Eigene Darstellung nach Ergebnissen des Modells RAUMIS.

6.5 Zwischenfazit zur Modellierung mit RAUMIS

Die Abbildung neuer Verfahren beispielsweise der NR-Produktion stellt im Modell RAUMIS aufgrund der Basisjahrkalibrierung ein methodisches Problem dar. Hinzu kommt, dass durch die Kalibrierung des Modells die Abbildung einer Gleichgewichtssituation im Basisjahr erfolgt. Dies erschwert die Modellierung künftiger Entwicklungen, die sich auch ohne veränderte Rahmenbedingungen vollziehen, etwa die Abbildung eines kontinuierlichen, weiteren Ausbaus der NR-Produktion.

Anpassungen der Flächennutzung bei Ausbau der Gärsubstratproduktion betreffen vor allem Getreide, Raps, die (künftig freiwillige) Stilllegungsfläche und sonstiges Ackerfutter. Die Szenariorechnungen zeigen, dass es nicht zwingend zu einer Einschränkung der Tierproduktion kommen muss. Diese Entwicklung kann langfristig eintreten, wenn bei Investitionsentscheidungen und der Neuausrichtung landwirtschaftlicher Betriebe regelmäßig der Biogasoption der Vorrang eingeräumt wird. Mit einem Abbau der Tierhaltung wären erhebliche Wirkungen auf Beschäftigung und Wertschöpfung verbunden (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT FÜR AGRARPOLITIK, 2007; HEIßENHUBER et al., 2008).

Die Berechnungen mit RAUMIS bilden die Konkurrenz um knappe Managementkapazitäten und knappes Investitionskapital nicht ab. Die Modellrechnungen zeigen, dass die Rinderhaltung bei Ausdehnung der Gärsubstratproduktion stärker auf die Grünlandfläche ausweicht, auf der nach dem langjährigen Rückgang der Rinderbestände noch Intensivierungspotentiale bestehen. Die Schwein- und Geflügelhaltung als bodenunabhängiger Betriebszweig ist weniger von der hier untersuchten Flächenkonkurrenz betroffen. Probleme einer Konkurrenz zur Tierhaltung können sich kurz- und mittelfristig bezüglich der Gülle- bzw. Gärrestausbringungsfläche ergeben. Der Frage, wie viel Fläche bei Ausbau der Biogasproduktion in viehstarken Regionen als Güllenachweisfläche tatsächlich verloren geht, wird im folgenden Kapitel (Kapitel 7.2) nachgegangen.

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass es im Zuge der bis 2020 absehbaren Ausbaustufen der Biogasproduktion vor allem zu Intensivierung der Ackernutzung kommen wird, wobei die bestehende Tierhaltung weitgehend bestehen bleibt und um die Biogasoption ergänzt wird. Veränderungen des Anbauprogramms finden vor allem im Marktfruchtbau statt. Da Futtergetreideflächen umgewidmet und in der Tierhaltung benötigte Getreidemengen zugekauft werden können, geht von diesen Veränderungen der Flächennutzung kein unmittelbarer Druck auf die Tierhaltung aus. Entscheidender kann der Effekt auf die Güllenachweisflächen sein. Unmittelbar von Ausbringungsobergrenzen betroffen sind aber nur sehr wenige Regionen in Deutschland, vor allem im westlichen Niedersachsen. In der Mehrheit der Regionen wird demnach zunächst eine Erhöhung der organischen Dungmengen bis zu den durch die Düngeverordnung vorgegebenen Grenzen stattfinden (vgl. Kapitel 7.2), verbunden mit potentiell steigenden Umweltbelastungen

Die Nutzung von Gülle in Biogasanlagen ist ein wichtiges Element in der Treibhausgasbilanz dieser Technologie, da bei gasdichter Lagerung Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung verringert werden und das anfallende Methan energetisch genutzt wird. Eine Bindung der Biogasproduktion an die Tierhaltung ist damit umweltpolitisch sinnvoll. Unter den Bedingungen des neuen EEG mit Güllebonus bestehen aber keine Anreize, über die Mindestverwendung von Gülle als Gärsubstrat hinauszugehen.

Klimaschutzpolitisch ist es wünschenswert, eine möglichst hohe Verwendung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen zu erreichen. Gerade in Tierhaltungsregionen besteht durch den derzeitigen Güllebonus ein Anreiz, gleichzeitig sehr hohe Anteile an der gesamten Ackerflächen für die Gärsubstratproduktion zu nutzen. Die hohen, mit Güllebonus für die Gärsubstratproduktion nutzbaren Ackerflächenanteile von bis zu 100 % der verfügbaren Fläche gerade in diesen Regionen (vgl. Karte 6.2) veranschaulichen diese Problematik. Diese Anreize werden nicht die maximale Wirtschaftsdüngermenge mobilisieren und zu verstärkten Flächenkonkurrenzen gerade in viehstarken Regionen führen. In Hinblick auf die Klimaschutzwirkungen sollte geprüft werden, auf welche Weise erreicht werden kann, dass mehr Wirtschaftsdünger im bestehenden Anlagenbestand verwendet wird.

7 Umweltwirkungen ausgewählter Bioenergielinien

In diesem Kapitel wird ein Überblick über potenzielle Umweltwirkungen des NR-Anbaus gegeben. Dabei wird auf die flächenbezogenen Wirkungen fokussiert. Konversionsanlagen und die Energie-, Treibhausgas- und Ökobilanz ganzer NR-Ketten werden hier nicht umfassend behandelt (vgl. z. B. MAJER und DANIEL, 2008; WIEGMANN und FRITSCHE, 2008). Im Mittelpunkt steht die Gärsubstratproduktion für Biogasanlagen einschließlich des Gärrestmanagements, daneben werden auch die Raps- und Getreideproduktion für Biokraftstoffe sowie Kurzumtriebsplantagen (KUP) betrachtet. Globale Effekte, die durch die verstärkte stoffliche und vor allem energetische Verwendung von Agrarprodukten in Deutschland und der EU entstehen können, werden hier nicht betrachtet.

Bei den Betrachtungen von Umweltwirkungen des NR-Anbaus ist zu unterscheiden zwischen:

- anbauspezifischen Auswirkungen, die sich im Vergleich zwischen Energiepflanzenproduktion und dem Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln ergeben,
- Flächeneffekten des Energiepflanzenanbaus auf die Änderung von Fruchtfolgen, die Intensivierung der Agrarproduktion und auf Landnutzungsänderungen,
- Lagerung und Ausbringung von Gärresten.

Das nächste Kapitel ist den Wirkungen auf die Flächennutzung gewidmet. Daran anschließend werden die Lagerung und Ausbringung von Gärresten thematisiert. Den Wirkungen der Transportkosten wird in Kapitel 7.3 nachgegangen. Schließlich wird in Kapitel 7.4 das Ergebnis einer GIS-Analyse der Acker- und Grünlandstandorte in Deutschland in Hinblick auf mögliche Nutzungsrestriktionen durch Schutzgebietskulissen des Naturschutzes, auf Moorböden („organische Böden“) und Hanglagen vorgestellt.

7.1 Flächenbezogene Umweltwirkungen des NR-Anbaus

Die Europäische Umweltagentur hat Energiepflanzen in Hinblick auf das mit dem Anbau verbundene Risiko einer Umweltbelastung eingeordnet (siehe Tabelle 7.1). Der Vergleich verschiedener Energiepflanzen verdeutlicht das unterschiedliche Potenzial, die Umwelt negativ zu beeinflussen und gibt damit Hinweise zu Auswirkungen einer Ausdehnung des Anbaus. Raps und Mais benötigen im Vergleich zu Getreide besonders viel Input an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln mit den damit verbundenen Risiken für Grund- und Oberflächenwasser. Dies gilt insbesondere bei Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil dieser Kulturarten. Ein hoher Stickstoff-Düngungsbedarf und erhöhte N-Überschüsse sind aufgrund der Lachgasemissionen auch relevant für den Klimaschutz. Auch in Hinblick auf Bodenverdichtung, Erosion und Wasserverbrauch wird Mais als besonders kritisch einge-

stuft. Während Getreide durchweg eine mittlere Position einnimmt, werden Grünland und KUP im Vergleich zu annuellen Ackerkulturen als umweltschonender eingestuft.

Tabelle 7.1: Umweltparameter beim Anbau ausgewählter Energiepflanzen für Deutschland (nach EEA, 2007)

	Raps	Mais	Winter-weizen	Dauergrün-land	KUP (Pappel, Weide)
Nährstoffauswaschung	C	C	B	A	A
Pestizideinträge	C	B	B	A	A
Erosion	A	C	B	A	A
Bodenverdichtung	A	C	B	A	A
Wasserverbrauch	B	B/C	B	A	B

A = geringes Risiko, B = mittleres Risiko, C = starkes Risiko
Quelle: EEA (2007).

Bezüglich der Wirkungen auf den Gewässerschutz sei auf NITSCH et al. (2008) verwiesen, in Hinblick auf Naturschutzaspekte auf SCHÜMANN et al. (2010), DZIEWIATY et al. (2007), LFUG (2006) und SCHÖNE (2008).

Annuelle Kulturen (Mais, Raps, Getreide)

Anbauspezifische Unterschiede zwischen Raps, Mais und Getreide als Energiepflanzen im Vergleich zur Futter- oder Nahrungsmittelproduktion spielen eine sehr geringe Rolle. Beachtenswert bezüglich des Einflusses auf die Wasserqualität und weitere abiotische Faktoren sind jedoch folgende Aspekte (vgl. NITSCH et al., 2008; DVORAK et al. 2007; HUFNAGEL, 2007; LFUG, 2006):

- Eine Qualitätsdüngung für Brotweizen ist nicht notwendig, da hohe N-Gehalte unerwünscht sind.
- Es besteht ein Potenzial zur Verringerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, da Qualitätsminderungen, etwa durch Pilzbefall, weniger ins Gewicht fallen und ein gewisser Beikrautbesatz tolerierbar ist.
- Ein Anbau innerhalb von Zweikulturnutzungssystemen, dem kombinierten Anbau einer Winter- und einer Sommerkultur im Laufe eines Jahres, hat den Vorteil einer nahezu ganzjährigen N-Aufnahme und Bodenbedeckung.
- Im Falle einer Ganzpflanzennutzung, z. B. als Biogassubstrat, resultiert eine Abfuhr von hohen Kohlenstoffmengen mit dem entsprechenden Risiko für den Bodenhumusgehalt. Laut HUFNAGEL (2007) ist die Humusbilanz insbesondere bei Mais deutlich negativ, ebenso bei der Ganzpflanzennutzung von Sommer- und Wintergetreide.
- Aufgrund hoher Nährstoffansprüche und geringer N-Abfuhr mit der Ernte kommt es nach der Rapsernte im Herbst zu hohen Nitratmengen im Boden, die über die winter-

liche Sickerwasserperiode hinweg einer hohen Auswaschungsgefahr unterliegen (LICKFETT, 2000). Im Rapsanbau werden im Vergleich zu anderen Ackerkulturen vergleichsweise mehr Insektizide und Fungizide ausgebracht.

– Verschiedene Autoren halten Energiemais aus Umweltsicht für eine problematische Kultur. Als Gründe werden die langsame Jugendentwicklung, der späte Reihenschluss, die Eigenschaft als Humuszehrer, die geringe Konkurrenzkraft, die schlechte Kombinierbarkeit mit Winterzwischenfrüchten und der hohe Wasser- und Düngebedarf angeführt, was unter anderem mit einem hohen Erosionsrisiko, einer späten N-Aufnahme, regelmäßig hohen Rest-N_{min}-Werten im Herbst und der damit verbundenen erhöhten N-Auswaschungsgefahr einhergeht (EEA, 2007; NLWKN, 2007; AGROPLAN, 2006; HERBKE et al., 2005).

SCHÜMANN et al. (2010) verweisen auf die negative Wirkung veränderter Bearbeitungs- und Erntetermine auf viele Lebensgemeinschaften der Agrarlandschaft, etwa durch die vorgezogene Ernte für Ganzpflanzensilage im Vergleich zu Mähdrusch oder durch Zweikulturnutzung.

Verdrängung anderer Ackerkulturen und Veränderungen der Fruchtfolge

Negative Folgewirkungen auf der Landschaftsebene können insbesondere angenommen werden, wenn (vgl. CONCAWE et al., 2007; HUFNAGEL, 2007; LfUG, 2006):

– der Flächenanteil von Kulturen zunimmt, die tendenziell mit einem hohen Faktoreinsatz oder Risiken für Gewässer und Böden einhergehen (z. B. Mais), oder

– eine Verengung von Fruchtfolgen aufgrund von verstärktem Schädlings- und Krankheitsrisiko zu einem erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln führt.

Diese Zusammenhänge eröffnen theoretisch genauso die Möglichkeit, Belastungen zu senken, nämlich durch eine Ausdehnung von Kulturen, die mit geringeren Umweltbelastungen einhergehen oder zu weiteren Fruchtfolgen führen. Beispielsweise ermöglicht die Aufnahme neuer Fruchtfolgeglieder (Raps, Mais) in getreidebetonte Fruchtfolgen eine Verringerung der Schädlings- und Krankheitsrisiken. Eine starke Erhöhung der Anbauanteile, vor allem bei Mais, kann dagegen auf regionaler Ebene zu Gefährdungen von Gewässern und Böden führen.

Falls es durch die Konzentration auf eine Energiepflanzenkultur zu einer Verarmung der Kulturartendiversität kommt, ist dies mit negativen Auswirkungen auf die Biodiversität auch wilder Tier- und Pflanzenarten verbunden (Schümann et al, 2010).

Intensivierung der Landnutzung

Der steigende Bedarf für Energiepflanzen leistet einen Beitrag zu verstärkter Flächenkonkurrenz und damit zur Intensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung. Eine In-

tensivierung war seit dem Jahr 2007 auch aufgrund steigender Agrarpreise zu beobachten. Mögliche nachteilige Umweltwirkungen resultieren aus:

– einer höheren Düngung,
– der intensiveren Nutzung bisher extensiv genutzter Flächen,
– dem Anbau auch auf ungeeigneten Standorten,
– der geringeren Attraktivität freiwilliger Extensivierungsprogramme.

Wie in Kapitel 5 aufgezeigt, kommt es z. B. beim Mais zu einer Ausdehnung auf Standorte, die nur bedingt geeignet sind. Aufgrund stärker schwankender Erträge und damit einhergehender Nährstoffüberhänge in ertragsschwachen Jahren oder aufgrund der Erosionsgefährdung können von einer solchen Entwicklung negative Umweltwirkungen ausgehen (BAHRS und HOCH, 2007). Analysen von SIMON et al. (2007) im Chiemgau zeigen, dass bereits jetzt regional ein Verdrängungswettbewerb um die Fläche erfolgt, der auf Kosten extensiver Landbewirtschaftung geht. Hoffnungen des Naturschutzes, Aufwuchs extensiver Standorte energetisch zu verwerten oder Mischkulturen zu nutzen, haben sich bisher nicht erfüllt.

Eine Erhöhung der Schnitthäufigkeit von bisher extensiver genutztem Grünland, wie es für die Vergärung des Aufwuchses wünschenswert ist, resultiert zusammen mit der Ausbringung des Gärrückstandes in einer tendenziellen Intensivierung der Grünlandnutzung, was sich insbesondere negativ auf die Artenvielfalt von intensivierungsfähigen artenreichen Wiesen auswirkt (RÖSCH et al., 2007).

Landnutzungsänderungen

Landnutzungsänderungen haben potenziell die stärksten Auswirkungen auf die ökologischen Funktionen der Landwirtschaftsflächen. In Deutschland sind hierbei vor allem der Umbruch von Dauergrünland und die Innutzungnahme von Stilllegungsflächen relevant. Auch die Etablierung von KUP oder anderen mehrjährigen Kulturen auf Acker- oder Grünland bedeutet eine Landnutzungsänderung. Zu unterscheiden sind direkte Landnutzungsänderungen, wenn der NR-Anbau auf Flächen mit Nutzungsänderung stattfindet („occupation“, vgl. URBAN et al., 2007), und indirekte Landnutzungsänderungen, wenn es aufgrund von Verlagerungs- und Verdrängungseffekten oder marktvermittelten Wirkungen veränderter Güter- oder Pachtpreise an anderer Stelle zu Nutzungsänderungen kommt (vgl. NITSCH et al., 2008; WBGU, 2008). Indirekte Effekte können jedoch nicht einfach einer einzelnen Ursache zugeordnet werden.

Die Entwicklung der konjunkturellen Flächenstilllegung bis zur Aufhebung der Regelung im Jahr 2008 ist bereits in Kapitel 5 beschrieben worden. Die Innutzungnahme bisheriger Stilllegungsflächen ist auf die Aufhebung der Verpflichtung zurückzuführen und nicht dem NR-Anbau zuzuschreiben.

Der Umbruch von Grünland zur anschließenden Nutzung als Ackerland bedeutet einen massiven Mineralisierungsschub und das Risiko verstärkter Erosion und ist damit aus Sicht des Gewässerschutzes – aber auch des Klimaschutzes – mit deutlich negativen Auswirkungen verbunden (DVORAK et al., 2007; SRU, 2007; HERBKE et al., 2005; RÖSCH et al., 2007). Im Falle von artenreichem z. B. an Blütenpflanzen reichem Grünland bedeutet die Umwandlung die Zerstörung dieser Lebensraumfunktionen. Die Drainierung und die Etablierung von Ackerland auf Moorböden haben sehr hohe CO_2-Freisetzungen zur Folge (Freibauer et al, 2004). Grünlandumbruch und die Nutzung von Feucht- und Moorstandorten zur Gärsubstratherstellung kann den Beitrag der Biogasanlagen zum Klimaschutz in Frage stellen.

Die energetische Nutzung von Grünland ist insofern sinnvoll, als dass ein Umbruch zu Ackerland vermieden wird. Rentabel für die Biogassubstratproduktion ist zu Zeit allerdings nur die Nutzung von Intensivgrünland (HOCHBERG, 2007; RODE, 2007). Vom EEG können Anreize zu häufigeren Schnitten auch auf bisher extensiver genutzten Grünlandflächen ausgehen, was entsprechende Konflikte mit Naturschutzzielen mit sich bringt. In Einzelfällen ist es in diesem Zusammenhang zum Ausstieg von Landwirten aus Extensivierungsmaßnahmen gekommen (HOCHBERG, 2007; RÖSCH et al, 2007; AGROPLAN, 2006).

Die Etablierung von KUP auf landwirtschaftlich genutzter Fläche wird unter ökologischen Gesichtspunkten überwiegend positiv beurteilt. Mehrjährige Kulturen von Energiepflanzen gehen einher mit einer langen Bodenruhe und einem weitgehenden Entfallen von Pflegemaßnahmen über mehrere Jahre und werden daher für den Boden- und Gewässerschutz generell als vorteilhaft angesehen. Weitere Aspekte sind (LFUG, 2006):

– Der Nährstoffbedarf von KUP ist im Vergleich zum Ackerbau gering.
– Eine Unkrautbekämpfung ist nur im ersten Jahr, hier jedoch unbedingt, nötig. Prinzipielle Alternativen zu chemischen Verfahren sind die mechanische Bekämpfung und Mulchsetzverfahren oder die Verwendung von Setzstangen.
– Durch die lange Bodenruhe, dichte Bestände und positive Auswirkungen auf Humusgehalt und Bodengefüge und damit Förderung der natürlichen Bodenfunktionen im Wasserhaushalt durch den Anbau von KUP ist die Erosionsgefahr im Vergleich zu Ackerstandorten geringer.

Während der Etablierungs- und Rückumwandlungsphase, bei der eine intensive Bodenbearbeitung empfohlen wird, ist das Risiko für Bodenverdichtung, Erosion und Nährstoffauswaschung jedoch erhöht, insbesondere, da der anfängliche Nährstoffbedarf der Kulturen sehr gering ist (DVORAK et al., 2007; RÖSCH et al., 2007; LFUG, 2006). Akkumulierter Bodenkohlenstoff kann KUP zu einer klimarelevanten C-Senke machen, wobei hier eine große Variabilität besteht (LFUG, 2006). Bei Rückumwandlung in Ackerland wird der festgelegte Kohlenstoff allerdings wieder freigesetzt. Ob es auf Grünlandstandorten

zu Festlegungen oder Freisetzungen kommt, ist noch nicht abschließend geklärt. Diese Frage ist jedoch entscheidend für die Beurteilung des Betrags der KUP zum Klimaschutz.

Ähnliche ökologische Auswirkungen wie bei KUP werden beim Anbau weiterer perennierender Kulturen (z. B. Miscanthus, Durchwachsene Silphie) erwartet (EEA, 2007; LFUG, 2006). Auch hier sind der vergleichsweise geringe Nährstoffbedarf und die lange Bodenruhe positiv zu sehen. KUP eignen sich auch für einen Anbau in Überschwemmungsgebieten, Wasserschutzgebieten oder – genauso wie Dauergräser – als Erosionsschutz- oder Gewässerrandstreifen (DWORAK et al., 2007). Insbesondere in Ackerbauregionen kann eine Etablierung von KUP zur Diversifizierung der Landschaftsstruktur und zur Biotopvernetzung beitragen. Aus Gründen des Biotopschutzes sollten naturschutzfachlich wertvolle Flächen jedoch nicht in KUP umgewandelt werden (BfN, 2010).

7.2 Lagerung und Ausbringung von Gärrückständen

Neben dem Energiepflanzenanbau ist die Lagerung und Ausbringung der vergorenen Gärrückstände aus der Biogasproduktion umweltrelevant. Eine Rückführung von Gärresten landwirtschaftlich erzeugter Biogassubstrate auf die Fläche ist bezüglich Humusbilanz und Nährstoffkreisläufen sinnvoll und kann Mineraldünger ersetzen, birgt jedoch durch den Nährstoffeintrag Risiken für die Gewässer, insbesondere bei einer Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, bei der zusätzliche Gärrückstände anfallen. Dadurch entstehen neben Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft auch solche pflanzlichen Ursprungs, die für eine gezielte Düngung ähnlich Probleme mit sich bringen.

Eigenschaften vergorener Gülle und Gärreste

Vergorene Gülle weist im Vergleich zu roher Gülle tierischer Herkunft einige Vorzüge auf (DVORAK et al., 2007; FNR, 2006; LFUG, 2006, LTZ 2008):

- Nährstoffe gehen während der Vergärung nicht verloren. Organischer Stickstoff wird vermehrt zu Ammonium mineralisiert und ist damit besser direkt pflanzenverfügbar.
- Der pH-Wert erhöht sich, was bei der Nutzung des Gärrestes als Dünger einer Versauerung des Bodens entgegenwirkt. Gleichzeitig erhöht sich durch den Anstieg des pH-Wertes das Ammoniakemissionspotenzial.
- Verbesserte Fließfähigkeit der Gülle, was ein schnelleres Eindringen in den Boden und damit geringere Ammoniakemissionen ermöglicht.
- Niedrigerer Gehalt an Keimen und ätzenden organischen Säuren.
- Geringere Geruchsbelastung.

Ein erhöhter Anteil an mineralischem Stickstoff bedeutet eine bessere Pflanzenverfügbarkeit. Dies muss in der Düngeplanung berücksichtigt werden, da sonst bei leichten Sand-

böden vermehrt Nitratauswaschung droht (LFUG, 2006). Die bessere Düngewirkung bedarf daher einer umsichtigeren Düngung als bei Rohgülle, auch bezüglich der Ammoniakausgasung bei der Aufbringung, da der höhere Anteil an Ammonium und der höhere pH-Wert Ammoniakverluste begünstigt. Der Düngungszeitpunkt sollte näher am Zeitpunkt des höchsten Pflanzenbedarfs liegen (LAUSEN, 2007). Nährstoff- und Trockensubstanzgehalte schwanken in Praxisbetrieben jedoch stark, auch bei ähnlichen Einsatzstoffen. Schätzwerte und Faustzahlen zum Nährstoffgehalt sind daher insbesondere bei unterschiedlichen Einsatzstoffen und unbekanntem Trockensubstanzgehalt sehr ungenau (LAUSEN, 2007; WENDLAND et al., 2007). Das tatsächliche N-Angebot ist also schwierig zu bewerten. Bezüglich der Humuswirkung von Gärresten bestehen noch keine langfristigen Untersuchungen. Man kann jedoch ableiten, dass in intensive Fruchtfolgen, bei denen die Gesamtpflanze geerntet wird, der Humusgehalt im Boden abnimmt. Die N-Fracht begrenzt häufig eine Kohlenstoffrückführung über Gärreste. (WENDLAND et al., 2007).

Im Falle der zusätzlichen Verwendung von möglicherweise belasteten betriebsfremden Kofermenten, z. B. außerhalb des landwirtschaftlichen Sektors anfallende Abfallstoffe, muss der Aspekt einer möglichen Schadstoffanreicherung beachtet werden (LfUG, 2006). In Deutschland findet eine Vergärung von abfallrechtlich relevanten Kosubstraten jedoch überwiegend in wenigen spezialisierten Anlagen statt (IE, 2007).

Lagerung von Substraten und Gärresten

Entscheidend für die Wirkung der Biogasproduktion auf die Treibhausgas- und Ammoniakemissionen ist eine gasdichte Lagerung der Gärreste. Gärrestlager stellen eine wesentliche Quelle für Methanemissionen dar (vgl. VOGT et al., 2008). Im Biogas-Messprogramm II (FNR, 2009) wurde anhand der untersuchten 61 Anlagen festgestellt, dass viele Anlagen kein gasdichtes Lager besitzen und es somit zu unerwünschten Methan- und Ammoniakemissionen sowie Geruchsemissionen kommt. Eine gasdichte Abdeckung mit Restgasnutzung ist in vielen Fällen wirtschaftlich rentabel, wird jedoch nach EEG 2009 nur für nach dem Bundesemissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftige Anlagen vorgeschrieben (vgl. Kapitel 3). Weiterhin ist eine ausreichende Lagerkapazität Voraussetzung für die gezielte, am Pflanzenbedarf orientierte Düngung. Eine mindestens sechsmonatige Lagerdauer ist allerdings in den Landeswassergesetzen nur für Gülle tierischer Herkunft vorgeschrieben (NITSCH et al., 2008).

Nährstoffkreisläufe und Nährstoffakkumulation

Auf Betriebsebene betrachtet führt eine Vergärung von Energiepflanzen dazu, dass weniger Export von Nährstoffen stattfindet als durch den Verkauf von Marktfrüchten, Futtermitteln oder tierischen Produkten. Diese Situation wird durch Nährstoffimporte (Futtermittel, Biogassubstrat) verschärft. Die Fläche zur Futtermittelproduktion wird knapper, sodass bei Viehhaltung vermehrt Futtermittel importiert werden müssen. Bezüglich der Verfügbarkeit von Verwertungsflächen kann es zumindest in Anlagennähe in Regionen

mit erhöhtem Viehbesatz zu Engpässen kommen. Geschlossene Nährstoffkreisläufe sind zwar in der Theorie möglich, werden aber in der praktischen Umsetzung vermutlich kaum realisiert, insbesondere nicht bei zunehmender Anlagengröße. Gründe liegen in zu knappem Lagerraum und hohen Transportkosten für Gärreste. Es ist davon auszugehen, dass Gärsubstrate anlagennah angebaut und insbesondere die Gärreste anlagennah ausgebracht werden (vgl. Kapitel 7.3).

Regulierung der Gärresteausbringung durch die Düngeverordnung

Die Düngeverordnung (DüV) reguliert u. a. die Verwendung N- und P-haltiger Düngemittel und gilt damit auch für die Düngung mit Gärresten. Gemäß DüV gelten Gärreste als flüssige organische Düngemittel mit einem „wesentlichen" Nährstoffgehalt. Standards der DüV für die Ausbringung, Einarbeitung und Anrechnung in der Düngeplanung und Nährstoffbilanzierung gelten auch für Gärreste. Allerdings gelten nicht alle für Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft bestehenden Regeln gleichermaßen für Gärreste (vgl. NITSCH et al. 2008):

- Die maximale Aufbringungsmenge von organischem N aus pflanzlichen Anteilen ist nicht gleichermaßen limitiert wie bei Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft.
- Es fehlen klare, einheitliche Vorgaben für eine Berücksichtigung des N aus Gärresten im Nährstoffvergleich und zur Bewertung der Nährstoffverfügbarkeit.
- Eine Durchsetzung der maximalen N-Netto-Salden nach Düngeverordnung ist nicht bußgeldbewehrt, und die Nachvollziehbarkeit der Bilanzberechnungen und die Wirksamkeit des Vollzugs in diesem Bereich werden in Zweifel gezogen.
- Es besteht Bedarf an expliziteren Nachweis- und Dokumentationspflichten zur Abgabe und Aufnahme von Gärrückständen. Diese sollten sowohl für Unternehmen einschließlich gewerblicher Biogasanlagen gelten, die Gärsubstrate importieren und Gärreste exportieren als auch für Landwirtschaftsbetriebe, die Gärsubstrate exportieren und Gärreste importieren.
- Die Lagerkapazität für Gärrückstände ist nicht bundesweit einheitlich geregelt und wird teilweise als zu gering bewertet.

Im Folgenden wird die Begrenzung maximaler Aufbringungsmengen und N-Salden durch die DüV in Betrieben mit intensiver Tierhaltung der Situation in Betrieben mit Biogas und Tierhaltung gegenübergestellt. Diese Betrachtung bezieht sich auf die potenziellen Auswirkungen in besonders viehstarken Regionen, in denen die Fläche für die Gülleausbringung knapp ist. Hier besteht ein Anreiz, bei Aufnahme der Biogasproduktion möglichst wenig Fläche für die Gülleausbringung zu verlieren. Probleme mit der effizienten Verwertung der Nährstoffe aus Gärresten können sich auch in anderen Regionen ergeben. Die potenziellen Nährstoffüberhänge und die resultierenden, flächenbezogenen Umweltbelastungen fallen in Regionen mit geringeren Viehdichten aber geringer aus.

Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche eines Betriebes dürfen laut DüV § 4 im Durchschnitt maximal 170 kg Stickstoff/ha und Jahr aus tierischen Ausscheidungen ausgebracht werden. Dabei werden Stall- und Lagerungsverluste durch Abzüge in Höhe von 15 bis 45 % von der gesamten N-Ausscheidung berücksichtigt (DüV, Anlage 6). Bei der Ausbringung der Gärreste sind nach Düngeverordnung nur die Anteile aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft für die Einhaltung der 170-kg-Grenze zu berücksichtigen. N-Mengen aus pflanzlichen Gärsubstraten werden nicht auf die Ausbringungsobergrenze angerechnet. Dies kann erhebliche Auswirkungen auf die unter Einhaltung der DüV möglichen N-Überschüsse haben. Wesentliche Elemente der DüV zur Begrenzung der N-Überschüsse sind:

- Die 170-kg-Obergrenze für N aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft (§4 DüV); diese gilt nicht für Stickstoff in Gärresten, der aus pflanzlichen Gärsubstraten stammt;
- 60 kg maximaler Netto-N-Überschuss je Hektar im Dreijahresmittel (§ 6 DüV),
- Abzugskoeffizienten für die N-Zufuhr aus Wirtschaftsdüngern (DüV, Anlage 6) und Gärresten zur Berücksichtigung gasförmiger Verluste im Stall, während der Lagerung und bei der Ausbringung:
  - zur Berechnung der 170-kg-Oberrgrenze werden Stall und Lagerungsverluste in Höhe von 30 % bei Schweinegülle und 15 % bei Rindergülle in Abzug gebracht,
  - zur Berechnung des Netto-N-Überschusses je Hektar werden Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste in Höhe von 40 % bei Schweinegülle und 30 % bei Rindergülle in Abzug gebracht,
  - zur Berechnung des Netto-N-Überschusses je Hektar können Lagerungs- und Ausbringungsverluste bei Gärresten in Höhe von 15 oder 30 % des N-Ausgangsgehalts in Abzug gebracht werden, in der DüV sind hierfür anders als beim Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft keine Koeffizienten festgelegt,
- die Obergrenze für den P-Saldo in Höhe von 20 kg/ha P_2O_5-Überschuss im Sechsjahresmittel (§ 6 DüV); diese begrenzt die maximal mögliche organische Düngung und damit indirekt auch auf die organische N-Zufuhr.

Da die Gärrestausbringung nicht durch die Ausbringungsobergrenze von 170 kg N/ha reguliert wird, spielt die Bewertung der Nährstoffvergleiche gemäß § 6 der Düngeverordnung eine entscheidende Rolle. Die zulässige Obergrenze für den N-Saldo beträgt 60 kg N-Überschuss/ha genutzter LF. Der Saldo ist jeweils für ein Dreijahresmittel zu berechnen, wobei nach Anlage 6 der DüV für Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste in Abzug gebracht werden können. Der N-Saldo soll unterhalb des im Dreijahresmittel maximal zulässigen Wertes von 60 kg Netto-N-Überschuss liegen. Dieser Grenzwert gilt erstmals ab dem Mittelwert der Jahre 2009 bis 2011.

Aufgrund des Verlustabzugs ist von einem Netto-N-Saldo zu sprechen. Dieser berücksichtigt die im Betrieb für die Düngung verfügbaren N-Mengen. Im Gegensatz dazu bildet der Brutto-N-Saldo alle N-Flüsse einschließlich der gasförmigen Ammoniakverluste ab. Diese können zu einer regionalen Erhöhung der atmosphärischen N-Deposition und damit zu indirekten Belastungen beitragen. Der Brutto-Saldo ist hinsichtlich der Umweltwirkungen der Düngung aussagekräftiger, da alle Komponenten des N-Überschusses Berücksichtigung finden.

Grundlegend für die Bewertung der Nährstoffvergleiche ist die Überprüfbarkeit und Plausibilitätsprüfung der N- und P-Zufuhr und -Abfuhr. Ausgangsbasis für die Berechnung sind die Nährstoffgehalte ab Lager bzw. vor der Ausbringung, die z. B. durch Gärrestanalyse ermittelt werden. Für den Nährstoffvergleich wird bei Stickstoff aus Gärresten ein pauschaler Abschlag für Ausbringungsverluste von i. d. R. 15 % abgezogen. Demnach gehen von 180 kg N/ha Maisfläche aus pflanzlichen Gärsubstraten rechnerisch 27 kg N gasförmig verloren (siehe Tabelle 7.2). Bei Anrechnung von Lagerungsverlusten können die gasförmigen Verluste höher liegen, in Tabelle 7.2 wird daher eine weitere Berechnung für 30 % gasförmiger Verluste aus Gärresten vorgestellt. Für die Berechnung einer Brutto-N-Bilanz sind diese gasförmigen Verluste auf die 60 kg N/ha maximaler Netto-N-Saldo aufzuschlagen.

Im Folgenden wird ein weitgehend geschlossener Nährstoffkreislauf für die N-Abfuhr im Biogas-Erntegut und die Rückführung über Gärreste unterstellt. Je Hektar Biogas-Mais entsteht eine N-Abfuhr von ca. 180 kg N, die bei Unterstellung gasdichter Lagerung und optimierter, emissionsarmer Ausbringung weitgehend auf die Flächen zurückgeführt werden können. Zusätzlich zur Düngung auf 180 kg N Entzug dürfen je Hektar 60 kg N-Überschuss entstehen. Die pauschal abgerechneten, gasförmigen Verluste aus den Gärresten in Höhe von 27 kg N erweitern den „Freibetrag“ für zusätzliche Düngung, die neben der Rückführung des Gärrestes noch möglich ist (vgl. Tabelle 7.2).

Bei Ausschöpfung dieses Spielraums für zusätzliche N-Zufuhr für Gülleausbringung, also ohne mineralische Düngung, und ohne Berücksichtigung von P-Düngungsbegrenzungen kann die maximal mögliche N-Zufuhr aus tierischen Ausscheidungen von 170 kg N/ha zu 60 % ausgeschöpft werden. Mit anderen Worten: Die regionale, flächenbezogene Gülleausbringungskapazität wird je Hektar Mais für Biogasgärsubstrate um 0,4 ha Gülleausbringungsfläche reduziert. Die Biogas-Maisfläche dient in diesem Fall nicht nur der Aufnahme der Gärreste, die aus dem Aufwuchs dieser Fläche stammen, sondern nimmt zusätzlich auch eine hohe Güllemenge auf, im Beispiel zwischen 87 und 114 kg N/ha aus Gülle nach Abzug von Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverlusten. Die maximale Zufuhr an N aus organischen Düngemitteln tierischer und pflanzlicher Herkunft liegt dabei nach Abzug gasförmiger Verluste bei insgesamt 240 kg/ha. Werden 30 % des N aus Gärresten als gasförmige Lagerungs- und Ausbringungsverluste abgezogen, liegt der „Verlust an Gülleausbringungsfläche“ durch Gärrestrückführung nur bei ca. 20 %.

Stärker restriktiv als die Begrenzung der N-Salden wirkt die Begrenzung der P-Salden, da hier keine Verluste in Abzug gebracht werden können. Insbesondere bei Schweinegülle kommen vergleichsweise hohe P-Gehalte hinzu, wodurch die Begrenzung stärker wirkt als bei Rindergülle. Nach Düngeverordnung § 6 soll ein P_2O_5-Überschuss von 20 kg/ha im Sechsjahresmittel nicht überschritten werden. Wie diese Begrenzung der P-Zufuhr im Fall von Gärresten wirkt, lässt sich nicht eindeutig bestimmen, da es für Böden mit geringer Versorgung Ausnahmen gibt. Zudem gibt es Biogasanlagen, die durch Abtrennung und Trocknung von Feststoffen aus dem Gärrest vor allem die P-Fraktion zu einem transportwürdigen organischen Dünger verarbeiten, der in andere Regionen exportiert werden kann. Dagegen liegt der Stickstoff vor allem in der flüssigen Phase vor und dürfte daher zum Großteil im Betrieb bzw. in der Region verbleiben. In solchen Fällen wirkt die P-Begrenzung nicht restriktiv auf die N-Zufuhr aus Gärrest.

Tabelle 7.2: Berechnung von Spielräumen für die N-Ausbringung unter Ausschöpfung der Begrenzungen gemäß Düngeverordnung §§ 4 und 6

		Gasförmige Ausbringungsverluste aus Gärrest in % des Gesamt-N		
		15%	**30%**	
(1)	Abfuhr mit Biogas-Mais	180	180	kg N/ha
(2)	Rückführung von Gärresten aus Mais: (1) - (3)	153	126	kg N/ha
(3)	Gasförmige Ausbringungsverluste aus Gärrest: (1) * 0,15	27	54	kg N/ha
(4)	max. Netto-N-Überschuss (Düngeverordnung §6)	60	60	kg N/ha
(5)	**Spielraum für zusätzliche N-Zufuhr:** (4) + (5)	87	114	kg N/ha
	Spielraum für zusätzliche N-Zufuhr entspricht Güllemenge in Höhe von (Brutto-N-Zufuhr aus Gülle vor Abzug von Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverlusten)			
(6)	Schweinegülle: (5) / 0,6 (NH_3-Verlustrate für Schweinegülle)	145	190	kg N/ha
(7)	Rindergülle: (5) / 0,7 (NH_3-Verlustrate für Rindergülle)	124	163	kg N/ha
	bei Einhaltung 20 kg/ha P2O5-Überschuss			
(8)	Schweinegülle: Güllezufuhr nur bis zu 20 kg P-Saldo	44	44	kg N/ha
(9)	Rindergülle: Güllezufuhr bis zu 20 kg P-Saldo	59	59	kg N/ha
	Maximale "organische N-Zufuhr" nach Abzug gasförmiger Verluste			
(10)	N-Zufuhr über Gärreste plus Gülle: (2) + (5)	240	240	kg N/ha
	bei Einhaltung 20 kg/ha P2O5-Überschuss *(Gärreste plus Gülle)*			
(11)	Schweinegülle: zusätzliche Güllezufuhr nur bis zu 20 kg P-Saldo	*184*	*157*	*kg N/ha*
(12)	Rindergülle: zusätzliche Güllezufuhr nur bis zu 20 kg P-Saldo	*203*	*176*	*kg N/ha*
	170 kg N-Obergrenze entspricht Güllemenge in Höhe von (Brutto-N-Gehalte für Gülle vor Abzug von Stall- und Lagerungsverlusten)			
(13)	Schweinegülle (170 / 0,7)	243		kg N/ha
(14)	Rindergülle (170 / 0,85)	200		kg N/ha
	"Verlust an Gülleausbringungsfläche" durch Gärrest-Rückführung ohne Restriktion durch P-Saldo			
(15)	Schweinegülle: (1 - (6) / (13)) * 100	-40%	-22%	
(16)	Rindergülle: (1 - (7) / (14)) * 100	-38%	-19%	
	bei Einhaltung von maximal 20 kg/ha P_2O_5-Überschuss			
(17)	*Schweinegülle: (1 - (8) / (13)) * 100*	-82%	-82%	
(18)	*Rindergülle: (1 - (9) / (14)) * 100*	-71%	-71%	

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221).

Erfolgt keine Separierung der Gülle und der Gärreste und wird der maximale P-Saldo von 20 kg P_2O_5 eingehalten, verringert sich die maximale Gülleaufnahmekapazität der Biogasflächen auf nur noch 20 bis 30 % der Ausbringungsobergrenze von 170 kg N/ha. Die Rückführung der Gärreste begrenzt aufgrund der Anrechnung des P-Gehalts zu 100 % die zusätzliche Ausbringung von Gülle. Die Höhe von Abzügen gasförmiger N-Verluste hat in diesem Fall keinen Einfluss auf die zusätzlich zur Gärrestrückführung maximal mögliche Güllezufuhr. Eine Berücksichtigung des maximalen P_2O_5-Überschusses gemäß Düngeverordnung hat vor allem beim Einsatz von Schweinegülle eine Senkung der N-Salden zur Folge.

Wie wirkt sich die mögliche, erhöhte N-Zufuhr aus organischen Quellen auf die maximalen Brutto-N-Salden aus? Dazu wird die Kombination von Gärresten und Gülle auf der Biogas-Maisfläche bei Rückführung aller Gärreste und Ergänzung mit Gülle mit einer Situation ohne Biogas-Gärsubstrateproduktion verglichen, bei der die Obergrenze für die Ausbringung von Stickstoff aus tierischen Ausscheidungen von 170 kg N/ha ausgeschöpft wird (vgl. Tabelle 7.3). Im zweiten Fall werden vor allem Gülle und ergänzend N-Mineraldünger eingesetzt; die Verlustabzüge erfolgen nach Vorgaben der DüV. In beiden Situationen wird annahmegemäß die 60-kg-Obergrenze für die Netto-N-Salden je ha eingehalten und alle Spielräume für eine intensive Düngung ausgeschöpft. Der Vergleich der N-Salden zwischen der Situation mit Biogas gegenüber intensiver Tierhaltung ohne Biogas fällt sehr unterschiedlich aus, je nachdem, ob mit oder ohne Restriktionen der P-Düngung kalkuliert wird (vgl. Tabelle 7.3, Fälle I bis III):

I. Wird in beiden Fällen die Einhaltung der 20-kg-Obergrenze für P_2O_5 angenommen, ergibt sich für den Fall mit Biogas ein um 18 bis 24 kg N/ha geringerer N-Überschuss.

II. Wird in beiden Fällen angenommen, dass die 20-kg-Obergrenze für P_2O_5 nicht eingehalten bzw. vollzogen wird, ergibt sich für den Fall mit Biogas ein etwas geringerer (Ergänzung mit Schweinegülle) bis vergleichbarer N-Überschuss (Ergänzung mit Rindergülle) im Falle geringerer gasförmiger Verluste aus Gärresten. Bei hohen Verlusten liegen die N-Überschüsse mit Biogas um 30 bis 40 kg N/ha über der intensiven Tierhaltung.

III. Wird angenommen, dass in der intensiven Tierhaltung die 20-kg-Obergrenze für P_2O_5 eingehalten wird, während in Biogasbetrieben diese Obergrenze aufgrund Gärrestseparierung und P-Export nicht greift, ergibt sich für den Fall einer ergänzenden Düngung mit Schweinegülle eine Erhöhung der N-Salden gegenüber der intensiven Tierhaltung, die bei hohen N-Verlustabzügen für Gärreste über 70 kg N/ha erreichen. Dieser erhöhte Saldo in Biogasbetrieben ergibt sich unter Einhaltung der DüV.

Ohne rechtliche Begrenzung der Lagerverluste, z. B. auf 15 %, können deutlich höhere N-Mengen gasförmig entweichen bzw. in der Nährstoffbilanzierung in Abzug gebracht wer-

den. Für die Lagerungsverluste bei Gärresten gibt es keine abgestimmten, in den Vollzugshinweisen zur Düngeverordnung festgelegten Richtwerte. Bei Einhaltung der 60 kg N pro Hektar Netto-N-Überschuss geht somit eine potenzielle, zusätzliche N-Belastung durch Gärresteeinsatz von den gasförmigen Verlusten aus. Es dürfte sogar ein Anreiz bestehen, mit möglichst hohen gasförmigen Verlusten zu kalkulieren, vor allem in Gebieten mit hohen Viehdichten und entsprechend knapper Ausbringungsfläche.

Tabelle 7.3: Berechnung von maximalen N-Überschüssen unter Ausschöpfung der Begrenzungen gemäß Düngeverordnung §§4 und 6

	Ohne Biogas: Gülle plus Mineraldünger	**Schwein**	**Rind**	
(1)	Abfuhr	-180	-180	kg N/ha
(2)	N-Bruttozufuhr (max. bei 170 kg N/ha) über Gülle: 170 / 0,7 bzw. 0,85	243	200	kg N/ha
(3)	*N-Bruttozufuhr bei Einhaltung von 20 kg/ha P_2O_5-Überschuss*	*204*	*200*	*kg N/ha*
(4)	N-Nettozufuhr aus Gülle nach Verlustabzügen: (2) * 0,6 bzw. 0,7	146	140	kg N/ha
	Spielraum für zusätzliche, mineralische N-Düngung			
(5)	bei maximal 60 kg Netto-N-Überschuss: (1) + (4) + 60	94	100	kg N/ha
(6)	Brutto-N-Saldo: (1) + (2) + (5)	157	120	kg N/ha
	(entspricht nicht angerechneter N-Menge und Spielraum für zusätzliche N-Düngung)			
(7)	*bei Einhaltung von 20 kg/ha P_2O_5-Überschuss: (1) + (3) + (5)*	*118*	*120*	*kg N/ha*
	Mit Biogas: Gärrest plus Gülle *(plus Mineraldünger)*	**Gasförmige Ausbringungsverluste**		
	Brutto-N-Saldo = Gesamt-N aus Gülle vor Verlustabzug	**15%**	**30%**	
(8)	Abfuhr Mais	-180	-180	kg N/ha
(9)	Zufuhr Gärrest	153	126	kg N/ha
(10)	Gasförmige Ausbringungsverluste aus Gärrest	27	54	kg N/ha
(11)	Brutto-N-Saldo 1 ((8)+(9)+(10))	0	0	kg N/ha
	Brutto-N-Saldo 2 (Güllezufuhr erhöht bei Ausschöpfung des max. N-Saldos den Bruttosaldo im Verhältnis 1:1)			
(12)	ergänzend Schweinegülle (vgl. Tab 7.2, Zeile (6))	145	190	kg N/ha
(13)	ergänzend Rindergülle (vgl. Tab 7.2, Zeile (7))	124	163	kg N/ha
	bei Einhaltung von 20 kg/ha P_2O_5-Überschuss (Gülle plus Mineraldünger)			
(14)	*ergänzend Schweinegülle + Mineraldünger (vgl. Tab 7.2, (8))*	*44 + 56 = 100*		*kg N/ha*
(15)	*ergänzend Rindergülle + Mineraldünger (vgl. Tab 7.2, (9))*	*59 + 37 = 96*		*kg N/ha*
	Brutto-N-Salden bei Biogas-Gärrestverwertung im Vergleich zur Situation ohne Biogas bei Ausschöpfung der Ausbringungsobergrenzen für N	**Gasförmige Ausbringungsverluste aus Gärrest in % des Gesamt-N**		
		15%	**30%**	
	I. bei Einhaltung des 20 kg/ha P_2O_5-Überschusses in Betrieben mit und ohne Biogas			
(16)	*ergänzend Schweinegülle: (14) - (7)*	*-18*	*-18*	*kg N/ha*
(17)	*ergänzend Rindergülle: (15) - (7)*	*-24*	*-24*	*kg N/ha*
	II. ohne Einhaltung des 20 kg/ha P_2O_5-Überschusses			
(18)	ergänzend Schweinegülle: (12) - (6)	-12	33	kg N/ha
(19)	ergänzend Rindergülle: (13) - (6)	4	43	kg N/ha
	III. bei Einhaltung des 20 kg/ha P_2O_5-Überschusses nur in Betrieben ohne Biogas			
(20)	*ergänzend Schweinegülle: (12) - (7)*	*27*	*72*	*kg N/ha*
(21)	*ergänzend Rindergülle: (13) - (7)*	*4*	*43*	*kg N/ha*

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221).

Die durch hohe Verlustabzüge entstehenden Spielräume für eine höhere Gülleausbringung je Hektar können nur ausgeschöpft werden, wenn keine Begrenzung der P-Zufuhr greift. Ein zusätzlicher Anreiz für Biogasbetriebe in viehstarken Regionen besteht somit darin, Gärreste zu separieren und die vor allem P enthaltende, feste Fraktion in andere Regionen

zu exportieren. Bei 30 % N-Verlust aus den Gärresten und ohne Wirkung durch die Begrenzung der P-Zufuhr steigt der Spielraum für zusätzliche, über die Gärrestrückführung hinausgehende N-Düngung auf 114 kg N/ha. Bei Nutzung dieses Spielraums für die Gülleausbringung wird die regionale, maximale Gülleausbringungskapazität je Hektar Mais für Biogas-Gärsubstrate nur um 20 bis 30 % reduziert. Die Brutto-N-Salden sind im Vergleich zur Situation ohne Biogas unter Ausschöpfung der Obergrenze für Gülleausbringung und ohne Wirkung durch die Begrenzung der P-Zufuhr um 30 bis 40 kg N/ha erhöht (vgl. Tabelle 7.2).

Die Produktion pflanzlicher Gärsubstrate bewirkt eine Verknappung der Fläche. Dies betrifft einerseits die Fläche für den Marktfruchtanbau, der durch den Verkauf der Ernte zum Nährstoffexport aus der Region beiträgt. Die regionale Gärsubstratproduktion und -verwendung bringt, abgesehen von gasförmigen Verlusten, keine Nährstoffexporte aus der Region mit sich. Wird der maximale Netto-N-Überschuss eingehalten, wird auch die Ausbringungsfläche für organische Düngemittel knapper. Wie aufgezeigt wurde, wird die Gülleausbringungsfläche nach geltendem Düngerecht je nach Annahmen nur um 20 bis 40 % der Gärsubstrat-Anbaufläche verringert. Greift die Begrenzung der P-Zufuhr, liegt die Reduktion der Ausbringungsfläche bei 70 % (Rindergülle) bzw. 80 % (Schweinegülle). In Regionen mit hohem Viehbesatz bewirkt dies eine Erhöhung der Nährstoffüberhänge aus der Tierhaltung je Flächeneinheit, die ggf. zu exportieren sind, da angesichts der zusätzlichen Mengen an N und P aus Gärresten pflanzlichen Ursprungs weniger Fläche für die Gülleverwertung zur Verfügung steht.

Der neu eingeführte Güllebonus ändert aufgrund der geringen Energiehaltigkeit der Gülle nur wenig am Flächenbedarf der Biogasanlagen, dürfte aber dazu führen, dass auch künftig ein Schwerpunkt der Biogasproduktion in Futterbau- und Veredlungsregionen liegen wird. Dadurch kann sich neben der Flächennutzungskonkurrenz auch die Nährstoffüberschussproblematik verschärfen. Die Aufnahme der Gärresttrocknung in die Positivliste des EEG für den Erhalt des KWK-Bonus kann dazu beitragen, dass Gärreste separiert und durch Trocknung exportfähig gemacht werden. Dadurch kann vor allem P exportiert werden. Die Probleme mit regionalen N-Überhängen bleiben bestehen, da N sich bei Gülle- und Gärrestseparierung vor allem in der flüssigen, weniger exportwürdigen Phase befindet. Zusätzlich entfallen Begrenzungen für die organische P-Zufuhr, die auch die N-Überschüsse je Hektar in Biogasbetrieben stärker limitieren als die Auflagen der DüV zur N-Düngung.

Gärreste pflanzlicher Herkunft als neue Quelle für Ammoniakemissionen

Die Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe („NEC-Richtlinie“) schreibt Ziele für die Senkung von Luftschadstoffen bis zum Jahr 2010 vor. Unter anderem sollen die Ammoniakemissionen in Deutschland ab dem Zieljahr 2010 auf

unter 550.000 t im Jahr gesenkt werden. Da der Großteil der Ammoniakemissionen auf landwirtschaftliche Verursacher zurückzuführen ist, stellt dieses Ziel eine besondere Herausforderung für die deutsche Landwirtschaft dar. Ammoniakemissionen ziehen die Versauerung und Eutrophierung empfindlicher Lebensräume nach sich, weiterhin tragen sie zur Bildung von Feinstaub bei. Die Ziele der von der EU entwickelten „Thematischen Strategie zur Verbesserung der Luftqualität" legen nahe, dass für das Zieljahr 2020 für Deutschland eine nochmals deutlich abgesenkte Emissionshöchstmenge von 450.000 t vorgeschlagen wird (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2005; BMU, 2006).

Wird angenommen, dass derzeit etwa 500.000 ha Fläche für die Gärsubstratproduktion eingesetzt wird und zwischen 150 und 180 kg N/ha im Erntegut entzogen wird, entstehen hieraus 75.000 bis 90.000 t Stickstoff, der sich nach der Vergärung in Biogasanlagen im Gärrest wieder findet. Wird von 15 % gasförmigen Verlusten ausgegangen, wie dies im Rahmen der Anrechnung gemäß DüV geschieht, entstehen Ammoniakemissionen in Höhe von 13,6 bis 16,4 Kilotonnen. Dies stellt eine relevante Erhöhung der deutschen Ammoniakemissionen dar und könnte die Unterschreitung der gesetzlich vorgegebenen Emissionshöchstgrenzen deutlich erschweren. Hinzu kommt, dass künftig mit einer Ausweitung der Biogasproduktion mit Anbauflächen in der Größenordnung von 1 Mio. ha oder mehr zu erwarten ist, was die Problematik der Ammoniakemissionen weiter verschärft. Bei guter Praxis mit gasdichter Lagerung der Gärreste und sofortiger Einarbeitung der Gärreste nach Ausbringung auf unbestellte Flächen könnten die Emissionen deutlich unter 5 % Verluste vom Gesamt-N gesenkt werden.

Weiterhin kommt es bei Verwendung von Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft als Gärsubstrat in Biogasanlagen zu einer Veränderung der NH_3-Emissionen aus der Tierhaltung. Wie in den Ausführungen zu den Eigenschaften vergorener Gülle und Gärreste dargelegt, gibt es diesbezüglich sowohl die Chance für Emissionsminderungen (flüssigere Substrate, die schneller in den Boden eindringen) als auch Risiken zu erhöhten Emissionen (mehr Ammonium-N, hoher pH-Wert). Aufgrund des Güllebonus im neuen EEG können künftig gerade Geflügelmist und Trockenkot verstärkt in Biogasanlagen genutzt werden (vgl. Kapitel 3).

Mit der Überführung dieser Wirtschaftsdünger in ein flüssiges Substrat sind nicht nur Folgen für die Transportwürdigkeit, sondern auch erhebliche Risiken für eine verstärkte NH_3-Emission verbunden. Im trockenen Zustand emittieren Geflügelmist und Trockenkot nur wenig Ammoniak, da der Stickstoff bei Vögeln vornehmlich als Harnsäure ausgeschieden wird. Diese muss vor einer gasförmigen Emission zunächst chemisch umgesetzt werden (DÄMMGEN et al., 2008). Für eine Beurteilung der Netto-Wirkung der Vergärung von Mist und Gülle in Biogasanlagen fehlen derzeit noch praxisrelevante Versuchsdaten und Statistiken zur landwirtschaftlichen Praxis des Gärrestmanagements.

Derzeit werden Gärreste pflanzlicher Herkunft noch nicht als Quelle in den Emissionsinventaren berücksichtigt (HÄNEL (Hrsg.), 2010). Da es sich um eine neue Quelle handelt, werden die aus Gärresten entstehenden Emissionen auch nicht auf die Emissionshöchstgrenzen angerechnet. Angesichts der dargestellten Bestrebungen der EU-Kommission, für das Jahr 2020 weitergehende Emissionsminderungsziele festzuschreiben, sind für dieses Zieljahr Begrenzungen zu erwarten, die dann voraussichtlich auch für Emissionen aus Gärresten gelten. Vor diesem Hintergrund sind die gesetzlichen Regelungen zur gasdichten Abdeckung der Gärrestlager sowie zur emissionsarmen Ausbringung auf den Prüfstand zu stellen und ggf. anzupassen.

7.3 Einfluss der Transportkosten im Biogassektor auf die Flächennutzung

Vor dem Hintergrund der Expansion der Biogasproduktion gewinnen Aspekte der sicheren Substratversorgung sowie der Gärrestentsorgung an Bedeutung. In diesem Abschnitt soll deshalb der Einfluss der Transportkosten auf die Flächennutzung im Umkreis der Biogasanlagen sowie die Möglichkeiten der Nährstoffverteilung betrachtet werden.

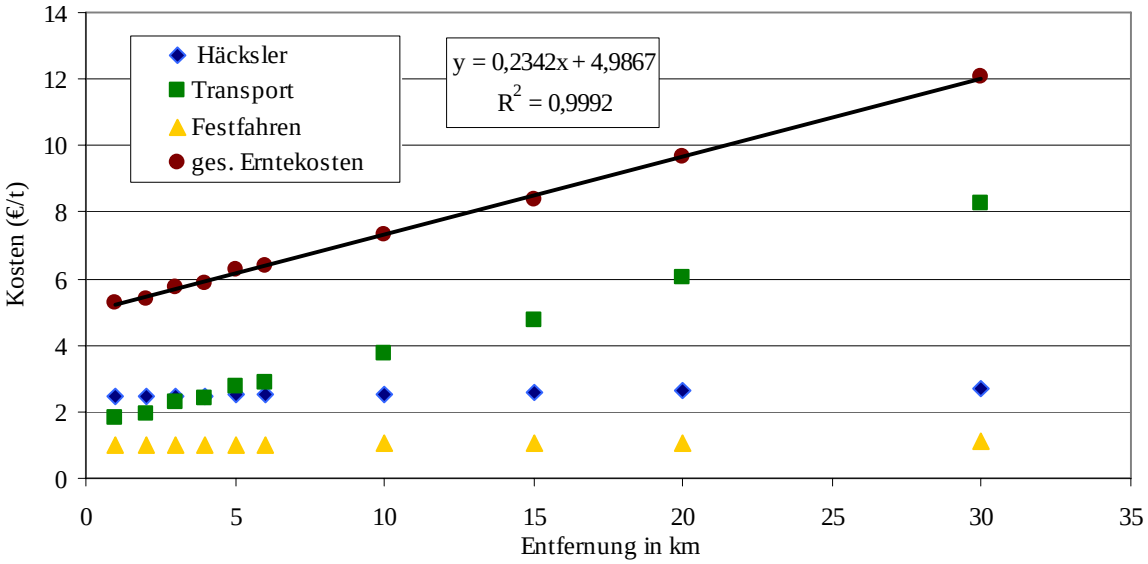
Ausgangspunkt ist eine 500 kW-Anlage, und in Anlehnung an TOEWS (2009) wurde die Fläche um die Biogasanlage in Ringe mit zunehmenden Entfernungen zur Anlage aufgeteilt. Hinsichtlich der Flächenverfügbarkeit für den Maisanbau wurde von einer 10 %-igen Verfügbarkeit für den Anbau von Silomais zur Verwendung als Substrat ausgegangen. Da in der Realität die Transportwege nicht der Luftlinie zwischen Biogasanlage und Feld entsprechen, wurde der Wert des Radius mit dem Faktor 1,5 multipliziert, um die Hof-Feld-Entfernung zu erhalten.

Unter den genannten Annahmen kann die Anlage ihren Substratbedarf bei einer Hof-Feld-Entfernung von rund 4 km decken. Dies entspricht den in Kapitel 5 vorgestellten empirischen Beobachtungen. Tatsächlich können die Transportentfernungen häufig deutlich höher liegen. Insbesondere in Veredlungsgebieten kommt zusätzlich der Aspekt möglicher Nährstoffüberschüsse hinzu. Daher wird auch der Transport von Gärresten untersucht.

Exemplarisch wird die maximale Transportentfernung für die 500 kW-Anlage betrachtet, hierfür werden die Kosten der Silomaisernte sowie der Gärrestausbringung bei zunehmender Hof-Feld-Entfernung mit Hilfe des KTBL-Feldarbeitsrechners ermittelt. Unterstellt wird hierbei ein Lohnansatz von 20 €/h sowie ein Dieselpreis von 90 Cent/Liter. Unter diesen Annahmen und der Verwendung des technischen Ernteverfahrens eines achtreihigen Häckslers (400 kW), eines Häckselgutwagens mit einem Ladevolumen von 50 m³ in Kombination mit einem 160 kW-Schlepper sowie eines Radladers zum Festfahren von

105 kW ergeben sich durchschnittliche Erntekosten von 5,2 €/t FM, welche mit zunehmender Entfernung ansteigen (vgl. Abbildung 7.1).

Abbildung 7.1: Erntekosten für Silomais (Kosten je t FM) bei zunehmender Hof-Feld-Entfernung



Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL-Feldarbeitsrechner (2010).

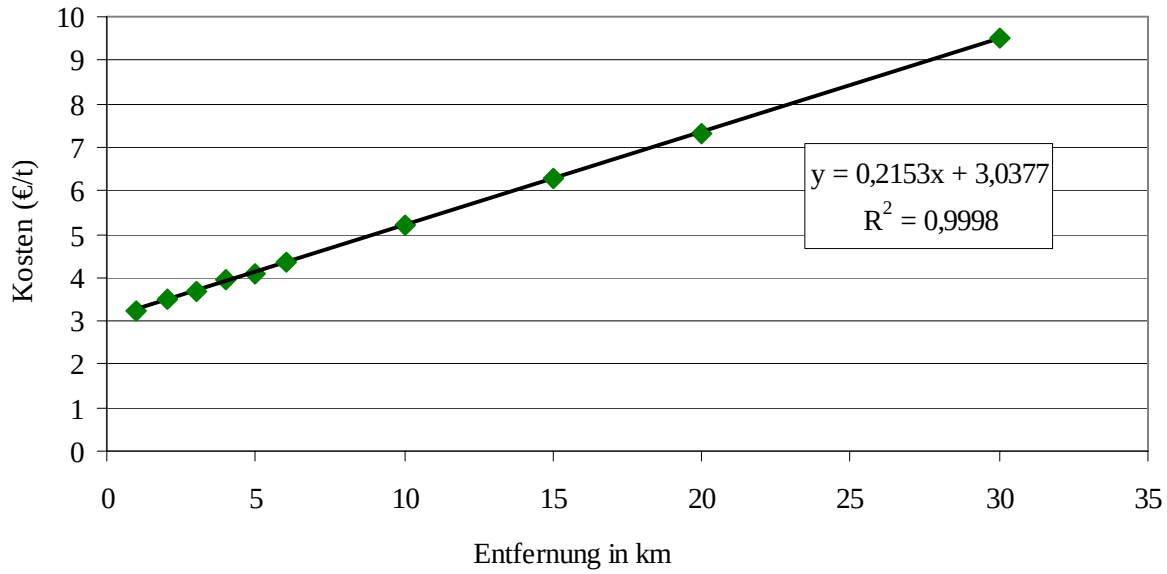
Hinsichtlich der Ausbringung des Gärrestes wird davon ausgegangen, dass die Gärreste auf die der Gärsubstratproduktion dienenden Maisflächen zurückgeführt werden. Die Kosten der Gärrestausbringung bei zunehmender Hof-Feld-Entfernung sind in Abbildung 7.2 dargestellt. Als technisches Verfahren wurde ein Pumptankwagen (20 m³) mit einem Schleppschlauchverteiler (24 m) in Kombination mit einem 160 kW-Schlepper gewählt.

Um die maximale Transportentfernung zu berechnen, wurde ein Weizenpreis von 170 €/t unterstellt. Von diesem Weizenpreis wurde ein Maispreis frei Halm von 20 €/t abgeleitet. Die maximale Zahlungsbereitschaft der Anlage frei Platte von 38 €/t wurde anhand einer Gewinn-Verlust-Rechnung einer Beispielanlage ermittelt (vgl. Kapitel 3). Mit Hilfe der in den Regressionsgleichungen ermittelten, entfernungsunabhängigen Kosten von rund 7 €/t wurde die maximale Zahlungsbereitschaft frei Feld ermittelt. Im nächsten Schritt wurde mit Hilfe der ermittelten Transportkosten die maximale Transportentfernung berechnet.

Bei Transportkosten für Substratlieferung und Gärrestentfernung von rund 38 Cent/t pro Kilometer ergibt sich eine maximale Transportentfernung von rund 30 km. Aus dieser Entfernung können also Substrate zur Biogasanlage transportiert werden und der Gärrest auf die entsprechenden Flächen zurückgeführt werden, ohne dass die modellhaft berechnete Anlage einen Verlust erwirtschaftet. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass sich mit jedem Kilometer der Unternehmergewinn verringert, sodass näher an der

Anlage liegende Flächen für den Gärsubstratanbau und die Gärrestausbringung bevorzugt werden.

Abbildung 7.2: Kosten der Gärrestausbringung bei zunehmender Hof-Feld-Entfernung



Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL-Feldarbeitsrechner (2010).

Vor dem Hintergrund möglicher Nährstoffüberschüsse vor allem in viehstarken Regionen zeigt die betriebswirtschaftlich noch realisierbare Transportentfernung jedoch, dass auch ein Transport über längere Strecken möglich ist. Unter der Annahme, dass die Substrate von näher gelegenen Flächen gewonnen werden können und sich entsprechend die Transportkosten während der Ernte verringern, können die Gärreste ggf. weiter transportiert werden.

Angesichts der Kostenprogression bei steigender Transportentfernung dürfte jedoch ein erheblicher Anreiz bestehen, die Gärrestausbringung möglichst im nahen Umfeld der Biogasanlagen zu realisieren. Weitere Transportentfernungen können aufgrund von Restriktionen für die Nährstoffausbringung aus Gärresten notwendig werden. Darüber hinaus können bei hoher Bewertung der Nährstoffgehalte in den Gärresten weitere Transportentfernungen betriebswirtschaftlich gerechtfertigt sein, etwa, wenn der Gärrest als P- und K-Grunddüngung bei hohen Preisen für entsprechende Mineraldünger eingesetzt wird.

7.4 Flächenansprüche des Umwelt- und Naturschutzes

In diesem Abschnitt werden Analysen vorgestellt, die auf einem am vTI entwickelten Geographischen Informationssystem (GIS) aufbauen. Dabei handelt es sich um ein Raster-GIS auf Basis von 100 x 100 m-Rastern (Hektarbasis). Grundlage für die enthaltene Flächennutzungsinformation ist die GIS-Datenbank Corine LandCover. Tabelle 7.4 enthält die im GIS zusammengefassten Datengrundlagen.

Tabelle 7.4: Datenbasis für die GIS-Analysen

Name	Datenherkunft	Referenz
Corine 2000	http://www.eea.europa.eu	http://www.eea.europa.eu, Copyright EEA, Copenhagen, CORINE land cover database (Version 12/2000)
Höhenmodell	http://www.geometry.at/strobl/strobl2005/vortrag05/haku/haku05_weblinks.htm	US Geological Survey: SRTM-3, 2000
BÜK1000	Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Wolf Eckelmann	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1 : 1 000 000 (BÜK 1000), 1999
Schutzgebiete	Bundesamt für Naturschutz	Bundesamt für Naturschutz 2006, Status 2005
Natura2000	EU-Kommission, GD Umwelt	Natura2000 data base (European Commission, DG Environment), Stand 2009

Quelle: Eigene Darstellung.

Ziel der Analyse ist es, Vorranggebiete für Umwelt- und Naturschutzziele und Standorte mit natürlichen Einschränkungen zu identifizieren. Es ist anzunehmen, dass innerhalb der identifizierten Kulissen bei einem weiteren Ausbau der NR-Produktion besondere Konfliktpotenziale bestehen. Neben hoheitlichen Schutzbestimmungen des Natur- und Wasserschutzes hat in den Kulissen des Umwelt- und Naturschutzes auch die freiwillige Umsetzung von Agrarumwelt- und Vertragsnaturschutzprogrammen eine besonders hohe Bedeutung (OSTERBURG et al., 2009). Die folgenden Kriterien werden berücksichtigt:

- Naturschutzgebiete (Bundesnaturschutzgesetz (NatSchG) § 23)
- Nationalparke (NatSchG § 24)
- Natura 2000-Gebiete gemäß EG-Vogelschutzrichtlinie sowie die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinien 92/43/EWG und 79/409/EWG; NatSchG § 32)
- Landwirtschaftliche genutzte Hoch- und Niedermoorböden: die gute landwirtschaftliche Praxis nach BNatSchG § 5 (2, Abs. 5) untersagt u. a. einen Grünlandumbruch auf Moorböden. In Hinblick auf Klimaschutzziele ist die Nutzung organischer Böden besonders relevant, da unter der Quellgruppe Landnutzung und Landnutzungswandel über 40 Mio. t $CO_{2äq.}$/Jahr aufgrund Acker- und Grünlandnutzung von Moorböden emittieren (HÄNEL (Hrsg.) 2010).
- Hangneigungen (unterteilt in Klassen über 15 %, 10 bis 15 %, 8 bis 10 %): die gute landwirtschaftliche Praxis nach BNatSchG § 5 (2, Abs. 5) untersagt u. a. einen Grün-

landumbruch in Hanglagen; die Nutzung von Ackerland in Hanglagen ist aufgrund des Erosionsrisikos kritisch zu bewerten.

– Landschaftsschutzgebiete (BNatSchG § 26): Hier steht das Landschaftsbild insgesamt im Vordergrund.

Die Ausweisung von Kulissen ist nicht gleichzusetzen mit restriktiven Schutzgebietsauflagen. In den meisten Fällen gelten Schutzbestimmungen nicht flächendeckend, sondern nur für ausgewählte Flächen. Dies trifft z. B. auf Natura 2000-Schutzgebiete zu, die nur zum Teil durch Ausweisung als Naturschutzgebiete strenger geschützt sind. Dennoch bedeutet die Ausweisung als Schutzgebiet die Festlegung von Prioritäten, falls es durch die Flächennutzung, etwa durch den Ausbau der landwirtschaftlichen NR-Produktion, zu Zielkonflikten kommen sollte.

Schutzgebiete auf Grundlage des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) wurden nicht berücksichtigt, da bisher noch kein bundesweiter Datensatz am vTI vorliegt. Gemäß WHG § 76 sind Überschwemmungsgebiete bis zum 22.Dezember 2013 durch Rechtsverordnung festzusetzen. In Überschwemmungsgebieten gelten gemäß WHG besondere Vorschriften, u. a. ein Grünlandumbruchverbot. Wasserschutzgebiete sind in sehr unterschiedlichem Umfang von den Bundesländern ausgewiesen worden. In diesen Schutzgebieten liegt besonders viel Ackerfläche (OSTERBURG et al., 2009). Hinzu kommen künftig prioritäre Gebiete zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie, Für die Festlegung dieser Kulissen wurden bisher aber keine Rechtsverordnungen mit Restriktionen für die Flächennutzung eingesetzt. Weiterhin wurden kartierte und pauschal geschützte Biotope nach BNatSchG § 30 mangels Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt. Unter Einbeziehung dieser Kulissen würden die Flächen, die in Zielkulissen des Umwelt- und Naturschutzes fallen, noch umfangreicher ausfallen. Die Flächenstatistik von Corine LandCover lässt auf eine Überschätzung der Ackerflächen schließen.

Bei den in Tabelle 7.5 vorgestellten Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass die räumliche Auflösung im 100 x 100 m Raster-GIS relativ grob ist und die Hangneigungen oder die Verschneidung mit kleinteiligen Schutzgebieten nur in grobem Maßstab abgebildet sind. Um Doppelzählungen zu vermeiden, werden die oben aufgezählten Kulissen in hierarchischer Folge ausgewertet und die jeweils hinzukommende, überschneidungsfreie Fläche ausgewiesen.

In Tabelle 7.5 wird der prozentuale Flächenanteil in den jeweiligen Kulissen ausgewiesen, zum einen kumulativ, d. h., dass hier der jeweils hinzukommende Flächenanteil aufaddiert wird, und aufgeschlüsselt nach der gleichzeitigen Zugehörigkeit von Agrarflächen zu bestimmten Kulissen. In der Diagonalen (fett unterlegt) stehen die jeweils hinzukommenden Flächenanteile, die sich mit den zuvor analysierten Kulissen nicht überschneiden.

In der jeweiligen Fußzeile stehen die Flächensummen innerhalb der einzelnen Kulissen ohne Abzug von Doppelzählungen und der Prozentsatz am gesamten Flächenumfang.

Insgesamt zeigt sich, dass im Vergleich zu Ackerland ein deutlich höher Anteil des Grünlands in Kulissen des Umwelt- und Naturschutzes fällt, namentlich in die Natura 2000-Gebiete, Moorflächen, Hanglagen und Landschaftsschutzgebiete (LSG). Einschließlich der LSG fallen knapp 56 % des Grünlands in Deutschland unter die eine oder andere Kategorie umweltpolitischer Vorrangflächen. Im Falle des Ackerlands liegen weniger als 30 % in den untersuchten Gebietskulissen. Ähnlich wie beim Grünland stellen auch bei Ackerland die Natura 2000-Gebiete, Moorflächen, Hanglagen und Landschaftsschutzgebiete die wichtigsten Kulissen dar, nur mit geringeren Anteilen am gesamten Ackerland.

Tabelle 7.5: Flächenanteile „sensibler" Acker- und Grünlandflächen (Schutzgebiete, Moorböden, Hanglagen) in Deutschland

Ackerland		**In Prozent der gesamten Ackerfläche**									nicht
Kulisse	Kürzel	kumulativ	nsg	ntp	natura	moor	hang15	hang10	hang8	lsg	sensibel
Naturschutzgebiet	nsg	**0,6%**	**0,6%**	0,0%	0,5%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	
Nationalpark	ntp	**0,7%**		**0,1%**	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Natura 2000-Gebiete	natura	**8,2%**			**7,5%**	0,5%	0,1%	0,2%	0,2%	3,1%	
Moorboden	moor	**11,7%**				**3,6%**	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	
Hangeigung >15%	hang15	**12,2%**					**0,4%**	0,0%	0,0%	0,2%	
Hangeigung >10%	hang10	**14,2%**						**2,1%**	0,0%	0,6%	
Hangeigung >8%	hang8	**17,0%**							**2,8%**	0,7%	
Landschaftsschutzgebiet	lsg	**29,3%**								**12,3%**	
"nicht sensible"Ackerflächen	nicht_sens	**100,0%**									**70,7%**
mit Doppelzählungen bei den Summenwerten für die verschiedenen Kulissen:											
Anteil an gesamter Ackerfläche in Prozent		100,0%	0,6%	0,1%	8,0%	4,1%	0,5%	2,3%	3,1%	17,6%	70,7%
Ackerfläche in 1.000 Hektar		13.565	86	8	1.080	562	72	315	414	2.383	9.592
Grünland		**In Prozent der gesamten Grünlandfläche**									nicht
Kulisse	Kürzel	kumulativ	nsg	ntp	natura	moor	hang15	hang10	hang8	lsg	sensibel
Naturschutzgebiet	nsg	**4,4%**	**4,4%**	0,1%	3,7%	1,2%	0,1%	0,1%	0,1%	1,7%	
Nationalpark	ntp	**4,7%**		**0,3%**	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	
Natura 2000-Gebiete	natura	**22,4%**			**17,7%**	3,3%	0,9%	1,2%	0,9%	7,6%	
Moorboden	moor	**32,8%**				**10,4%**	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	
Hangeigung >15%	hang15	**35,6%**					**2,8%**	0,0%	0,0%	0,9%	
Hangeigung >10%	hang10	**41,0%**						**5,4%**	0,0%	1,7%	
Hangeigung >8%	hang8	**45,5%**							**4,5%**	1,3%	
Landschaftsschutzgebiet	lsg	**55,6%**								**10,1%**	
"nicht sensible" Grünlandflächen	nicht_sens	**100,0%**									**44,4%**
mit Doppelzählungen bei den Summenwerten für die verschiedenen Kulissen:											
Anteil an gesamter Grünlandfläche in Prozent		100,0%	4,4%	0,4%	21,6%	15,0%	3,9%	6,7%	5,5%	24,8%	44,4%
Grünlandfläche in 1.000 Hektar		4.658	206	19	1.004	697	182	314	256	1.154	2.068

Quelle: Eigene Darstellung nach GIS-Auswertungen am Institut für Ländliche Räume des vTI; Datenbasis vgl. Tabelle 7.4.

Weitere Beispiele für die Flächenansprüche des Umwelt- und Naturschutzes finden sich in der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU, 2007). In dem Strategiepapier sind konkrete Ziele u. a. auch zur landwirtschaftlichen Flächennutzung formuliert:

– Erhaltung und Wiederherstellung gefährdeter halbnatürlicher Lebensräume (z. B. Grünländer, Heiden, Hecken, Streuobstwiesen etc.) durch entsprechende Bewirtschaftung u. a. mit Hilfe staatlicher Förderung

- Definition einer naturraumbezogenen Mindestdichte an Saumstrukturen, Hecken, Feldrainen etc. bis 2010 und Abbau bestehender Unterschreitungen
- Bis 2015 soll der Flächenanteil naturschutzfachlich wertvoller Agrarbiotope (hochwertiges Grünland, Streuobstwiesen) um mindestens 10 % gegenüber 2005 zunehmen. In 2010 soll der Anteil naturnaher Landschaftselemente, z. B. Hecken, Raine, Feldgehölze etc. in agrarisch genutzten Gebieten mindestens 5 % betragen
- Bis 2020 sollen wesentliche Teile der heute intensiv genutzten Niedermoore extensiviert werden und nur noch als Grünland genutzt werden
- Die Bodenerosion soll bis 2020 kontinuierlich zurückgeführt werden. Dazu wird die gute fachliche Praxis nach Bundesbodenschutzgesetz überprüft und konkretisiert, und im Rahmen von Cross Compliance sollen die landwirtschaftlichen Flächen nach ihrer Erosionsgefährdung klassifiziert und erosionsmindernde Maßnahmen vorgeschrieben werden
- Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes sollen vermieden werden

Als wichtiger Landschaftsnutzer in Kulissen des Umwelt- und Naturschutzes ist die Landwirtschaft demnach verstärkt gefordert, Flächen umwelt- und naturverträglich zu bewirtschaften. Die Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt impliziert zudem zusätzliche Flächenansprüche in erheblichem Umfang. Im Gegensatz zu diesen Forderungen steht die Beobachtung, dass die allgemein stattfindende Intensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung und die weitere Flächenausdehnung der NR-Produktion auf Basis intensiv geführter Ackerkulturen wie Raps und Mais auch in den verschiedenen, hier betrachteten Zielkulissen des Umwelt- und Naturschutzes stattfinden (siehe Kapitel 5).

7.5 Zwischenfazit zur Analyse der Umweltwirkungen

Unter den potenziellen Umweltproblemen, die in diesem Kapitel untersucht werden, sind die folgenden besonders hervorzuheben (vgl. NITSCH et al. 2008):

- Lagerung, Aufbringungsmenge und Anrechnung von Gärrückständen
- Entstehung hoher N-Überschüsse bei Abzug hoher gasförmiger Verluste aus Gärresten, bei Export von P-Überschüssen sowie im näheren Umkreis von Biogasanlagen
- Überwachung der Nährstoffströme, insbesondere im Zusammenhang mit Biogasanlagen
- Gärreste pflanzlicher Herkunft als neue Quelle von Ammoniakemissionen
- Grünlandumwandlung in Ackerland und Nutzung von Moorböden
- gewässer- und bodenschonender Anbau, unabhängig von energetischer Verwendung

Für die Produktion und die energetische Nutzung von Biomasse sowie für die umweltverträgliche Landnutzung insgesamt bestehen Förder- und Steuerungsinstrumente in unterschiedlichen Politikbereichen (Energie-, Agrar- und Umweltpolitik). Ansatzpunkte von Förder- und Steuerungsmechanismen sind zum einen die landwirtschaftlichen Betriebe, zum anderen Konversionsanlagen, z. B. Biogasanlagen. Zur Verfügung stehen ordnungsrechtliche Maßnahmen, Verknüpfungen mit dem Förderrecht (Cross Compliance, Kriterien zum Erhalt der Einspeisevergütung durch das EEG, „Nachhaltigkeits"-Audits), Anreizinstrumente sowie Beratung und planerische Ansätze.

Das bestehende Ordnungsrecht setzt „Leitplanken" für die landwirtschaftliche Flächennutzung fest, und zwar unabhängig von der späteren Verwendung des Aufwuchses für Energiezwecke. Um Fehlentwicklungen auch in Hinblick auf die allgemeinen Intensivierungstendenzen zu limitieren, müssen bestehende Standards überprüft und auch Fragen des Vollzugs geklärt werden. Eine Überprüfung erscheint besonders wichtig bezüglich der Regelungen für Grünlandumbruch zu Ackerland. Im Bereich des Erosionsschutzes bleibt abzuwarten wie die seit Juli 2010 geltenden, differenzierten Cross Compliance-Standards wirken werden.

Offene Fragen gibt es zur Bewertung der Nutzung von Moorböden, beispielsweise für die Gärsubstratproduktion. Wird die Emission aus den organischen Böden auf die Klimabilanz der erneuerbaren Energien aus Biomasse angerechnet, wird die Bilanz zumindest entscheidend verschlechtert (vg. WBGU, 2008), wenn nicht sogar negativ. Ein Ausschluss solcher Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand von der NR-Produktion, wie dies bereits für die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung vorgesehen ist (vgl. Kapitel 2), würde jedoch keine Änderung der Landnutzung auslösen. Vielmehr würden solche Ackerflächen für Nahrungs- und Futterproduktion herangezogen.

Auflagen zur Lagerung und Anrechnung von Gärresten sollten an bestehende Standards für Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft angeglichen werden. In der Düngeverordnung und diesbezüglichen Umsetzungsvorschriften verankert werden sollten eine Anrechnung auch der pflanzlichen Anteile von Gärrückständen auf die maximale Aufbringungsmenge für organischen Stickstoff mit Wirtschaftsdünger und konkrete Vorgaben zur Berücksichtigung von Gärrückständen im Nährstoffvergleich. Das Vorweisen einer ausreichenden Lagerkapazität sollte bundesweit die Voraussetzung für eine Genehmigung von Biogasanlagen sein. Eine Harmonisierung mit Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft würde eine Mindestlagerdauer von sechs Monaten bedeuten. Darüber hinaus wird eine gasdichte Abdeckung der Gärrestelager dringend empfohlen. Die Vermeidung von Nährstoff- und Methanverlusten und eine effiziente Verwertung der Nährstoffe im Gärrest sind wichtige Elemente für eine positive Klimabilanz der Biogasanlagen.

Biomasse-spezifische Standards für die Flächennutzung und die Schaffung neuer rechtlicher Grundlagen für flächenbezogene, auf die NR-Produktion bezogener Standards sind

nicht zu empfehlen. Voraussetzung dafür sind allerdings wirkungsvolle Standards für die gesamte landwirtschaftliche Flächennutzung. Gegen eine unterschiedliche Behandlung der Energiepflanzen spricht unter anderem die Tatsache, dass über die Verwendung der pflanzlichen Erträge für Ernährungs-, Futter- oder Bioenergiezwecke oft erst nach der Ernte entschieden wird. Getrennte Standards für Energiepflanzen würden überdies zu Abgrenzungsschwierigkeiten, Umgehungsmöglichkeiten und einem erhöhten Kontrollbedarf führen und schaden der Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Standards, einer wichtigen Voraussetzung für deren Einhaltung.

Eine Auditierung von Biomasse zur energetischen Verwertung dürfte bezüglich der Flächennutzung wenig wirksam sein, da problematische Flächennutzungen gezielt aus der Auditierung herausgehalten werden können, etwa indem problematische Flächen für andere Nutzungen eingesetzt werden. Dagegen kann eine Auditierung von Konversionsanlagen zur Überprüfung von Mindestanforderungen als Fördervoraussetzung sinnvoll sein, zumal im Rahmen des EEG ohnehin eine Prüfung der anlagenseitigen Stoffströme durch einen externen Auditierer vorgesehen ist. Beispielsweise sollte die Möglichkeit überprüft werden, Auflagen zum Betrieb von Biogasanlagen bezüglich der Lagerung von Gärsubstraten und Gärresten sowie Anforderungen an die Nährstoffbuchführung an den vollen Erhalt der Einspeisevergütungen zu koppeln.

Für die Verstärkung der Synergien zwischen Umwelt- und Naturschutz und der energetischen Nutzung von Biomasse, z. B. durch Produktion von Biomasse in Kurzumtriebsplantagen oder Nutzung von Landschaftspflegeaufwuchs, bestehen noch deutliche Hemmschwellen. Hier sind neben der Beratung die Entwicklung regionaler Verwertungskonzepte mit einer Vernetzung unterschiedlicher Akteure sowie eine technologische Weiterentwicklung zur Verwertung holzartiger und zellulosehaltiger Biomasse notwendig.

Förderinstrumente können mit Umweltstandards qualifiziert werden, sie wirken aber räumlich wenig differenziert. Ein Ausbau des raumbezogenen Instrumentariums zur Abstimmung unterschiedlicher Landnutzungsinteressen und der Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten ist daher angeraten, da viele Ziele und Grenzen nur regionalspezifisch festgelegt werden können. Um bei der Nutzung von Fläche und Biomasse unterschiedliche Zielsetzungen zu berücksichtigen, negative Umweltauswirkungen zu minimieren bzw. Synergien zu fördern, bedarf es einer integrierten Biomassestrategie, die sowohl Ziele der Agrar-, der Energie- als auch der Umweltpolitik berücksichtigt und einer Koordination der damit verbundenen Instrumente.

8 Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe

8.1 Einleitung

In diesem Kapitel soll ein Überblick über die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland gegeben werden. Ziel ist es, die Hintergründe der langsamen Etablierung sowohl im Bereich der verarbeitenden Unternehmen als auch in der Landwirtschaft aufzudecken sowie zukünftig relevante Produktlinien aus der Vielzahl der Möglichkeiten zu identifizieren. Darauf aufbauend werden zukünftige Forschungsfelder abgeleitet.

Während die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe (NR) kontinuierlich ausgeweitet wurde, haben sich im Bereich der stofflichen Nutzung in den vergangenen Jahren nur wenige Produktlinien etabliert. Diese Entwicklung erklärt sich einerseits durch den ökonomischen und technologischen Kostenvorteil der erdölbasierten Rohstoffe, aber auch durch die politisch forcierte Förderung der energetischen NR-Nutzung NR. Die materielle und industrielle Verwendung von Biomasse wurde bislang von Seiten der Politik wenig berücksichtigt. Im September 2009 wurde nun von der Bundesregierung ein Aktionsplan zur stofflichen Nutzung vorgestellt. Dieser stellt ein Grundkonzept dar, mit dessen Hilfe die Effizienz der Biomassenutzung und der Ausbau der stofflichen Nutzung in Deutschland neue Impulse erfahren sollen.

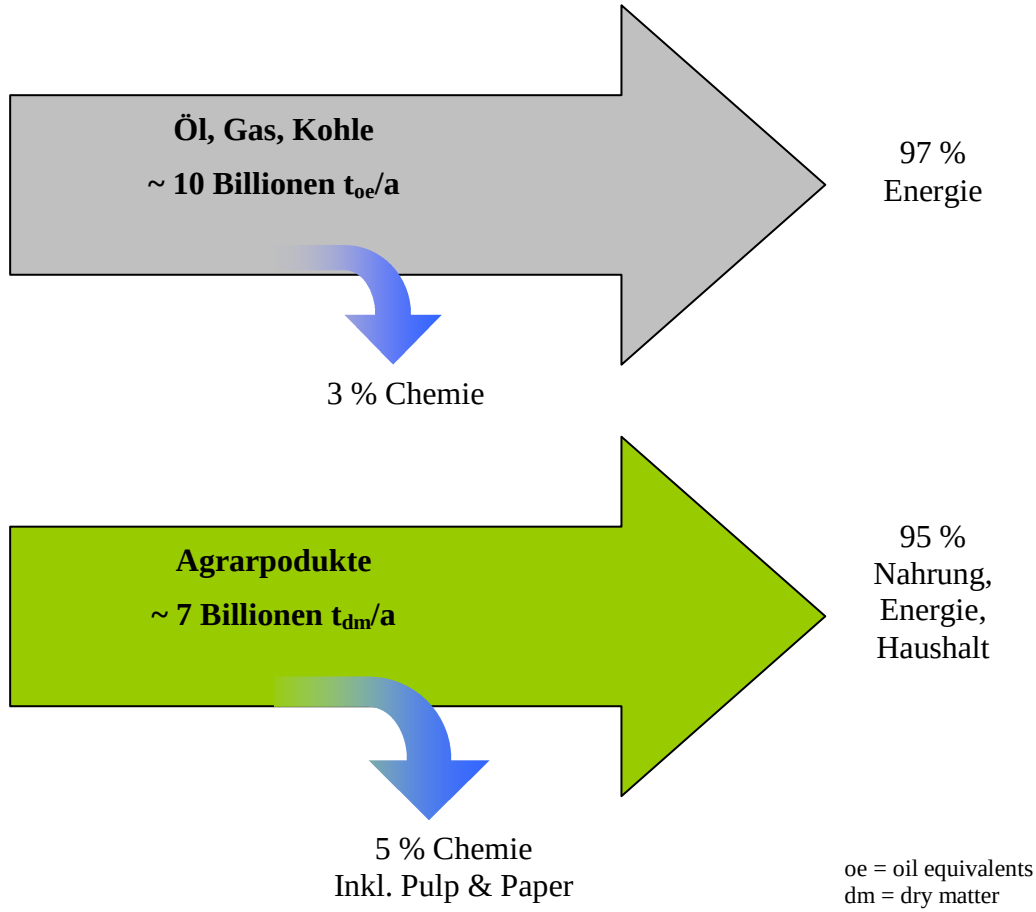
Die Bedeutsamkeit dieser Initiative zeigt sich darin, dass NR, im Gegensatz zum Energiebereich, zukünftig die einzige erneuerbare Rohstoffquelle für die chemisch-organische Industrie darstellen. Die stoffliche Nutzung zeigt gegenüber der energetischen Nutzung weitere Vorteile. So birgt dieser Produktionsbereich ein beachtliches technisches Innovationspotenzial. Angesichts der hohen Verarbeitungstiefe kann die weitere Etablierung der stofflichen Nutzung auch zu einer Erhöhung und Sicherung der Beschäftigung und der Wertschöpfung beitragen, vor allem in ländlichen Räumen. Hinsichtlich des Klimaschutzes bieten biobasierte Produkte den Vorteil, dass sie nahezu CO_2-neutral erzeugt werden können. Darüber hinaus bietet die Herstellung langlebiger Erzeugnisse die Möglichkeit einer dauerhaften Bindung von CO_2. Auch die sogenannte Kaskadennutzung kann zum Klima- und Umweltschutz beitragen. Diese Nutzungsform umfasst eine mehrfache stoffliche Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs, wobei der Rohstoff anschließend ebenfalls der energetischen Nutzung zugeführt werden kann. Darüber hinausWeiterhin bietet die stoffliche Nutzung die Möglichkeit der Verwendung von Reststoffen aus der Landwirtschaft (z. B. Stroh, Kartoffelblatt), wodurch Flächennutzungskonkurrenzen vermindert werden könnte. Auf Basis von NR hergestellte Stoffe weisen gegenüber petrochemischen Erzeugnissen oftmals eine höhere biologische Abbaubarkeit auf, was unter Umweltgesichtpunkten beispielsweise bei Verpackungen oder Schmierstoffen positiv zu bewerten ist.

8.2 Stoffliche Nutzung in Deutschland

8.2.1 Rohstoffeinsatz

Ausgangspunkt der Betrachtung soll die verarbeitende Industrie sein. Letztlich entscheidet die Wettbewerbsfähigkeit der biogenen Produkte über die Nachfrage nach NR aus dem Agrarbereich. Zur Einordnung der stofflichen Nutzung von NR wird in Abbildung 8.1 die weltweite Bedeutung der chemischen Industrie bezüglich des Rohstoffverbrauchs veranschaulicht.

Abbildung 8.1: Globale Rohstoffverwendung



Quelle: BASF (2008).

Dargestellt ist der Anteil der chemischen Industrie am gesamten petrochemischen und nachwachsenden Rohstoffvolumen. Es wird deutlich, dass die Chemie von beiden Rohstoffquellen einen relativ geringen Anteil beansprucht. Der jährliche weltweite Verbrauch von Öl, Gas und Kohle beläuft sich auf rund 10 Billionen t Öläquivalent. Hiervon beansprucht die chemische Industrie rund 3 %. Die verbleibenden petrochemischen Rohstoffe

werden energetisch genutzt (97 %). Die Verwendung von Agrarprodukten zur chemischen Weiterverarbeitung liegt anteilig mit 7 % des gesamten globalen Verbrauchs höher. Dies ist vor allem auf die Verwendung von Holz zur Herstellung von Papier zurückzuführen. Insgesamt werden jährlich rund 7 Billionen t Trockenmasse an agrarischen Produkten NR verarbeitet. Die Verwendung von Agrarprodukten zur chemischen Weiterverarbeitung liegt anteilig mit 5 % des gesamten globalen Verbrauchs etwas höher. Der überwiegende Teil wird als Nahrungs- oder Futtermittel bzw. energetisch genutzt.

In den vergangenen Jahren engagierten sich verschiedene Bereiche der chemischen Industrie für einen verstärkten Einsatz von NR. Sehr langfristig gesehen sind NR im stofflichen Verwendungsbereich die einzige Alternative zu fossilen Rohstoffen.

In Deutschland wurden im Jahr 2007 3,6 Mio. t landwirtschaftliche Rohstoffe in der ersten Verarbeitungsstufe stofflich verwertet. Tabelle 8.1 zeigt eine Übersicht über den Einsatz landwirtschaftlicher Rohstoffe im Jahr 2007 sowie deren Importanteile. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass Holz mit einem Rohstoffvolumen von 73,9 Mio. m^3 in der ersten Verarbeitungsstufe, den wichtigsten Rohstoff in der stofflichen Verwendung darstellt. In dieser Arbeit wird der Fokus jedoch auf Rohstoffe von landwirtschaftlichen Nutzflächen gelegt. Zusätzliche Informationen zur stofflichen Holznutzung unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten sind in FNR (2007) und SRU (2007) zu finden.

Tabelle 8.1: Rohstoffeinsatz im Bereich der stofflichen Nutzung (Stand: 2007)

Rohstoff	Nutzung (1000 t)	Importanteil
Pflanzliche Öle	1100	ca. 70 %
Chemie- und Papierstärke	802	ca. 10 %
Cellulose/ Chemiezellstoff	383	ca. 98 %
Tierische Fette	350	ca. 10 %
Naturfasern	160	ca. 98 %
Zucker	103	5 - 10 %
sonstige	657	ca. 60 %

Quelle: FNR (2009).

Die bedeutendste Branche, in der NR stofflich weiterverarbeitet werden, ist die chemisch-technische Industrie. Diese umfasst die chemisch-pharmazeutische Industrie, die Naturfaserverarbeitung sowie die Papierindustrie. Im Jahr 2007 wurden in diesem Segment. 2,7 Mio. t NR eingesetzt. Ein Anteil von 2,1 Mio. t gelangt direkt in die chemische Industrie. Die verbleibenden 0,6 Mio. t werden in der Papierindustrie und der Naturfaser verarbeitenden Industrie verwendet (FNR, 2007). Angesichts der Verarbeitung von rund

17 Mio. t petrochemischer und 2,1 Mio. t NR umfasst der Anteil der NR in der chemischen Industrie derzeit 10 %, wobei dieser Anteil langsam, aber kontinuierlich ansteigt (ebenda).

Pflanzliche Öle zählen mit 1,1 Mio. t zu den bedeutendsten Rohstoffen. Der hohe Importanteil von rund 70 % ist zum einen durch die günstigere Rohstoffbeschaffung auf dem Weltmarkt, zum anderen durch die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Öle begründet. So weisen Öle, welche in wärmeren Regionen der Erde erzeugt werden, eine andere Fettsäurekombination aus als die heimischen Öle. Dies wirkt sich auf die Einsatzmöglichkeiten in der chemischen Industrie aus. Chemie- und Papierstärke wurde in einem Umfang von 800.000 t verarbeitet. Der Importanteil liegt mit 10 % vergleichsweise niedrig, da heimische Fruchtarten wie Weizen oder Kartoffeln verarbeitet werden.

Weiterhin werden jährlich ca. 350.000 t tierische Fette, welche überwiegend als Abfallprodukte in Schlachthöfen anfallen, in der chemischen Industrie genutzt.

In der Naturfaser verarbeitenden Industrie wurden 2007 176.000 t Fasern verarbeitet, wobei hiervon lediglich ein geringer Teil aus Deutschland stammt. Fast 100 % der in der heimischen Industrie verarbeiteten Fasern werden importiert.

Die in der Tabelle aufgeführten 383.000 t Cellulose umfassen ausschließlich Chemiezellstoff. Dieser Zellstoff wird fast zu 100 % nach Deutschland importiert. Als Grund sind vor allem fehlende Zellstoffproduktionskapazitäten in Deutschlandzu nennen. Das in Deutschland hier angewandte Sulfitverfahren war dem wirtschaftlich effizienteren Sulfatverfahren unterlegen. Dieses wird in Deutschland durch standortspezifische Umweltauflagen reglementiert, wodurch sich die Papierindustrie zunehmend aus der Zellstoffproduktion zurückzog. In jüngster Zeit finden allerdings Bestrebungen statt, innovative Holzaufschlussprozesse zu entwickeln. So werden umweltverträgliche Verfahren entwickelt, die ohne die sonst üblichen Schwefelverbindungen auskommen. Somit könnten die Importe in diesem Bereich reduziert werden und neue Potenziale der Holznutzung erschlossen werden. Hinter den sonstigen pflanzlichen Rohstoffen verbergen sich besondere Inhaltsstoffe wie beispielsweise pharmazeutische Wirkstoffe oder Farb- bzw. Geruchsstoffe.

Angesichts des hohen Importanteils der Rohstoffe in der chemischen Industrie sollte das Augenmerk künftiger Forschungsarbeiten gleichfalls auf die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Rohstoffe gelegt werden.

8.2.2 Rohstoffbereitstellung

Die Anbaufläche von NR dehnte sich in Deutschland in den letzten Jahren von rund. 246.000 ha (1993) auf ca. 2 Mio. ha (Schätzung 2009) deutlich aus (vgl. Tabelle 8.2). Konnten im Jahr 1993 noch etwa 84 % dieser Anbaufläche der stofflichen Nutzung zugerechnet werden, so nahm dieser Anteil stark ab und liegt derzeit (2009) bei lediglich 15 % (FNR, 2009).

Tabelle 8.2: Anbauflächenumfang von Industrie- und Energiepflanzen in Deutschland (in Hektar)

Pflanzen	Rohstoff	2006	2007	2008	2009*
Industrie-pflanzen	Industriestärke	128.000	128.000	140.000	130.000
	Industriezucker	22.000	22.000	22.000	22.000
	technisches Rapsöl	100.000	100.000	120.000	120.000
	technisches Sonnenblumenöl	5.000	8.500	8.500	8.500
	technisches Leinöl	3.000	3.100	2.500	2.500
	Faserpflanzen	2.000	2.000	1.000	1.000
	Heil- und Färberpflanzen	10.000	10.000	10.000	10.000
	Industriepflanzenanbau ingesamt	**270.000**	**273.600**	**304.000**	**294.000**
Energie-pflanzen	Raps für Biodiesel/ Pflanzenöl	1.000.000	1.120.000	915.000	942.000
	Zucker und Stärke für Bioethanol	295.000	250.000	187.000	226.000
	Pflanzen für Biogas		400.000	500.000	530.000
	Sonstiges		1.000	2.000	3.500
	Energiepflanzenanbau insgesamt	**1.295.000**	**1.771.000**	**1.604.000**	**1.701.500**
Anbau NR insgesamt		**1.565.000**	**2.044.600**	**1.908.000**	**1.995.500**

Quelle: FNR (2008).

Vor allem im Bereich der Energiepflanzen fand infolge gezielter politischer Maßnahmen seit dem Jahr 2003 eine deutliche Ausdehnung der Anbauflächen statt. Heute beanspruchen NR von den 11,8 Mio. ha Ackerfläche, welche in Deutschland insgesamt zur Verfügung stehen, rund 2 Mio. ha. Dies sind etwa 17 % der Ackerfläche. Betrachtet man den Gesamtanbauflächenumfang von NR zwischen 2006 und 2009, so zeigt sich, dass im Jahr 2008 zum ersten Mal seit dem Jahr 2003 ein leichter Rückgang der Anbaufläche auftrat. Im Jahr 2009 wurde der NR-Anbau NR, insbesondere im Energiepflanzenbereich, wieder ausgedehnt, wenngleich das Niveau von 2007 nicht wieder erreicht wurde. Ausgedehnt wurden vor allem Pflanzen für die Biogasproduktion aufgrund der Rahmenbedingungen des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes, aber auch des zunehmenden Baues größerer Anlagen. Im Jahr 2009 stieg die Beimischungsquote für Bioethanol von 2,0 auf 2,8 % an, wodurch die Anbauflächen Stärke liefernden Getreides sowie von Zuckerrüben ausgedehnt wurden. Auch die Anbauflächen von Raps für Biodiesel und Pflanzenöl wurden von 915.000 ha auf 942.000 ha ausgeweitet, was einerseits auf die seit Anfang des Jahres gültige B7-Norm (7 %ige Biodieselbeimischung) sowie die von der EU verhängten

Strafzölle für sogenannten B99-Biodiesel zurückzuführen ist. Im Bereich der stofflichen Nutzung fand keine Ausdehnung der Anbauflächen trotz der oben genannten zahlreichen Vorteile statt. Vielmehr sank die Anbaufläche im Jahr 2009 um 10.000 ha gegenüber dem Vorjahr auf 294.000 ha. Dieser Rückgang ist auf sinkende Produktionszahlen bei der Papier- und Pappeerzeugung zurückzuführen, sodass weniger Industriestärke nachgefragt wurde. Alle anderen Kulturen liegen gegenüber dem Vorjahr auf gleichem Flächeniveau.

Betrachtet man die Hintergründe der Anbauflächenentwicklung genauer, so wird deutlich, dass diese vor allem durch politische Rahmenbedingungen gesteuert wurden. Während in den vergangenen Jahren die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die energetische Nutzung von NR zunehmend ausgebaut wurden, existieren für die stoffliche Nutzung keine ähnlichen Konzepte und Instrumente der Förderung. Als wesentlicher Grund hierfür kann die Vielfalt der stofflichen Nutzungsmöglichkeiten gesehen werden (vgl. Abschnitt 8.2.3). Bestehende Förderungen beziehen sich auf einzelne, spezifische Bereiche. So unterstützt das BMELV mit der Richtlinie „Einsatz biologisch schnell abbaubarer Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten auf Basis nachwachsender Rohstoffe“ die Erstausrüstung und Umrüstung von Maschinen und Anlagen in Form eines Zuschusses. Diese Richtlinie ist Teil des Markteinführungsprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ und wurde im November 2006 vorgestellt. Die Auswirkungen zeigen sich allerdings erst im Jahr 2008, da die Aussaat des Rapses für das Wirtschaftsjahr 2007 zu diesem Zeitpunkt bereits vorüber war. 2008 lag die Anbaufläche für technisches Rapsöl um 20.000 ha über dem Vorjahresniveau.

Neben dem Markteinführungsprogramm existiert ein Förderprogramm zur Nutzung von Dämmstoffen aus NR, welches gesetzlich durch die Richtlinie „Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rostoffen“ geregelt wird.

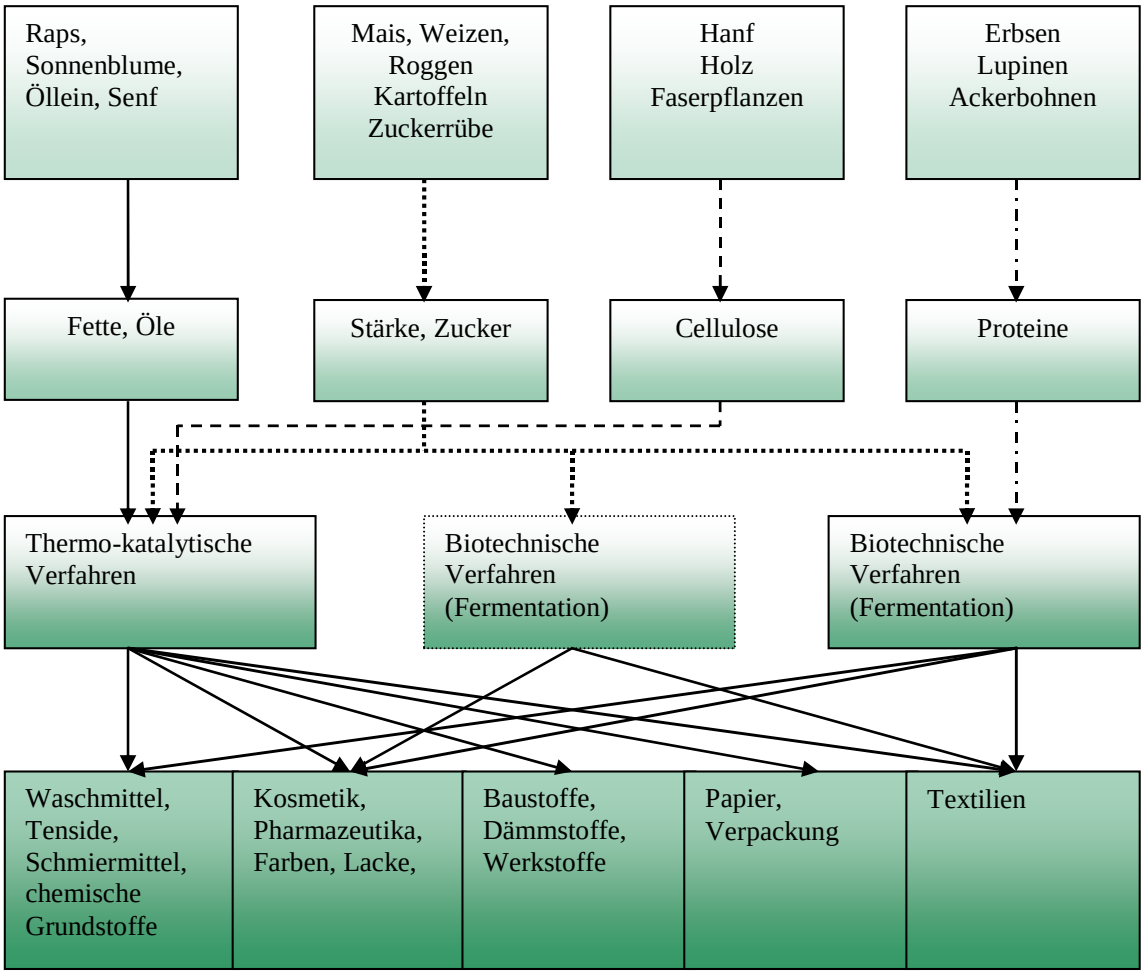
Im Produktionsumfeld dieser unterschiedlichen Produktgruppen, Produktlinien und Produkte bestehen jedoch schon zahlreiche Gesetze, Verordnungen und Richtlinien (z. B. das Chemikaliengesetz, die Bioabfallordnung, das Wasserhaushaltsgesetz, das Bundesimmissionsgesetz, die Verpackungsverordnung usw.), mithilfe derer eine Einflussnahme möglich wäre (vgl. PE, 2007; WUPPERTAL INSTITUT, 2007).

8.2.3 Relevante Produktlinien

In Abbildung 8.2 sind die wichtigsten Rohstoffe liefernden, in Deutschland angebauten Fruchtarten (Deutschland), Verarbeitungsprozesse und Verwendungsmöglichkeiten der Rohstoffe in Deutschland dargestellt. Es zeigt sich, dass die Verwendungsmöglichkeiten der Rohstoffe sehr vielfältig sind. Diese Diversität wird häufig als einer der hemmenden Gründe der Ausweitung der stofflichen Nutzung genannt (CARUS, 2008). Die energetische Nutzung konzentriert sich auf wenige Produktlinien und kann somit deutlich besser er-

fasst werden. Welche Verfahren und Rohstoffe künftig von besonderer Bedeutung sein könnten, soll im folgenden Abschnitt betrachtet werden.

Abbildung 8.2: Stoffliche Verwendungsmöglichkeiten land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe



Quelle: Eigene Darstellung nach FNR (2005), MEÓ (2007).

Stärke

Durch den Prozess der Photosynthese sind Pflanzen in der Lage, niedermolekulare Kohlenhydrate aufzubauen. Stärke wird durch Nassvermahlung gewonnen und besteht aus unverzweigten (Amylose) und verzweigten Glukoseketten (Amylopektin). Abhängig vom Anteil der Amylose oder des Amylopektins sowie der Größe, Form und Kristallinität der Stärkekörner verändern sich die technisch nutzbaren Eigenschaften der Stärke. Diese können durch chemische, physikalische oder biologische Verfahren gezielt umgewandelt werden.

Weltweit stellt Mais die bedeutendste Pflanze für die Stärkepolymerproduktion dar. Aufgrund der klimatischen Verhältnisse kommen in Deutschland Weizen und Kartoffeln als relevante Fruchtarten in Frage.

Im Rahmen des „Health Checks“, der letzten Anpassung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU, wurde die Entkopplung der bisher noch zum Teil an die Produktion gekoppelten Prämien für Stärkekartoffelanbauer und –-verarbeiter beschlossen. Gemäß Anhang X der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 werden im Jahr 2012/13 Prämien in Höhe von knapp 65 Mio. Euro pro Jahr von der Stärkeproduktion entkoppelt. Dis entspricht einem Rückgang an gekoppelten Prämien in Höhe von ca. 500 Euro je Hektar/ha Stärkekartoffeln. Gleichzeitig entfällt die Produktionsquote für Kartoffelstärke. Als Konsequenz sind ein Rückgang der Kartoffelstärkeproduktion und eine Verschiebung zugunsten Stärke auf Getreidebasis oder aus Importen zu erwarten.

Zucker

Die Zuckergewinnung erfolgt in Deutschland und der EU auf Basis der Zuckerrübe. Weltweit dominiert Zuckerrohr, welches rund 60 % der Zuckermenge liefert. Ob Zucker aus Zuckerrüben wettbewerbsfähig wirdbleibt, hängt im Wesentlichen von der EU-Zuckermarktordnung sowie der Verwendung der Zuckerrübe bei der Bioethanolerzeugung ab. Durch die Möglichkeit, Kraftstoff durch Bioethanol zu substituieren, wird Zucker bei hohen Ölpreisen eine Umwandlung von Zucker in Biokraftstoff attraktivertendenziell in Biokraftstoff umgewandelt.

Proteine

Die bedeutendsten Pflanzen, aus denen in Deutschland Proteine über thermo-katalytische gewonnen werden können, sind die Leguminosen Erbse, Lupine und Ackerbohne. Da bei der Stärke- und Ölproduktion jedoch in großem Umfang Proteine als Nebenprodukt zur weiteren Verwendung anfallen, werden diese Pflanzen für die chemisch-technische Verwendung nur in geringem Umfang angebaut. Zur Gewinnung von Proteinen werden die Samen geschält und gemahlen. Diesem Schrot wird anschließend Wasser zugesetzt. In der chemischen Industrie dominiert der Einsatz tierischer Proteine wie etwa Kasein oder Gelatine. Polymere auf Proteinbasis sind am Markt derzeit unbedeutend am Markt. Als chemisch modifizierte Proteine kommen bisher insbesondere Polymere aus Sojaproteinen in den Markt.

Fette und Öle

Pflanzliche Öle und Fette werden je nach Herkunft und Verwendung aus verschiedenen Pflanzen gewonnen. In Deutschland dominieren Raps, Sonnenblumen, Öllein und Senf. Diese Pflanzen speichern in ihren Samen Öle und Fette. In Ölmühlen werden diese Samen gereinigt, zerkleinert, erhitzt und gepresst. Im Anschluss daran wird das Öl extrahiert.

Entscheidenden Einfluss auf die Qualität und spätere Nutzung haben die verschiedenen Fettsäuren der pflanzlichen Öle. Jede Ölpflanze weist verschiedene Fettssäuremuster auf. Von besonderer Bedeutung sind die ungesättigten Fettsäuren Öl-, Linol-, Linolen- und Erucasäure.

In der Industrie unterscheidet man zwischen der direkten und der indirekten Nutzung. Die direkte Nutzung findet im Bereich der Schmierstoffe statt. Hier können Pflanzenöle bzw. modifizierte pflanzliche Öle die Schmierstoffe auf Mineralölbasis direkt ersetzen. Ein wesentlicher Vorteil liegt in der vergleichsweise problemlosen Entsorgung angesichts der guten biologischen Abbaubarkeit. Weitere Anwendung finden pflanzliche Öle in Kosmetika, Pharmaka, Lacken, Farben.

Bei der indirekten Nutzung werden Öle und Fette in ihre chemischen Bestandteile Glycerin und Fettsäuren aufgespaltet und entsprechend verwendet. Anwendung finden diese Bausteine in der Gummi-, Leder- und Kunststoffindustrie. Ein wichtiger Einsatzbereich sind Seifen sowie Wasch- und Reinigungsmittel.

In einer Studie der FNR (2007) wurden drei Segmente der stofflichen Nutzung ausgewählt, denen zukünftig besondere Entwicklungspotenziale zugeschrieben werden. Hierbei handelt es sich um die Bereiche der Biopolymerwerkstoffe sowie natur- und holzfaserverstärkter Kunststoffe, die Weiße Biotechnologie sowie der Bereich der Phytopharmaka. Da in der Studie (FNR, 2007) bereits die relevanten Verfahren aus Sicht der Industrie herausgefiltert wurden, soll aus dieser Auswahl nun nochmals eine Selektion der relevanten Verfahren aus Sicht der deutschen Landwirtschaft erfolgen. Die dabei identifizierten Bereiche können als Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten dienen. Als wesentliche Produktlinien wurden Biopolymerwerkstoffe sowie die Herstellung von naturfaserverstärkten Kunststoffen identifiziert. Diese sollen nachfolgend kurz vorgestellt werden.

Biopolymerwerkstoffe: Verfahren und Anwendungen

Aus tierischen und pflanzlichen Substanzen lassen sich durch die Nutzung des Rohstoffes in naturbelassener Form (z. B. Stroh als Dämmstoff), chemisch/physikalische Verfahren, Synthese oder mikrobakterielle Umwandlung Werkstoffe herstellen.

Prinzipiell kommen pflanzliche und tierische Substanzen aus der Landwirtschaft für die Verarbeitung infrage. Aus der Reihe der NR stellen stärke-, zucker-, cellulose-, protein- und fett-/ölhaltige Pflanzen relevante Rohstofflieferanten dar.

Kartoffelstärke besitzt in ihrer Zusammensetzung einige Besonderheiten, welche die Eigenschaften der Polymere verbessern könnte. Derzeit ist die Kartoffel aus Kostengründen

als Einsatzstoff für die Produktion von Polymilchsäure[29] (PLA) uninteressant. Auch für die Erzeugung von Stärkepolymeren ist Kartoffelstärke zunehmend uninteressant.

Glucose, welche die Basis zur Herstellung von PLA und Polymeren mittels bakterieller Substanzen bildet, soll nach FNR (2007) überwiegend aus Weizenstärke stammen. Offen bleibt an dieser Stelle, inwiefern gentechnisch veränderte Kartoffelsorten der positiven Eigenschaftverbesserte Stoffeigenschaften mit kostengünstigeren Produktionsverfahren in der Landwirtschaft verbinden können und somit auch die Kartoffel als relevanter Rohstoff in Frage kommt. Des Weiteren bleibt offen, inwiefern künftig differente stoffliche Nutzungsmöglichkeiten von Mais, Weizen und Kartoffeln auf die Agrarmärkte Verfügbarkeit und somit die Rohstoffpreise wirken könnten.

Naturfaserverstärkte Verbundstoffe – Kompositwerkstoffe

Verbundwerkstoffe bzw. sogenannte Kompositwerkstoffe bestehen aus zwei oder mehreren mechanisch fest verbundenen Einzelwerkstoffen In den Verbundwerkstoffen sind die Eigenschaften ihrer Bestandteile so kombiniert, dass sich eine gegenüber den Einzelwerkstoffen verbesserte Zweckeignung ergibt (TRAEBERT, 1966).

In Deutschland kommen als Naturfaser liefernde Pflanzen Faserlein, Hanf und Holz infrage. Da Holz bislang nicht in größerem Umfang auf deutschen Ackerflächen in Form von Kurzumtriebsplantagen angebaut wird, soll der Fokus vorerst auf Faserlein und Hanf gelegt werden.

Fasern

Fasern werden in unseren Breiten überwiegend aus Faserlein (auch Flachs genannt), Hanf und Fasernessel gewonnen. Baumwolle und Kunstfaser verdrängten diese Pflanzen in den vergangenen Jahren sehr stark, sodass ihr Anbau derzeit auf 1.000 ha beschränkt ist (vgl. Abschnitt 8.3.1). Insbesondere die komplizierte Ernte erschwert die Etablierung dieser Pflanzen. Um eine gute Faserqualität zu erzielen, sind optimale Witterungsbedingungen bei der Feldröste, dem Faseraufschluss durch Lagerung des Erntguts auf dem Feld, notwendig. Außerdem sind die zahlreichen und aufwendigen Arbeitsgänge sehr kostenintensiv.

---

[29] Das durchsichtige Polylactid (PLA) gleicht herkömmlichen thermoplastischen Massenkunststoffen nicht nur in seinen Eigenschaften, sondern lässt sich auch auf den vorhandenen Anlagen verarbeiten. PLA und PLA-Blends werden als Granulate in verschiedenen Qualitäten für die Kunststoff verarbeitende Industrie zur Herstellung von Folien, Formteilen, Dosen, Bechern, Flaschen und sonstigen Gebrauchsgegenständen angeboten. Vor allem für kurzlebige Verpackungsfolien oder Tiefziehprodukte (z. B. Getränke- oder Joghurtbecher, Obst-, Gemüse- und Fleischschalen) birgt der Rohstoff großes Potenzial. .

Der Rohstoff wird aus den in den Stängeln enthaltenen Bastfasern gewonnen. Entsprechend ihrer Aufbereitung nutzt man sie als Lang- oder Kurzfasern.

Dem Einsatz von Naturfasern wird aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht dennoch ein großes Potenzial zugeschrieben. Kompositwerkstoffe ermöglichen Leichtigkeit, Festigkeit und Sicherheit in einem Aufbau. Zusätzlich können Kompositwerkstoffe besser als herkömmliche Aufbaumaterialien geformt werden. Naturfaserverstärkte Kunststoffe verfügen daher über hohes technisches, aber auch ökonomisches Substitutionspotenzial gegenüber der Glasfaser. Aus ökologischer Sicht bieten Kompositwerkstoffe den Vorteil, dass für ihre Produktion häufig weniger Energie als für andere Werkstoffe aufgewandt werden muss. Außerdem ist die CO_2-Bilanz, selbst nach der Verbrennung im Anschluss an die stoffliche Nutzung, weitestgehend neutral. Durch ihre geringe Dichte eignen sich die meisten naturfaserverstärkten Kunststoffe für den Leichtbau und sparen damit, z. B. beim Automobil, in der Praxis zusätzlich Energie (FNR, 2007).

8.3 Besonderheiten und Herausforderungen der industriellen Nutzung von Biomasse

Der Einsatz von NR bietet, wie oben bereits beschrieben, zahlreiche Vorteile (vgl. Abschnitt 8.1). Um als Rohstoffquelle für die chemisch-technische Industrie infrage zu kommen, müssen Rohstoffe, egal ob fossil oder nachwachsend, bestimmte Kriterien hinsichtlich ihrer Qualität, Verfügbarkeit und technologischen Verarbeitungsgüte erfüllen. Nachfolgend sollen diese Punkte genauer beschrieben werden, wobei auf die Besonderheiten des Einsatzes von Biomasse im Vergleich zu erdölbasierten Rohstoffen besonders eingegangen wird.

8.3.1 Rohstoffqualität

Um als Rohstoff in der industriellen Weiterverarbeitung in Frage zu kommen, muss dieser, entsprechend dem Einsatzbereich, zahlreiche Qualitätskriterien erfüllen. So muss die Rohstoffqualität im Zeitablauf konstant hoch sein. Derzeit basiert die chemische Industrie im Wesentlichen auf Erdöl und Erdgas. Hieraus wird durch Raffination Naphtha gewonnen. Dieser Rohstoff bietet den Vorteil, einfach handhabbare, definierte und chemisch reine Grundstoffe für Raffinerien bereitzustellen. Die Nutzung von Biomasse ist mit einigen Besonderheiten verbunden. Ein wesentlicher Unterschied ist darin zu sehen, dass Erdöl extraktiv aus der Natur entnommen werden kann, Biomasse hingegen ist bereits ein Produkt des landwirtschaftlichen Stoffumwandlungsprozesses, wodurch jährlich durchaus unterschiedliche Qualitäten auftreten können (KAMM, 2008).

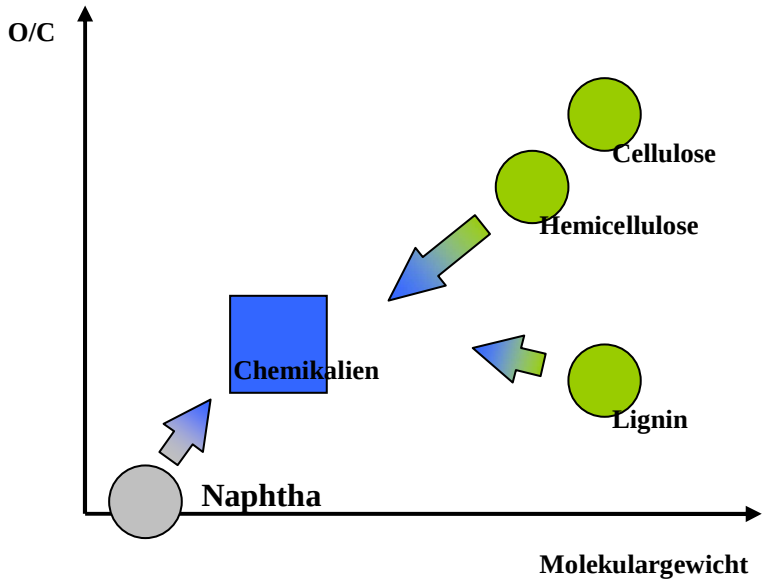
Tabelle 8.3: Elementare Zusammensetzung verschiedener Rohstoffe

	Erdöl	Öle/Fette	Lignocellulose (Holz)
C	85-90%	76%	50%
H	10-14%	13%	6%
O	0-1,5%	11%	43%

Quelle: HIRTH (2008)

Angesichts der unterschiedlichen Entstehung gibt es darüber hinaus Unterschiede in der elementaren und stofflichen Zusammensetzung sowie der Molekülstruktur. In Tabelle 8.3 sind die Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffanteile von Erdöl, natürlichen Ölen und Fetten sowie Lignocellulose abgebildet. Es zeigt sich, dass die verschiedenen Rohstoffe deutlich sehr unterschiedliche Anteile der Elemente besitzen. Im Gegensatz zu Naphtha sind die Biomassemoleküle angesichts ihrer höheren Funktionalität komplexer aufgebaut, langkettiger und enthalten mehr Sauerstoff (vgl. Abbildung 8.3).

Abbildung 8.3: Chemische Eigenschaften der Biomasse



Quelle: BASF (2008).

Für die industrielle Weiterverwendung muss durch verschiedene Methoden der Fraktionierung eine Zerlegung des Moleküls in seine Elemente und oder kleine Moleküle durch verschiedene Methoden der Fraktionierung erfolgen. Hierbei muss vor allem der Sauerstoff aus den Verbindungen entfernt werden, was zusätzliche Verarbeitungsschritte und somit Kosten mit sich bringt.

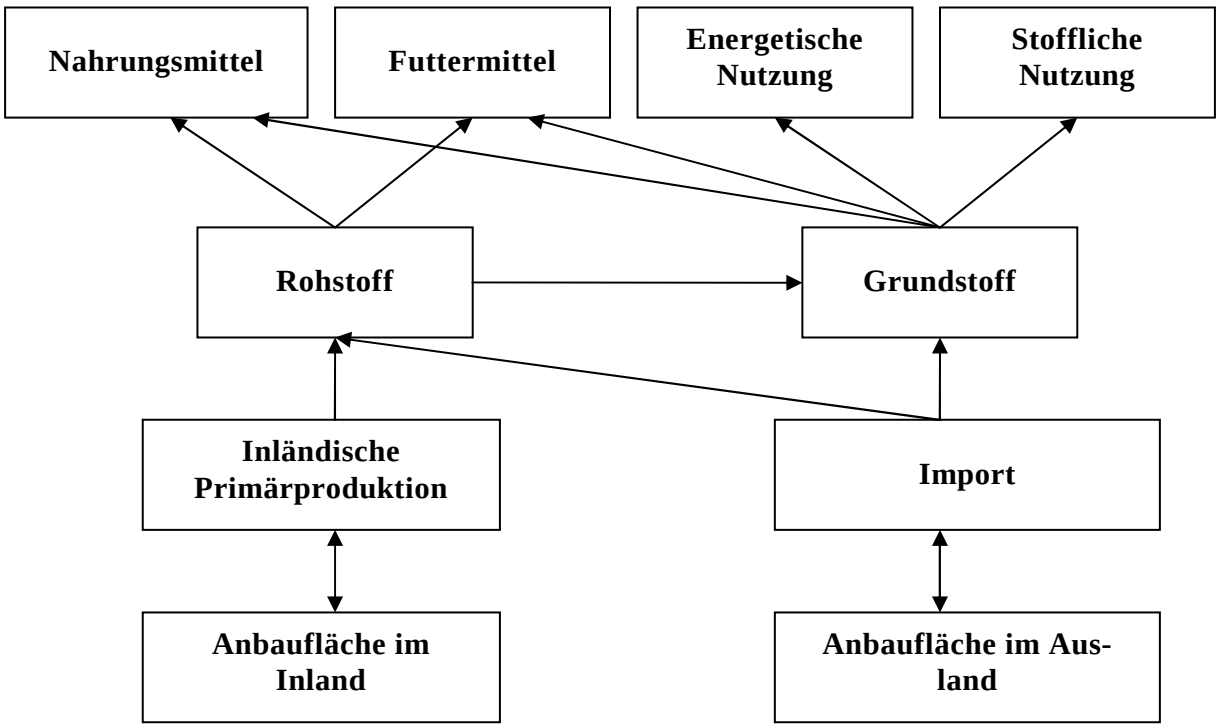
8.3.2 Rohstoffversorgung

Neben den Qualitätsanforderungen muss eine konstante Versorgung mit dem Rohstoff gewährleistet sein. In diesem Zusammenhang spielt die Ssaisonalität der NR-e Produktion NR eine wichtige Rolle. Entsprechende Lagerkapazitäten müssen bereitgestellt werden.

Unter ökonomischen Gesichtspunkten haben weitere Faktoren Einfluss auf die Verfügbarkeit von biogenen Rohstoffen im Bereich der stofflichen Nutzung.

Landwirtschaftliche Erzeugnisse können verschiedenen Verwendungen zugeführt werden vgl. Abbildung 8.4). Grundsätzlich kann zwischen zwei verschiedenen Konkurrenzbeziehungen unterschieden werden. Einerseits bestehen Konkurrenzen, wenn ein Grund- oder Rohstoff mehreren Verwendungsmöglichkeiten zugeführt werden kann. Beispielsweise kann Rapsöl als Nahrungs- oder Futtermittel dienen, andererseits kann ers für die Biodieselproduktion eingesetzt werden oder als Grundstoff in der chemischen Industrie dienen. Neben den Konkurrenzbeziehungen der Grund- oder Rohstoffe tritt gleichzeitig im Bereich der Landwirtschaft ein Wettbewerb um die Produktionsfaktoren Kapital, Boden und Arbeit auf. Entsprechend der Marktentwicklung baut der Landwirt diejenigen Fruchtarten für die entsprechende anschließende Nutzung an, bei welchern der höchste Deckungsbeitrag je Hektar erwirtschaftet werden kann (WUPPERTAL INSTITUT, 2008).

Abbildung 8.4: Konkurrenzbeziehungen landwirtschaftlicher Rohstoffe



Quelle: Wuppertal Institut (2008).

Beide Konkurrenzbeziehungen sollen nachfolgend genauer betrachtet werden.

Konkurrenzbeziehungen der Grund- oder Rohstoffe

Betrachtet man die Konkurrenzbeziehung der Grund- oder Rohstoffe, so lassen sich verschiedene Faktoren identifizieren, welche deren Verwendung beeinflussen. Angesichts möglicher Verwendungen des Rohstoffs als Nahrungs- oder Futtermittel oder in der energetischen Nutzung treten, entsprechend der jeweiligen Nachfrage, Konkurrenzen und Knappheiten auf. Hierdurch kann sich das Agrarpreisniveau aller Rohstoffe verändern, aber es können auch relative Preisänderungen zwischen alternativen Rohstoffen, z. B. Weizen und Mais, auftreten.

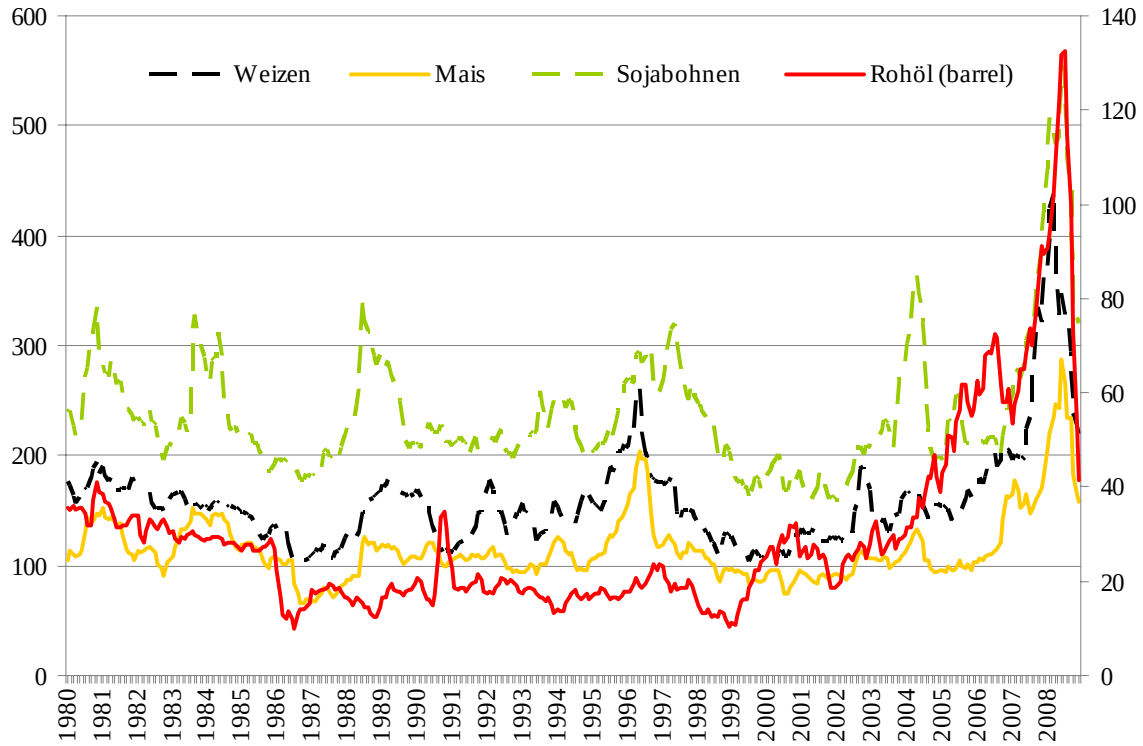
Die Einflussfaktoren auf die Rohstoffpreise sind vielfältig. In den vergangenen Jahren spielten für das Agrarpreisniveau hierbei weltmarktbedingte Knappheiten, bedingt durch Bevölkerungszunahme, den steigende Einkommen in einigen Schwellenländern, Abbau der Lagerbestände, Produktionsausfälle, die starke Förderung der Bioenergie, aber auch die Suche nach Renditen auf den Agrarmärkten das Preisniveau eine wichtige Rolle. Diese Einflussfaktoren wirkten sich in unterschiedlichem Ausmaß auf die Nahrungs- und Futtermittelmärkte, aber auch auf die Rohstoffmärkte für die Erzeugung von Energie und die stoffliche Nutzung aus. Je nach den Verschiebungen von Angebot und Nachfrage auf den Märkten wurde die Vorzüglichkeit des konkurrierenden Rohstoffeinsatzes beeinflusst. Für die verarbeitenden Unternehmen im Bereich der stofflichen Nutzung bedeutet dies, dass sie mit in zunehmendern Konkurrenz um die Nutzungen der agrarischern Rohstoffe stehen, aber auch einer mit höheren PreisVvolatilitäten der Preise zu tun habenkonfrontiert werden.

Neben den genannten Faktoren spielen der Ölpreis und seine Entwicklung hinsichtlich der Rohstoffverfügbarkeit eine wichtige Rolle. Öl bzw. Erdgas bilden die Grundlage der petrochemischen Industrie, und bzw. stellen erdölbasierte Produkte stellen die Konkurrenzprodukte für biogener Erzeugnisse dar. Ein hoher Ölpreis verbessert die Wettbewerbslage der NR, da auch teurere Konversionsverfahren wirtschaftlich interessant werden. Durch steigende Energiepreise steigen aber ebenso die Betriebsmittelpreise zur Produktion der NR in der Landwirtschaft, ebenso erhöht sich die Attraktivität für energetische Biomassenutzungen, wodurch sich auch die agrarischen Rohstoffe und verteuern somit den Rohstoff gleichermaßen.

Aufgrund der hohen Importanteile im Bereich der stofflichen Nutzung, aber auch der zunehmenden Bedeutung der Weltagrarmärkte, sind nicht allein die heimischen Agrarmärkte, sondern auch die Entwicklungen auf den Weltmärkten für agrarische Rohstoffe von besonderer Bedeutung. Neben den Agrarmärkten spielen die Absatzmärkte der hergestellten Produkte eine entscheidende Rolle. Angesichts einer Exportquote der chemischen Industrie von über 60 % ist der Preisfaktor daher von besonderer Bedeutung (ROTHER-

MEL, 2008). In diesem Bereich der ökonomischen Bewertung des Rohstoffeinsatzes besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Abbildung 8.5: Entwicklung der Rohstoffpreise



Quelle: IMF (2008)

Neben der ökonomischen Verfügbarkeit existieren verarbeitungstechnische Einschränkungen, d. h., nicht jeder Rohstoff bzw. Grundstoff kommt bei der weiterführenden Nutzung angesichts unterschiedlicher Eigenschaften infrage. Auch Zertifizierungen, mithilfe derer einzelne Roh- und Grundstoffe angesichts ihrer spezifischen Eigenschaften von vorneherein ausgeschlossen werden, wirken auf diese selektive Weisekönnen die Rohstoffauswahl beeinflussen.

Auch Standortfragen, also die Rahmenbedingungen der Produktion, welche sich letztendlich auf die Produktionskosten und damit die Wettbewerbsfähigkeit auswirken, spielen hierbei eine entscheidende Rolle für die künftige Entwicklung der stofflichen NR-Nutzungen. Diese haben sowohl einen Einfluss auf den Handel der Roh- und Grundstoff, als auch auf die Standortwahl der Verarbeitung.

Konkurrenzbeziehungen um Boden, Arbeit und Kapital

Bezüglich der Konkurrenzbeziehungen beim Wettbewerb um die knappen Produktionsfaktoren Boden, Arbeit und Kapital in der Landwirtschaft ist langfristig gesehen vor allem

die Ressource Boden als knapper Faktor zu sehen. Die Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital werden bei zunehmenden Knappheiten besser entlohnt und vermehrt verfügbar, da es zu einem Anstieg der Erzeugerpreise kommen würde. Somit wären diese Produktionsfaktoren langfristig gesehen nicht knapp.

Boden hat die Eigenschaft, nicht vermehrbar zu sein, sodass dieser Produktionsfaktor langfristig als begrenzender Faktor angesehen werden kann. Aus dem verfügbaren Flächenbestand müssen zukünftig alle Forderungen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion und energetischen/stofflichen Nutzung befriedigt werden.

Inwiefern sich diese Konkurrenzbeziehungen verschärfen, hängt stark von der Bevölkerungsentwicklung ab. Auch die Entwicklung der Produktivität anhand von Ertragssteigerungen hat Einfluss auf das Konkurrenzgeschehen. Es existieren jedoch ackerbauliche Obergrenzen, da Fruchtfolgeansprüche den Anbauumfang der Ackerfrüchte begrenzen. Auch die Flächeninanspruchnahme durch Naturschutzanforderungen begrenzt den verfügbaren Flächenumfang zusätzlich. Auch in diesem Bereich der potenziellen Möglichkeiten der Rohstoffbereitstellung besteht von Seiten der Wissenschaft noch erheblicher Forschungsbedarf.

8.3.3 Technologie

Neben den ökonomischen und ökologischen Einflussfaktoren sind neue Ansätze in der Forschung und Technologie notwendig. Die stoffliche Nutzung bietet ein hohes Innovationspotenzial im Hinblick auf neue Technologien. Die technologische Entwicklung befindet sich allerdings noch in der Anfangsphase. In einer Reihe von möglichen stofflichen Anwendungen werden traditionelle Prozessketten immer kostengünstiger bleiben als neue biotechnologische Optionen. Dafür können mit Biotechnologie Bereiche erschlossen werden, die traditionellen Prozessketten verschlossen bleiben, oder es können auch bisher nicht stofflich genutzte Rohstoffe aus Nebenprodukte als Rohstoffe eingesetzt werdenströmen, die bisher stofflich nicht genutzt werden konnten.

Zur Herstellung von Chemikalien aus NR sind verschiedene Technologien notwendig. Diese umfassen eine effiziente Raffination, d. h. den Aufschluss und die Fraktionierung der Biomasse. Weiterhin sind katalytische Prozesse zur Transformation notwendig. Außerdem ist eine Anpassung der Verfahrenstechnik, wie beispielsweise der Wechsel von flüssigen zu festen Einsatzstoffen, sowie der Aufbau von Wertschöpfungsketten auf Basis von NR erforderlich (BASF, 2006).

Bei der Verwendung von NR können verschiedene Konzepte der Nutzung in Betracht kommen (vgl. ROTHERMEL, 2008), die im Folgenden kurz angesprochen werden.

Nutzung der Syntheseleistung der Natur

Zum einen wird die Syntheseleistung der Natur weitgehend genutzt (z. B. Cellulosefasern). Hierbei werden die Moleküle der NR in unveränderter oder leicht modifizierter Form für die Herstellung chemischer Rohstoffe genutzt.

Nutzung von NR in der „Weißen Biotechnologie“

Die „Weiße Biotechnologie“ beruht auf der Nutzung enzymatischer Systeme oder Mikroorganismen zur Herstellung von Chemikalien. Dabei sind theoretisch alle chemischen Zwischenprodukte aus Zucker, Stärke, Proteinen und Fetten/ Ölen herstellbar. In der Praxis fehlen teilweise noch passende Enzymsysteme bzw. ist der technische Aufwand wesentlich teurer als bei herkömmlichen Verfahren.

Nutzung von NR über Bioraffineriekonzepte

Andererseits Weiterhin können NR zur Herstellung von Plattformchemikalien dienen, welche als Grundlage zur Herstellung weiterer Industriechemikalien dienen. In einer Bioraffinerie sollen zukünftig, ähnlich einer traditionellen Erdölraffinerie, in der das Erdöl in nutzbare Fraktionen aufgespalten wird, alle brauchbaren Pflanzenteile und Inhaltsstoffe extrahiert werden. Während NR wegen ihrer hohen Funktionalität entfunktionalisiert werden müssen, müssen die petrochemischen Rohstoffe angesichts ihrer geringen Funktionalität funktionalisiert werden. Der Prozess der Bereitstellung von Plattformchemikalien aus NR kann also durch die Schritte der Aufbereitung (Zerkleinerung, Extraktion, Aufschluss) über die chemische oder biotechnologische Transformation hin zu den verfügbaren Synthesebausteinen beschrieben werden.

Das Konzept der Bioraffinerie befindet sich derzeit noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Hierbei stellen vor allem die technologische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit die entscheidenden Hindernisse dar. Insbesondere technologische Probleme im Verarbeitungsprozess in der Industrie stellen ein Hemmnis dar. Folgende Faktoren stellen begründen die bisherigen Nachteile des beim Einsatzes biogener Rohstoffe in der chemischen Industrie dar:

- Hohe Funktionalität der Molekülstruktur
- Hoher Wasser- und Feststoffgehalt der Rohstoffe
- Fehlen geeigneter Aufschlussverfahren, Katalysatoren und Aufarbeitungsverfahren
- Diskontinuierliche Verlauf der Prozesse,
- Lange Reaktionszeiten
- Einsatz von Prozesschemikalien
- Geringe Substrat- und Produkttoleranz bei biotechnologischen Prozessen
- Zu geringe Ausbeute und Selektivität (HIRTH, 2008)

Darüber hinaus ist die Wirtschaftlichkeit des Technologieeinsatzes bei der Nutzung von NR gegenüber fossilen Rohstoffen oftmals nicht gegeben. Dies betrifft einerseits die Produktionskosten, zum anderen können mittels der erdölbasierten Produktion deutlich höhere Skaleneffekte erzielt werden. Vor diesem Hintergrund fehlen insbesondere die finanziellen Anreize und Notwendigkeiten zum Wechsel der Rohstoffbasis. Da die verarbeitende Industrie einem starken Wettbewerb ausgesetzt ist, wählt diese unter ökonomischen Gesichtpunkten den günstigeren Rohstoff. Ein weiterer Punkt ist, dass in den vergangenen Jahren von Seiten der Industrie oftmals Investitionen in konventionelle Technologien getätigt wurden. Auch bieten die etablierten und seit Jahren optimal aufeinander abgestimmten Verbundstandorte kaum Möglichkeiten, eine neue Rohstoffbasis zu implementieren. Deutlich wird dies vor allem, wenn man die oben aufgezählten zahlreichen Problemfelder der chemischen Prozesse in die Betrachtung einbezieht (IFUL/IFEU, 2003).

8.3.4 Umweltbewertung

Aus ökologischer Sicht bietet die stoffliche und energetische Nutzung von NR Vorteile gegenüber petrochemischen Rohstoffen. Prinzipiell wird der stofflichen Nutzung eine bessere Umweltverträglichkeit bezüglich verbesserter Wasser-, Luft- und Bodenqualitäten, aber auch ein positiver Beitrag zur Erhaltung und Verbesserung der Biodiversität zugeschrieben.

Begründet wird dies zum einen durch die Ressourcenschonung, andererseits aber auch in geringeren Umweltrisiken durch geringen Aufwand bei Aufbereitung, Transport und Lagerung. Auch die Möglichkeit einer Rückführung der Rest- und Abfallstoffe in den natürlichen Kreislauf und die Chancen eines verstärkten Aufbaus regionaler Wirtschaftskreisläufe bieten eine positive ökologische Perspektive. Darüber hinaus kann die stoffliche Nutzung auch als antrophogene CO_2-Senke angesehen werden. Im Gegensatz zum energetischen Einsatz von Biomasse, welche bei ihrer Nutzung so viel CO_2 in die Atmosphäre abgibt, wie sie ihr vorher entzogen hat, ist die Verweildauer des Kohlenstoffs im Rahmen einer stofflichen Nutzung deutlich höher. Kohlenstoff bleibt länger im Rohstoff gebunden und kann somit zu einer Minderung des Kohlenstoffanteils in der Atmosphäre und damit langfristig zu einer Verlangsamung des Klimawandels beitragen. Am Beispiel des Einsatzes von Kompositwerkstoffen zeigt sich noch ein weiterer Vorteil. Durch die geringere Dichte der Fasern können leichtere Werkstoffe hergestellt werden. Werden diese Komponenten in der Automobilindustrie eingesetzt, so besteht ein weiteres CO_2-Minderungspotenzial, da durch das geringere Gewicht des Fahrzeugs weniger Energie für dessen Fortbewegung eingesetzt werden muss. Im Anschluss an die stoffliche Nutzung kann zusätzlich eine energetische Nutzung stattfinden. Die stoffliche Nutzung mit anschließender energetischer Nutzung wird auch als Kaskadennutzung bezeichnet.

Neben den genannten Vorteilen ist die vermehrte Nutzung von NR auch mit einer steigenden Flächeninanspruchnahme verbunden. Durch den Wegfall der Stilllegungsverpflichtung, aber auch durchie Ausweitung der Produktion an marginalen Grenzstandorten, kommt es auf diesen Flächen zu zusätzlichen Bodenbelastungsemissionen und der Anwendung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln sowie Treibstoffen, deren Bereitstellung wiederum mit gewissen Umweltwirkungen verbunden ist. Das Ausmaß der Umweltwirkungen hängt im Wesentlichen von der Anbauweise, der Gestaltung der Fruchtfolgen und den natürlichen Standortbedingungen ab (IFUL/IFEU, 2003). Gleichzeitig muss bei dieser Betrachtung aber auch beachtet werden, dass diese Flächen bei einer alternativen Nutzung, welche zum Teil sogar intensiver sein könnte, unter ökologischen Aspekten deutlich schlechter bewertet werden könnten.

Die Bewertung der Umweltwirkung der stofflichen Nutzung ist vielschichtig. Neben der Rohstofferzeugung in der Landwirtschaft haben auch die Eigenschaften des konventionellen Produktes und die Herstellungstechnologie einen erheblichen Einfluss auf die ökologische Bewertung. Aufwendige Aufbereitungs- und Weiterverarbeitungsverfahren können die ökologischen Vorteile der Rohstoffproduktion und der Entsorgung zunichte machen.

Im Rahmen des Klimaschutzes und unter Umweltschutzaspekten muss neben der technologischen Weiterentwicklung auch im Bereich der Umweltbewertung verstärkt Forschung betrieben werden. Diese erlangt vor allem bei umweltorientierten politischen oder unternehmerischen Entscheidungen zukünftig zunehmende Relevanz, da mithilfe der Bewertung Schwachstellen der Produkte und Verfahren aufgedeckt werden und deren Umwelteigenschaften gezielt verbessert werden können (PE, 2007).

Zur Beurteilung von Umweltwirkungen von Produkten und Dienstleistungen setzte hat sich die Methodik der Ökobilanzierung in den vergangenen Jahren zunehmend durchgesetzt. Mit diesem Hilfsmittel können Produkte oder Produktlinien (Systeme) und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt im Rahmen einer Systembetrachtung erfasst und transparent gemacht werden, um die spezifischen Wirkungen und Einflussfaktoren abschätzen und bewerten zu können. Die Ergebnisse verschiedener Ökobilanzen sind stark von der Wahl der Systemgrenzen, Rahmenbedingungen und Referenzszenarien abhängig.

Im Bereich der ökologischen Bewertung der stofflichen Nutzung entstanden in den vergangenen Jahren bereits mehrere Studien zu verschiedenen Produkten und Produktlinien, insbesondere zu Baumaterialien und Verpackungsprodukten. Es sei an dieser Stelle auf eine von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe in Auftrag gegebene Studie verwiesen. Hierin wurden 156 Studien durch PE-International (PE, 2007) zusammengetragen, miteinander verglichen und ausgewertet.

8.4 Forschungsbedarf

Aus Sicht der Forschung bestehen hinsichtlich der Bewertung der stofflichen Nutzung in Deutschland verschiedene Bereiche, welche die Etablierung der genannten Verwertungslinien beeinflussen.

Einfluss auf die Verwendung in der stofflichen Nutzung haben:

- Verfügbare Technologie/Kosten der Verarbeitung/Skaleneffekte
- Entwicklung des Ölpreises (Energie, Petrochemie)
- Politische Rahmenbedingungen (Energie, Umwelt, Agrar …)
- Preise alternativer Rohstoffe aus der Landwirtschaft (Substitute, Importware) – betriebswirtschaftliche Bewertung
- Preise alternativer Endprodukte
- Globale Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Rohstoffbasis
- Handel, Verarbeitung … (Standortfragen/Währungsparitäten)
- Auswirkungen auf Klima und Umwelt

In diesen Bereichen besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

9 Fazit

Nachfolgend werden Schlussfolgerungen zu den in Kapitel 1 aufgeworfenen Fragestellungen gezogen:

(5) ***Wie wird die Bioenergieförderung die deutsche Agrarstruktur beeinflussen, wenn die NR-Förderung unverändert beibehalten wird?***

Obwohl die Kalkulationen zur energetischen Nutzung von Stroh und Hackschnitzeln gezeigt haben, dass Anlagentypen verfügbar sind, mit denen sich hohe und teilweise sogar sehr hohe Renditen erwirtschaften lassen, ist zumindest mittelfristig nur von einer geringen Beeinflussung der deutschen Agrarstruktur durch derartige Anlagen zu rechnen. Hierfür sprechen folgende Umstände:

– Bei der Anlage von KUP ist das Vermarktungsrisiko der Landwirte vermutlich ein erhebliches Entwicklungshemmnis: Aufgrund der langen Produktionszyklen der KUP ist deren Anlage eine sehr langfristige Investitionsentscheidung, die zudem noch mit dem Risiko behaftet ist, dass das produzierte Produkt nur sehr eingeschränkt handelbar und nur bedingt transportwürdig ist.

– Hinzu kommen aus Sicht der Landwirte produktionstechnische Unwägbarkeiten aufgrund der bisher nur sehr sporadischen praktischen Erfahrungen mit der Anlage, Nutzung und Pflege derartiger Plantangen in Deutschland.

– Das in der Biogasproduktion zu beobachtende Muster der starken Dezentralisierung von Anlagen, die zudem überwiegend von Landwirten betrieben werden, ist für die energetische Nutzung von Stroh und Hackschnitzeln eher nicht zu erwarten. Vielmehr sind größere und zahlungskräftige – in der Regel industrielle – Abnehmer von Wärme die Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Konzepte. Diese können aber regional die Flächennutzung stark beeinflussen.

Im Gegensatz dazu ist jedoch davon auszugehen, dass es bei Fortführung der derzeitigen Förderung der Biogasproduktion kurz- und mittelfristig zu erheblichen agrarstrukturellen Effekten kommt. Im Einzelnen sind dabei folgende Entwicklungen zu prognostizieren:

– Unabhängig von den konkreten regionstypischen agrarstrukturellen Gegebenheiten führt der Güllebonus dazu, dass in Zukunft kaum noch Anlagen ohne Gülle konzipiert und betrieben werden. Dennoch ist – insbesondere bei westdeutschen Betriebsstrukturen – üblicherweise zu erwarten, dass der Gülleeinsatz auf etwa 35 % beschränkt bleibt. Dabei werden die Anlagen überwiegend so konzipiert, dass der Massenanteil von 35 % Gülle kostenfrei vom eigenen landwirtschaftlichen Betrieb zur Verfügung gestellt wird. Folglich kann der Güllebonus auf die Zahlungsbereitschaft für pflanzliche Rohstoffe umgelegt und so die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasanlagenbetreiber am Pacht- bzw. Rohstoffmarkt weiter erhöht werden.

– Wie die ex-post-Analyse auf Basis der Agrarstatistik und der niedersächsischen InVeKoS-Daten zeigt, sind sehr unterschiedlich spezialisierte Regionen und Betriebe in die Biogasproduktion eingestiegen, wobei der Futterbau- und Veredlungsbereich einen Schwerpunkt bildet. Betriebe mit Biogas sind in den betrachteten Jahren überdurchschnittlich stark gewachsen und haben die Gärsubstratproduktion ergänzend zum bestehenden Tierbestand ausgebaut. Eine Tendenz zu Tierbestandsabstockungen in Folge des Biogasausbaus ist bisher nicht zu erkennen. Der Maisanbau wird auch in Marktfruchtbauregionen mit zuvor geringen Maisanteilen an der Ackerfläche ausgedehnt, besonders stark aber in viehstarken Futterbau- und Veredlungsregionen mit bereits hohen Maisanbauanteilen. In diesen Regionen ist eine Tendenz zu einzelbetrieblich stark verengten Fruchtfolgen erkennbar, die sich auch in der Veränderung der regionalen Flächennutzung widerspiegelt.
– Mit Blick auf die in dieser Studie identifizierten Regionstypen sind die nachstehend skizzierten Effekte zu erwarten:

Milchviehregion

– Bei Milchpreisen unter 30 ct/kg ist die Grundrente aus der Biogaserzeugung fast fünfmal so hoch wie die aus der Milchviehhaltung. Eine entsprechend deutliche Steigerung der Pachtpreise dürfte sich einstellen. Da viele Experten langfristig von einem Milchpreis von unter 30 ct/kg FECM ausgehen, wird es in Zukunft für viele landwirtschaftliche Unternehmer besonders attraktiv sein, die Milchviehhaltung aufzugeben und in die Biogasproduktion einzusteigen. Vorübergehend wird dieser Effekt gebremst, indem Milchviehhalter eine geringere Entlohnung ihrer eigenen Arbeitskraft in Kauf nehmen. Spätestens im Rahmen des Generationswechsels bzw. einer Neuinvestition in Stallgebäude ist dann jedoch damit zu rechnen, dass eine zunehmende Zahl von Landwirten die Milchproduktion aufgibt und ihre Flächen für die Biogasproduktion nutzt. Neben diesem freiwilligen Ausstieg aus der Milchproduktion wird in Regionen mit Flächenknappheit die Milchviehhaltung auch unfreiwillig von Biogasanlagen verdrängt. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass Biogasanlagenbetreiber am Pachtmarkt deutlich wettbewerbsfähiger sind als Milchproduzenten.
– Aufgrund der höheren Verwertung von Maissilage in der Biogasanlage im Vergleich zur Milchviehhaltung wird letztere voraussichtlich zunächst auf das Grünland ausweichen.
– Allerdings sind Biogasanlagen in Grünlandregionen mit hohen Grassilageanteilen ebenfalls sehr rentabel. Hier wird es bei langfristigen Milchpreisen unter 28 ct/kg FECM auch zu einer Ausdehnung der Biogasproduktion auf Grünland kommen.

Veredelungsregion

- Trotz der bereits vorhandenen Nährstoffüberschüsse ist die Biogasproduktion in Veredelungsregionen sehr rentabel. Daher ist hier mit einer besonders starken Ausdehnung der Biogasproduktion zu rechnen.
- Die Biogasförderung wird in Veredelungsregionen zu steigenden Pachtpreisen führen. Ursache dafür ist, dass die Anlagenbetreiber bei der Beantragung von Krediten für die Errichtung einer Biogasanlage mindestens 50 % der Rohstoffversorgung über eigene Pachtflächen sichern müssen. Dabei kann eine typische Biogasanlage über 1.200 €/ha Pacht zahlen.
- Damit Schweinemastbetriebe diese Pacht aufbringen können, muss der Weizenpreis auf etwa 250 €/t steigen. Sollte dies nicht geschehen, ist davon auszugehen, dass die Schweinemast künftig vermehrt gewerblich betrieben werden muss. Dies wird ceteris paribus zu geringeren Gewinnen in Veredelungsbetrieben führen.

Ackerbauregion

- Die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion in Ackerbauregionen wird sehr deutlich von der Ausschöpfung des regionalen Gülleaufkommens bestimmt. Bis das regionale Gülleaufkommen in der Ackerbauregion erschöpft ist, liegt die Grundrente der Biogasproduktion bei 1.200 €/ha. Damit liegt die Grundrente in der Ackerbauregion zunächst in der gleichen Größenordnung wie die maximal zu zahlende Pacht in der Veredelungsregion.
- Sofern Gülle aus Veredelungsregionen importiert werden muss, geht die Grundrente aus der Biogasproduktion zurück, beträgt jedoch immer noch ca. 800 €/ha. Damit der Weizenanbau die gleiche Grundrente erwirtschaften kann, müsste der Weizenpreis auf etwa 200 €/t ansteigen. Da derart hohe Getreidepreise derzeit nicht zu erwarten sind, ist auch in Ackerbauregionen mit einer weiteren Ausdehnung der Biogasproduktion zu rechnen. Überschlägige Kalkulationen über die regionalen Gülleaufkommen und den regionalen Biogasanlagenbestand lassen vermuten, dass bei einem weiteren Zubau von Biogasanlagen die regionale Verknappung von Gülle mittelfristig zu erwarten ist. Folglich dürfte der mittelfristige Zubau von Anlagen in Ackerbauregionen deutlich verhaltener verlaufen als in Veredelungs- und Milchviehregionen.
- Durch die Kombination von Biogasanlagen mit neuen Schweine- oder Geflügelmastställen kann auch in Ackerbauregionen langfristig eine sehr hohe Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion gesichert werden. Daher könnte sich aufgrund der Biogasförderung eine Verlagerung der Schweinemast von den Veredelungsregionen in die Ackerbauregionen ergeben. Aufgrund von Pfadabhängigkeit der Ackerbaubetriebe sowie ungünstiger struktureller Voraussetzung (Stichwort: Verarbeitungs- und Zulieferindustrie) ist jedoch unklar, wie viele landwirtschaftliche Unternehmer in Zukunft bereit sein werden, in die Veredelung zu investieren. Weiterhin wären für die gleichzei-

tige Investition in eine Biogasanlage und einen Schweinemaststall erhebliche Managementkapazitäten erforderlich, die von einzelnen Betriebsleitern mit geringer Erfahrung in diesen beiden Betriebszweigen nur schwer zu erbringen sind. Daher können ohne weitere Untersuchungen keine Aussagen dazu getroffen werden, ob und mit welcher Dynamik sich derartige Strukturwirkungen tatsächlich entfalten.

(6) ***Inwieweit beeinträchtigt die politisch weiter gestärkte Wettbewerbskraft des NR-Anbaus die internationale Wettbewerbsfähigkeit der übrigen Produktionszweige der deutschen Agrarwirtschaft?***

– Aufgrund der hohen Grundrenten der Biogaserzeugung ist von steigenden Pachtpreisen auszugehen, die zu steigenden Produktionskosten für Milch und Rindfleisch führen. Die Veredelungsproduktion wird – zumindest in den Veredelungsregionen – durch die Verdrängung vom Pachtmarkt und den dadurch verursachten Wechsel in die Gewerblichkeit mit steigenden Steuerlasten konfrontiert. Hinzu kommen tendenziell steigende Kosten der überregionalen Nährstoffentsorgung, die ebenfalls steigende Produktionskosten nach sich ziehen. Insgesamt ist also in allen Bereichen der tierischen Produktion – soweit diese in regional konzentrierter Form erfolgt – mit einer sinkenden internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Produzenten zu rechnen.

– Hinzu kommt, dass die Investition in Biogasanlagen bei den investierenden Unternehmern Opportunitätskosten verursacht: Zum einen werden Management-Kapazitäten gebunden, die nicht in die weitere Optimierung und das weitere Wachstum der konventionellen Produktion investiert werden können. Zum anderen dürfte der durch den Bau von Biogasanlagen verursachte Kapitalbedarf die Kapitalverfügbarkeit für den Ausbau der herkömmlichen Agrarproduktion vermindern. Diese indirekten wachstumshemmenden strukturellen Effekte sind – insbesondere in der international sich sehr dynamisch entwickelnden Milchproduktion – mittel- und langfristig vermutlich von besonderer Bedeutung für die verringerte Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Agrarproduktion. Allerdings handelt es sich hierbei bisher lediglich um theoretische Überlegungen, die im Rahmen weiterer Studien empirisch unterfüttert werden müssen.

– Andererseits verbessert sich in Betrieben, die in Biogasanlagen investieren, die wirtschaftliche Stabilität, weil sie eine gewisse Mindestverwertung von Arbeit und Fläche abgesichert haben. Dies gilt indes nur, wenn und so lange das allgemeine Agrarpreisniveau auf einem niedrigen Niveau wie im Jahr 2010 verbleibt. Bei einem deutlichen Anziehen der Agrarpreise kehrt sich die Sicherheit der Mindestpreise in einen Höchstpreis um.

– Die Ergebnisse sowohl der ex-post-Analysen auf Basis der niedersächsischen InVeKoS-Daten als auch der Modellierung mit RAUMIS legen nahe, dass der Ausbau der Biogasproduktion zunächst ergänzend zur vorhandenen Tierhaltung erfolgt. Ver-

schiebungen der Flächennutzung erfolgen vor allem durch eine Verdrängung von Getreide, Ölsaaten, sonstigem Ackerfutterbau und freiwilliger Stilllegung. Die Rinderhaltung weicht auf die Grünlandfläche aus. Diese Entwicklung führt zu einer Intensivierung der Flächennutzung, für die sowohl im Ackerbau als auch in der Grünlandnutzung noch Potentiale bestehen. Kurzfristig sind Konkurrenzen um Gülle- und Gärrestausbringungsfläche vor allem in Regionen zu erwarten, in denen die organische Düngung bereits nahe an den rechtlichen Obergrenzen liegt. In den meisten Regionen ist hingegen ein „Auffüllen" der Nährstoffzufuhr bis an die düngerechtlichen Obergrenzen zu erwarten.

(7) ***Wie beeinflusst der zunehmende NR-Anbau die Umweltwirkungen der deutschen Landwirtschaft und den Umfang der Flächen, die für den Naturschutz zur Verfügung stehen?***

– Der Nährstoffanfall in Veredelungsregionen steigt weiter an, weil Mais zur Biogasproduktion auf bisherigen Getreideflächen angebaut wird. Während beim Getreideanbau die Nährstoffe mit dem Erntegut aus der Region exportiert wurden, verbleiben die Nährstoffe der Maissilage mit dem Gärrest in der Region.

– Die Annahme, dass in Ackerbauregionen bei einem vermehrten Anbau von Silomais für Biogasanlagen der mineralische Düngebedarf sinkt und daraus ein positiver Umwelteffekt entsteht, greift ins Leere, da bei gleichem Verbrauch das Getreide in anderen Teilen der Welt angebaut wird. In der Folge ist hier eine Intensivierung der Produktion notwendig.

– Aufgrund der hohen Wertschöpfung von Hähnchenmist in Biogasanlagen ist in Veredelungsregionen damit zu rechnen, dass Geflügelmist in der Region „verflüssigt" wird. Folglich ist unter sonst gleichen Bedingungen mit einem zunehmenden Anfall von nicht-transportwürdigen Nährstoffüberschüssen und damit mit kostenträchtigen Nährstoffexporten in benachbarte Regionen zu rechnen.

– Mit Blick auf das Ziel, über die Trocknung von Gärresten einen effizienten Nährstoffexport über transportwürdige Wirtschaftsdünger zu erzielen, ist festzuhalten, dass aufgrund der geringen Trocknungsleistung nur ein kleiner Teil der Gärreste getrocknet werden kann. Somit führt die Gärresttrocknung nur zu einer sehr begrenzten Verbesserung der Nährstoffbilanz in Veredelungsregionen; es dominieren hingegen zusätzliche Erlöse über den KWK-Bonus für Biogasanlagen, die nicht über eine wirtschaftlich sinnvolle Wärmeverwertung verfügen.

– Mit Blick auf die regionale Düngebilanz ist diese Option bei vorgeschalteter Separierung und anschließender Trocknung von P-haltigen Substraten aus den Gärresten allerdings gänzlich anders zu bewerten. Neben der Option, den KWK-Bonus zu erhalten, entstehen nach geltendem Düngerecht erhebliche Spielräume für eine erhöhte N-Düngung aus Gülle und Gärresten. N verbleibt bei Separierung vor allem in der flüssigen Phase und dürfte daher in den betroffenen Regionen eingesetzt werden. Im be-

stehenden Düngerecht wird die N-Zufuhr aus Gärresten nicht wie bei N aus der Tierhaltung begrenzt. Daher wirken vor allem die Begrenzungen für die P-Zufuhr limitierend auf die kombinierte Gülle- und Gärrestausbringung. Die Gärresttrocknung erlaubt durch den P-Export eine Erhöhung der organischen N-Zufuhr.

- Die Vermeidung von Nährstoff- und Methanverlusten und eine effiziente Verwertung der Nährstoffe im Gärrest sind wichtige Elemente für eine positive Klimabilanz der Biogasanlagen. Vor diesem Hintergrund sollten die bestehenden Standards für die maximale Nährstoffausbringung, die Anrechnung der Nährstoffe in der Düngeplanung und N- und P-Bilanzierung, die gasdichte Lagerung und ausreichend Lagerkapazität überprüft und mit den Standards für tierische Wirtschaftsdünger harmonisiert werden. Dies wäre auch ein Beitrag zu mehr Wettbewerbsgleichheit gegenüber der Tierhaltung.
- Fragen ergeben sich bezüglich der Höhe der Ammoniakemissionen aus Gärresten. Es bestehen Chancen für eine verbesserte Nährstoffverwertung, dies ist aber nur gegeben, wenn die erhöhten Emissionsrisiken aufgrund hoher pH-Werte und Ammoniumgehalte durch Maßnahmen der guten Praxis bei der Gärrestlagerung und –ausbringung begrenzt werden. Angesichts der durch das EU-Recht vorgegebenen Emissionsobergrenzen für Ammoniak sollte diesem Aspekt künftig mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.
- Die hier vorgelegten Berechnungen haben gezeigt, dass es unter den hier unterstellten Rahmenbedingungen attraktiver ist, Maissilage zu vergären als Grassilage. Von daher geht von Biogasanlagen grundsätzlich der wirtschaftliche Druck dafür aus, Grünland umzubrechen und auf der Fläche Silomais anzubauen.
- Die empirischen Analysen auf Basis von InVeKoS-Daten für das Land Niedersachsen haben gezeigt, dass es in Betrieben mit Gärsubstratproduktion zu einer verstärkten Grünlandumwandlung in Ackerland kommt. Ein Großteil der insgesamt zu beobachtenden Grünlandverluste steht jedoch nicht direkt mit der Biogasproduktion in Verbindung, sondern findet in anderen Betrieben bzw. in Regionen mit geringer Biogasanlagendichte statt.
- Mit Blick auf die klimapolitische Bewertung der Produktion und Verwendung nachwachsender Energieträger sind die Landnutzungsänderungen von Grünland zu Ackerland sowie die Nutzung von Moorböden (organischen Böden) von besonderer Bedeutung. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage der künftigen rechtlichen Regulierung der Flächennutzung.
- Die zu beobachtende Intensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung findet auch in Schutzkulissen des Umwelt- und Naturschutzes statt. Soweit sich daraus Konflikte mit den Schutzzielen ergeben, sollten die bestehenden Schutzmaßnahmen in diesen Kulissen überprüft und angepasst werden, um negative Wirkungen zu verringern.

– In Regionen mit bereits hohen Maisanteilen wird nur wenig sonstiger Mais durch den Ausbau der Gärsubstratproduktion verdrängt, so dass es zu deutlich zunehmenden Maisanteilen auf der Ackerfläche kommt. Diese Ausdehnung des Maisanteils, gerade im nahen Umfeld von Biogasanlagen, führt zu Veränderungen des Landschaftsbildes und kann bei schlechtem Dünge- und Bodenmanagement zu Wasser- und Erosionsschutzproblemen führen.

– Die mit der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung verfolgten, Biomasse-spezifischen Standards für die Flächennutzung sind kritisch zu bewerten. Diese können ins Leere laufen, wenn als einzige Konsequenz der NR-Anbau auf unkritische Standorte verlagert wird, und in der Folge problematische Flächen (Moorböden, umgebrochenes Grünland) beispielsweise für die Futtermittelproduktion genutzt werden. Sinnvoller erscheinen wirkungsvolle Standards für die gesamte landwirtschaftliche Flächennutzung.

– Weiterhin spricht gegen eine unterschiedliche Behandlung der Energiepflanzen die Tatsache, dass über die Verwendung der pflanzlichen Erträge für Ernährungs-, Futter- oder Bioenergiezwecke oft erst nach der Ernte entschieden wird. Getrennte Standards für Energiepflanzen würden überdies zu Abgrenzungsschwierigkeiten, Umgehungsmöglichkeiten und einem erhöhten Kontrollbedarf führen und schaden der Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Standards, einer wichtigen Voraussetzung für deren Einhaltung.

– Klimaschutzpolitisch ist es wünschenswert, eine möglichst hohe Verwendung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen zu erreichen. Gerade in Tierhaltungsregionen besteht durch den derzeitigen Güllebonus ein starker wirtschaftlicher Anreiz, gleichzeitig sehr hohe Anteile von ackerbaulich produzierten Rohstoffen zu verwenden. Diese Anreize werden nicht die maximale Wirtschaftsdüngermenge mobilisieren, sie führen vielmehr zu einer verstärkten Flächenkonkurrenz gerade in viehstarken Regionen. In Hinblick auf die Klimaschutzwirkungen sollte geprüft werden, auf welche Weise erreicht werden kann, dass mehr Wirtschaftsdünger im bestehenden Anlagenbestand verwendet wird.

(8) ***Wie kann der Staat seine Fördermaßnahmen so weiterentwickeln, dass die Nutzungskonkurrenzen verringert und ein möglichst großer Beitrag zum energiepolitischen Ziel erreicht wird?***

Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen zur Verringerung der aufgezeigten negativen agrarstrukturellen sowie ökologischen Effekte ableiten:

– Bei dem derzeitigen Niveau der Förderung kommt es zu einer Übersubventionierung der Biogasproduktion im Vergleich zu den klassischen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren. Dies wird zu erhöhten Wachstumsraten in der Biogaserzeugung und damit zu einer Verstärkung der negativen Struktur- und Umweltwirkungen führen. Daher sollte das Förderungsniveau verringert werden.

- Die Aufnahme der Gärresttrocknung in die Positivliste des EEG führt lediglich zu Mitnahmeeffekten beim KWK-Bonus. Der Beitrag zu einem effizienten Nährstoffexport aus der Region ist jedoch gering. Weiterhin reduziert sich durch die Trocknung von Gärresten nicht der fossile Energieeinsatz. Vielmehr wird der Gesamtenergieverbrauch erhöht. Daher sollte die Gärresttrocknung aus der Positivliste gestrichen werden.
- Mit dem Güllebonus verfolgt die Politik das Ziel, den Einsatz von Gülle zu fördern. Ein höherer Gülleeinsatz ist klimapolitisch prinzipiell zu begrüßen (Stichwort: Vermeidung von Methan- und Ammoniakemissionen). Allerdings führt die derzeitige Form des Güllebonus lediglich zu einem Einsatz von etwa 30 % Gülle. Hierbei werden nur etwa 5 % der Energie aus der Gülle gewonnen, was lediglich auf einen geringen klimapolitischen Nutzen schließen lässt. Da ein 30 %-iger Gülleanteil den Betrieben in der Regel kostenfrei zur Verfügung steht, können diese den Güllebonus auf die maximale Zahlungsbereitschaft für die Rohstoffe bzw. Fläche umlegen und ihre Wettbewerbsfähigkeit am Rohstoff- bzw. Flächenmarkt erhöhen. Daher sollte der Güllebonus abgeschafft werden. Stattdessen sollte ein bestimmter Mindestanteil Gülle als Vorraussetzung für die Gewährung des NawaRo-Bonus eingeführt werden.
- Aufgrund der Flächenkonkurrenz durch die Biogasproduktion sollte die Vergütung von Strom aus pflanzlichen Rohstoffen prinzipiell überdacht werden. Stattdessen sollte die Förderung aus Rest- und Abfallstoffen, wie Gülle, beschränkt werden. Dies würde nicht nur die Flächenkonkurrenz beseitigen, sondern gleichzeitig zu einer deutlich höheren klimapolitischen Effizienz führen (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 154).
- Die klimapolitisch positiv zu bewertende energetische Nutzung von Stroh und Hackschnitzel (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 154) ist, anders als die Verstromung von Biogas, nur in Zusammenhang mit einer hohen Wärmeabnahme wirtschaftlich zu realisieren. Der wirtschaftliche Anreiz, derartige Anlagen zu realisieren, hängt somit stark vom fossilen Wärmepreis ab. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Energiesteuern im Wärmebereich (Heizöl, Erdgas) anzuheben.

10 Zusammenfassung

Die Erzeugung von Energie aus Biomasse expandiert derzeit in Deutschland. Das starke Wachstum ist vor allem auf die Förderung der Bioenergie durch die Politik zurückzuführen. Die hohe Förderung hat in Deutschland dazu geführt, dass auf mehr als 10 % der landwirtschaftlichen Fläche nachwachsende Rohstoffe angebaut werden. Trotz dieser politisch gewollten Entwicklung vermehrt sich die Kritik an der derzeitigen Förderung. Neben der geringen klimapolitischen Effizienz wird vor allem die Nutzungskonkurrenz gegenüber der klassischen landwirtschaftlichen Produktion sowie dem Naturschutz kritisiert. Dabei werden negative Auswirkungen auf die deutsche Agrarstruktur befürchtet.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel des Projektes, die agrarstrukturellen und umweltrelevanten Effekte der Bioenergieförderung zu analysieren und Empfehlungen für die Weiterentwicklung der deutschen Bioenergiepolitik zu erarbeiten.

Nach der Einleitung werden im zweiten Kapitel des Berichts die politischen Rahmenbedingungen der Bioenergieförderung dargestellt und die berücksichtigten Rohstoffe zur Bioenergieerzeugung ausgewählt. Aufgrund ihrer geringen Transportwürdigkeit wird davon ausgegangen, dass vor allem folgende Rohstoffe der Bioenergieerzeugung eine regional differenzierte Strukturwirkung entwickeln können:

– Hackschnitzel auf Basis von Kurzumtriebsplantagen,
– Stroh,
– agrarisch produzierte Rohstoffe für Biogasanlagen.

Die nachstehend skizzierten Anlagen wurden als relevante Verfahren zur Bioenergieproduktion mithilfe dieser Rohstoffe identifiziert:

– Anlagen zur Wärme- bzw. zur kombinierten Wärme- und Strombereitstellung auf Basis von Hackschnitzel und Stroh sowie
– Biogasanlagen unterschiedlicher Größe. Abgesehen von der Gaseinspeiseanlage ist für alle Anlagen der Verbrauch von mindestens 30 Masseprozenten Gülle bzw. Hähnchenmist vorgesehen.

In Kapitel 3 wird aus einzelbetrieblicher Perspektive die Wirtschaftlichkeit und – daraus abgeleitet – die möglichen Strukturwirkungen der Biogasförderung analysiert. Dabei sind folgende wesentliche Ergebnisse hervorzuheben:

– Nahezu alle untersuchten Anlagentypen erweisen sich aus der Sicht der Anlagenbetreiber als sehr wirtschaftlich. Im Vergleich zur Situation vor der EEG-Novelle 2009 ist sogar eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit zu konstatieren. Beschränkend für den weiteren Zubau von Anlagen wirkt sich – wenn über-

haupt – die Erfahrung mit den hohen Rohstoffkosten im Zuge der Hausse an den Agrarmärkten in den Jahren 2007/08 aus. Dennoch erscheint es plausibel davon auszugehen, dass die Wachstumsraten beim Anlagenbestand mindestens in der gleichen Größenordnung wie in der Vorperiode liegen dürften.

– Aufgrund des Güllebonus dürften in Zukunft kaum noch Anlagen ohne Gülle konzipiert und betrieben werden. Aufgrund der geringen Energiedichte der Gülle ist üblicherweise dennoch zu erwarten, dass der Gülleeinsatz auf den für den Güllebonus erforderlichen Anteil von 30 % beschränkt bleibt. Da die hierfür benötigte Güllemenge in den meisten Fällen kostenfrei im eigenen landwirtschaftlichen Betrieb zur Verfügung steht, kann der Güllebonus auf die Zahlungsbereitschaft für pflanzliche Rohstoffe umgelegt werden. Folglich steigt die Wettbewerbsfähigkeit der Biogasanlagenbetreiber am Pacht- bzw. Rohstoffmarkt.

– Selbst bei einem Milchpreis von 30 ct/kg FECM ist die Grundrente der Biogaserzeugung mehr als doppelt so hoch wie in der Milchviehhaltung. Daher ist in **Milchviehregionen** mit einer besonders starken Ausdehnung der Biogaserzeugung zu rechnen. Dabei ist zu erwarten, dass sich zunächst die Betriebsleiter für die Biogaserzeugung entscheiden, die zwischen einer Neuinvestition in einen Milchviehstall oder in eine Biogasanlage wählen können, also in abgeschriebenen Ställen wirtschaften. In ausgeprägten Milchviehregionen mit hohen Grünlandanteilen und unmittelbarer Flächenkonkurrenz kommt es jedoch zusätzlich zu einer unfreiwilligen Verdrängung der Milchviehhaltung. Bei anhaltend hoher Biogasförderung wird es hier zunächst zu steigenden Pachtpreisen – und damit steigenden Kosten der Milchproduktion – und dann zu einer Verdrängung der Milchviehhaltung kommen.

– Auch in **Veredelungsregionen** ist von einer starken Ausdehnung der Biogasproduktion auszugehen. Allerdings existiert dort lediglich eine Konkurrenz um Flächen zur Nährstoffdeponierung. Somit werden die Veredelungsbetriebe nicht verdrängt, vielmehr sinken deren Einkommen aufgrund steigender Flächenkosten und wegen des Übergangs in die Gewerblichkeit. Weiterhin wird sich der Nährstoffanfall in diesen Regionen erhöhen und der Anteil der wirtschaftlich exportierbaren Nährstoffe verringern. Diese Entwicklung wird noch durch die zu erwartende „Verflüssigung“ von Hähnchenmist in den Biogasanlagen der Veredelungsregionen verstärkt.

– In **Ackerbauregionen** lässt sich mit einem Übergang zur Biogasproduktion die Grundrente etwas weniger stark steigern als in den Milchvieh- und Veredelungsregionen, sodass hier mit einer etwas langsameren Ausdehnung der Biogasproduktion zu rechnen ist. Ferner bremst die begrenzte Verfügbarkeit von Gülle hier das Wachstum der Biogaserzeugung; ein Transport über bis zu 200 km ist allerdings grundsätzlich wirtschaftlich.

In Kapitel 4 wird die Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung von Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen sowie von Stroh analysiert und Rückschlüsse auf mögliche Strukturwirkungen gezogen. Die Kalkulationen führen zu folgenden Ergebnissen:

- Sowohl auf Basis von Stroh als auch bei Verwendung von Hackschnitzeln existieren Anlagentypen, mit denen sich hohe und teilweise sogar sehr hohe Renditen erwirtschaften lassen.
- Vor diesem Hintergrund scheint es wahrscheinlich, dass es mittel- und langfristig zu einem Zubau von Kurzumtriebsplantagen kommt. Allerdings ist das Unternehmerrisiko der Landwirte vermutlich ein erhebliches Entwicklungshemmnis: Aufgrund der langen Produktionszyklen der KUP ist deren Anlage eine sehr langfristige Investitionsentscheidung, die zudem noch mit dem Risiko behaftet ist, dass das produzierte Produkt „Hackschnitzel“ nur sehr eingeschränkt transportwürdig und handelbar ist.
- Auch eine zunehmende Nutzung von Stroh in größeren KWK-Anlagen (> 1 MW) scheint wahrscheinlich. Aufgrund fehlender Erfahrungen in Deutschland bestehen derzeit jedoch noch Vorbehalte gegenüber der Ausgereiftheit der Anlagentechnik. Dies könnte sich jedoch ändern, sofern erste Projekte, wie das geplante Strohheizkraftwerk in Emlichheim, erfolgreich realisiert werden.
- Für den wirtschaftlichen Betrieb dieser Anlagen ist eine hohe Wärmenutzung notwendig. Somit ist zu erwarten, dass die Anlagen weniger von Landwirten, sondern in der Regel eher von Industriebetrieben mit hohem Wärmebedarf zu realisieren sind. Daher ist mit einer geringeren Verbreitung und somit auch mit geringeren Strukturwirkungen der Anlagen zu rechnen.

Kapitel 5 ist einer ex-post-Analyse der bisher zu beobachtenden Wirkungen des NR-Anbaus auf die Flächennutzung in Deutschland gewidmet. Neben der Zunahme der Rapsfläche im Zusammenhang mit der Biokraftstoffproduktion wird vor allem die Entwicklung der Maisfläche betrachtet. Weiterhin wird die Entwicklung der Grünlandfläche untersucht und schließlich werden Ergebnisse einer detaillierte Flächennutzungsanalyse auf Basis von InVeKoS-Daten aus Niedersachsen vorgestellt. Die folgenden Ergebnisse sind zu nennen:

- Es ist eine Intensivierung der Ackerflächennutzung zu beobachten. Während die Raps- und Maisflächen deutlich zugenommen haben, wurden die Fläche von Sommergetreide, Hülsenfrüchte und die Flächenstilllegung eingeschränkt.
- Der Ausbau der Gärsubstratproduktion auf Maisbasis findet vor allem in der norddeutschen Tiefebene und in Süddeutschland statt, mit Schwerpunkten in Regionen, die bereits 1999 höhere Silomaisanteile an der Ackerfläche aufgewiesen haben.
- Für die Analyse des NR-Anbaus ergibt sich durch die Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung eine neue Referenzsituation, da nicht mehr die ungenutzte Agrarfläche als Alternative zur NR-Produktion angenommen werden kann.

– Durch die Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung und das Auslaufen der Energiepflanzenprämie wird es keine flächenbezogene Förderstatistik zum NR-Anbau mehr geben, was künftige Flächennutzungsanalysen erschweren wird.
– Die Grünlandfläche ist deutlich rückläufig, jedoch gibt es hier regional große Unterschiede und unterschiedliche Triebkräfte.
– Die InVeKoS-Analysen zeigen hohe Zunahmen der Maisanbauanteile am Ackerland zwischen 2005 und 2007 in Betrieben mit Biogas sowie in der Nähe von Biogasanlagen. In Betrieben mit Gärsubstratproduktion wird Grünland verstärkt in Ackerland umgewandelt. Die mit der Biogasproduktion in Zusammenhang stehende Umwandlungsfläche betrug aber nur etwa ein Viertel bis ein Drittel der insgesamt zwischen 2005 und 2007 in Niedersachsen umgewandelten Grünlandfläche.

Kapitel 6 enthält die Beschreibung der Szenarioanalysen mit RAUMIS für das Zieljahr 2019 und die Darstellung und Analyse der Ergebnisse, von denen einige wichtige Punkte genannt seien:

– Die Modellierung dient nicht einer Prognose der künftigen NR-Produktion, vielmehr werden verschiedene Szenarien miteinander verglichen, um die möglichen Wirkungen der NR-Anbauumfänge insbesondere der Gärsubstratproduktion auf Flächennutzung und Produktion abzuschätzen.
– Die Anpassungen der Flächennutzung bei Ausbau der Gärsubstratproduktion betreffen vor allem Getreide, Raps, die freiwillige Flächenstilllegung und sonstiges Ackerfutter.
– Eine deutliche Einschränkung der Tierhaltung ist den Modellergebnisse zufolge nicht zu erwarten, vielmehr werden noch bestehende Intensivierungsreserven genutzt. Die Rinderhaltung wird stärker auf die Grünlandflächen verlagert.

Die Umweltwirkungen des Ausbaus der NR-Produktion werden in Kapitel 7 beleuchtet. Hierbei stehen die flächenbezogenen Wirkungen im Vordergrund, eine Ökobilanzierung wird nicht vorgelegt. Neben den Wirkungen des NR-Anbaus auf Fruchtfolgen, Nutzungsintensität und Nutzungsänderungen, werden Fragen der Gärrestverwertung, der diesbezüglichen düngerechtlichen Regelungen und der Ammoniakemissionen beleuchtet. Ein Abschnitt ist Fragen der Transportkosten gewidmet, die sich auf die räumliche Konzentration der Gärsubstratproduktion und die Gärrestverwertung auswirken. Abschließend werden GIS-basierte Analysen zum Umfang von Acker- und Grünlandflächen in Schutzgebieten und auf sensiblen Standorten vorgestellt. Die Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt impliziert zudem zusätzliche Flächenansprüche in erheblichem Umfang.

In Kapitel 8 wird ein Überblick über die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe gegeben. Während die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe kontinuierlich ausgeweitet wurde, haben sich im Bereich der stofflichen Nutzung in den vergangenen

Jahren nur wenige Produktlinien etabliert. Der Anbauflächenumfang für die stoffliche Nutzung stagnierte im Vergleich zur energetischen Nutzung bei ca. 300.000 ha. Diese Entwicklung erklärt sich einerseits durch den ökonomischen und technologischen Kostenvorteil der erdölbasierten Rohstoffe, aber auch durch die politisch forcierte Förderung der energetischen NR-Nutzung. Um die bestehenden Innovationspotentiale in diesem Bereich zu erschließen, sind vor allem weitere Forschungsanstrengungen notwendig.

Anhand der Schlussfolgerungen werden in Kapitel 9 Handlungsempfehlungen für eine Optimierung der derzeitigen Bioenergieförderung abgeleitet. Im Einzelnen werden folgende Vorschläge gemacht:

- Aufgrund der derzeitig sehr hohen Subventionierung der Biogasproduktion und den damit verbundenen negativen Effekten für die Agrarstruktur wird empfohlen, das Niveau der Förderung deutlich zu reduzieren.
- Die Gärresttrocknung sollte aus der Positivliste des EEG gestrichen werden, da sie beim KWK-Bonus lediglich zu Mitnahmeeffekten führt, jedoch nur einen geringen Beitrag zum effizienten Nährstoffexport leistet und überdies nicht dazu dient, den Einsatz fossiler Energieträger zu reduzieren, sondern den Energieverbrauch zu erhöhen.
- Der Güllebonus sollte in seiner jetzigen Form abgeschafft werden, da bei einem Anteil von 30 % Gülle lediglich etwa 5 % der Energie aus der Gülle gewonnen werden. Somit ist der klimapolitische Nutzen beim Gülleanteil von 30 % als gering einzustufen. Vielmehr ist zu erwarten, dass die Betriebe bei kostenfrei zur Verfügung stehender Gülle die Einnahmen aus dem Güllebonus nutzen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit am Rohstoff- bzw. Flächenmarkt zu erhöhen. Stattdessen sollte der NawaRo-Bonus nur gewährt werden, wenn ein Mindestanteil Gülle eingesetzt wird.
- Zur Verringerung der Flächenkonkurrenz sollte der NawaRo-Bonus für pflanzliche Rohstoffe prinzipiell überdacht werden. Eine Begrenzung der Förderung auf Rest- und Abfallstoffe wie Gülle würde nicht nur die Flächenkonkurrenz beseitigen, sondern gleichzeitig zu einer deutlich höheren klimapolitischen Effizienz führen (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT, 2007: 154).
- Anstatt die Produktion von Strom aus Biogas zu fördern wird empfohlen, die Energiesteuern im Wärmebereich (Heizöl, Erdgas) anzuheben. Bei steigenden Kosten für fossile Wärme würde es nicht nur rentabler, in die bessere Isolierung von Gebäuden und Anlagen zu investieren, es würde sich gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung von Stroh und Hackschnitzeln in KWK-Anlagen noch weiter erhöhen. Das gleiche gilt auch für KWK-Anlagen auf Basis von fossilen Energieträgern. Insgesamt würde auf diese Weise (a) der Energieverbrauch reduziert, (b) die klimapolitisch positiv zu beurteilende Option Stroh- und Hackschnitzel-KWK gefördert und (c) die energie- und klimapolitische Effizienz der Nutzung fossiler Energieträger verbessert.

Literaturverzeichnis

AGROPLAN (2006): Pölking A, Stiepel B, Premke-Kraus M, Will J, Lüdtke S: Bioenergie und Biogasförderung nach dem neuen EEG und ihre Auswirkungen auf Natur und Landschaft.

ALLIANCE ENVIRONNEMENT (2007): Evaluation of the application of cross compliance as foreseen under Regulation 1782/2003. Part II: Replies to Evaluation Questions – 27/7/2007. Im Internet unter: <http://ec.europa.eu/agriculture/eval/reports/cross_compliance/index_en.htm>

BAHRS E, HELD J-H (2007) Steigende Nachfrage auf den Energie- und Agrarrohstoffmärkten – Konsequenzen für die niedersächsische Landwirtschaft, die Bodenmärkte und die Agrarpolitik. Studie gefördert vom Ministerium für ländliche Räume, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Göttingen.

BASF (2008) Chemie-Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen. Vortrag von TIM BALENSIEFER (BASF) zum DBU-Fachgespräch: Stoffliche Nutzung von Abfallstoffen aus der Landwirtschaft am 21. und 22. Oktober 2008, Veranstalter: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück

BAUER C, LEBHUHN M, GRONAUER A (2009) Mikrobiologische Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. http://www.lfl.bayern.de/arbeitsschwerpunkte/as_biogas/12229/, Abrufdatum: 24.02. 2010

BÄUERLE H (2008) Die Agrar- und Ernährungswirtschaft in Niedersachsen – Bedeutende Wirtschaftsfaktoren im Norden. Weiße Reihe, Band 32, Hochschule Vechta

BECKMANN G (2006) Regionale Potentiale ausgewählter biogener Reststoffe. http://www.bbr.bund.de/nn_23470/DE/Veroeffentlichungen/IzR/2006/Downloads/1__2Beckmann,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/1_2Beckmann.pdfAbrufdatum: 15.05.2010

BERATUNGSRING OSTFRIESISCHE KÜSTE (2009) Auswertung der Betriebszweigergebnisse 2009. Unveröffentlichtes Dokument

BFN (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) (2010): Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_energieholzanbau_landwirtschaftliche_flaechen.pdf

BIOGASFORUM (2007) Stand und Perspektiven der Biogasnutzung in Niedersachsen. Biogasforum am Niedersächsischen Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bearbeiter: 3N – Kompetenzzentrum, Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe. Broschüre.

BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT) (2006) Abschätzung der Folgen der Thematischen Strategie zur Verbesserung der Luftqualität für Deutschland. Art der Maßnahmen, deren Wirkungen und Kosten. Hintergrundpapier des BMU Referat IG I 3 - Gebietsbezogene Luftreinhaltung. Stand: März 2006.

BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT) (2007) Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt. Oktober 2007.

BRAUN J, LORLEBERG W, WACUP H (2007) Vorläufiger Bericht zum Projekt „Regionale Struktur- und Einkommenswirkung in NRW“. http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/service_kontakt/archiv/presse2007/presse071220.php, Abrufdatum: 21.06.2009

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV) (2008) Memorandum über die industrielle Nutzung erneuerbarer Ressourcen in der EU, Deutschland, Österreich, Belgien, Finnland, Frankreich, Luxemburg, Spanien. Berlin

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2002) Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft vom 24.07.2002. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/taluft.pdf, Abrufdatum: 23.02.2010

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2010) Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/entw_foerderung_biokraftstoff.pdf, Abrufdatum: 15.05.2010

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2008a): Pressemitteilung von Cornelia Behm MdB, agrarpolitische Sprecherin der Bundestagsfraktion von BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN vom 16. April 2008: Grünlandverluste noch alarmierender als bisher bekannt.

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2008b): Pressemitteilung vom 13. November 2008: Grünlandverluste schreiten beschleunigt voran Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Rheinland-Pfalz haben 5 %-Grenze bereits überschritten.

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2009): Pressemitteilung vom 18. November 2009: Finanzkrise und Grünlandverordnungen bremsen Grünlandschwund.

BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (TAB) (2007) Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachwachsende Rohstoffe“, Arbeitsbericht Nr. 114, Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, Berlin

C.A.R.M.E.N. (2010) Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln, Holzpellets, Heizöl und Erdgas. http://www.carmen-ev.de/dt/energie/images/hackschnitzel/image009.png, Abrufdatum: 01.06.2010.

CLEMENS C (2009) EEG 2009, Neuer Boom – alte Fehler? Erfahrungsbericht aus der Beraterpraxis, Vortrag bei der Jahrestagung des deutschen Buchführungsverbandes am 06.02.2009. http://www.lbv-net.de/mitteilungen/Jahrestagung2009/downloads/5-Clemens.pdf, Abrufdatum: 21.06.2009

CYPRIS C (2000) Positive Mathematische Programmierung im Agrarsektormodell RAUMIS. Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V., Bonn Nr. 313.

DÄMMGEN U, HAENEL H-D, RÖSEMANN C, EURICH-MENDEN B, GRIMM E, DÖHLER H, HAHNE J (2008) Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung. Teilbericht Landwirtschaftliche Emissionen. UFO-Plan-Vorhaben 206 43 200/01. Unveröffentlichter Projektbericht für das UBA.

DEGNER J (2007) Kosten und Arbeitsaufwand der Strohbergung mit Quaderballenpresse bei Feldrandfreilagerung. http://www.tll.de/ainfo/pdf/stro0907.pdf, Abrufdatum: 20.02.2010

DÖHLER H, EURICH-MENDEN B, DÄMMGEN U, OSTERBURG B, LÜTTICH M, BERGSCHMIDT A, BERG W, BRUNSCH R (2002) BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010. Forschungsbericht 29942245/02, UBA-FB 000249, Berlin

DOORNBUSCH R, STEENBLICK R (2007) Biofuels: Is the cure worse than the disease? OECD round table on development. OECD SG/SD/RT(2007)3

DRESCHER B (2009) Gezielte Vergärung von Gülle. http://www.nlt.de/pics/medien/1_1226670665/VTDrescherMTEnergie.pdf, Abrufdatum: 28.06.2009

DVORAK T, EPPLER U, PETERSEN J-E, SCHLEGEL S, LAASER C (2007): WFD and Bioenergy production at the EU Level. A review of the possible impacts of biomass production from agriculture on water Final version 26.1.2008. Im Internet unter: www.ecologic-events.de/cap-wfd/en/background.htm.

DZIEWIATY K, BERNARDY P, MAIERHOF J, JANSEN S, WELLMANN L (2007) Auswirkungen zunehmender Biomassenutzung (EEG) auf die Artenvielfalt - Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Schutz der Vögel der Agrarlandschaft. Endbericht eines durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekts.

EBMEYER CD (2008) Crop portfolio consumption under shifting output price relations – Analyzed for selected locations in Canada and Germany, Sonderheft 323 des Instituts für Landbauforschung, vTI Braunschweig. http://www.literatur.fal.de/fallitdok_extern/dk040954.pdf, Abrufdatum: 21.06.2009

EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) (2007): Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agri-culture. EEA Technical report 12/2007.

EILERS T (2009) Persönliche Mitteilung Theo Eilers, Landwirtschaftskammer Aurich, November 2009

ELLSIEPEN S (2010) Wettbewerbsfähigkeit von Biogasanlagen in Grünlandregionen. Diplomarbeit. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) (2010) Annual Energy Outlook 2010. http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html, Abrufdatum: 15.05.2010

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2005) 446 endgültig: Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament – Thematische Strategie zur Luftreinhaltung; 21. September 2005.

EVESLAGE J (2009) Ökonomische Untersuchung zur Gülleverwertung in Biogasanlagen mit Gärresttrocknung – Ein Fallbeispiel aus der Veredelungsregion Vechta. Masterarbeit, angefertigt am Institut für Betriebswirtschaft, vTI Braunschweig

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2005) Pflanzen für die Industrie – Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Gülzow: 4. überarb. Auflage

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2006) Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow: 1. Auflage.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2007) Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Gülzow: 2. Auflage

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2007) Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie. Gülzow: 2. überarbeitete Auflage

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2009) BIOGAS-MESSPROGRAMM II. 61 Biogasanlagen im Vergleich. http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_385-messprogramm_ii.html, Abrufdatum: 24.02.2010

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2010) Anbau Nachwachsende Rohstoffe in Deutschland, http://www.bioenegie.de/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2FNR_Anbau_Tabelle_2009_01.jpg&width=800m&height=600m&bodyTag=%3Cbody%20style%3D%22margin%3A0%3B%20background%3A%23fff%3B%22%3E&wrap=%3Ca%20href%3D%22javascript%3Aclose%28%29%3B%22%3E%20|%20%3C%2Fa%3E&md5=1475c2707454112085ee10e4266ab8fb, Abrufdatum: 10.05.2010

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) Hrsg. (2006) Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_254marktstudie_2006.pdf

FOOD AND AGRICULTURAL POLICY RESEARCH INSTITUTE (FAPRI) (2008) U.S. and World Agricultural Outlook. http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2008/tables/1CommPricesTable.pdf, Abrufdatum: 18.05.2008

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2008) The state of food and agriculturr 2008. Biofuels: prospects, risks and opportunities. . ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100e/i0100e.pdf, Abrufdatum: 20.01.2010

FREIBAUER A, ROUNSEVELL M, SMITH P, VERHAGEN A (2004) Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma 122, 1-23.

FREYTAG A (2009) Expertengespräch mit Herrn Freytag, LWK Niedersachsen

FRITSCHE U et. al. (2004) Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biomasse_vorhaben_endbericht.pdf, Abrufdatum: 20.06.2010

GAY S H, OSTERBURG B, SCHMIDT T G (2004) Szenarien der Agrarpolitik: Untersuchungen möglicher agrarstruktureller und ökonomischer Effekte unter Berücksichtigung umweltpolitischer Zielsetzungen. Endbericht für ein Forschungsvorhaben im Auftrag des SRU. Berlin. Materialien zur Umweltforschung 37 [online]. Im Internet unter: http://www.umweltrat.de/02gutach/downlo02/material/mat_37.pdf

GÖMANN H, KREINS P, BREUER T (2007) Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas? In: Agrarwirtschaft 56 (2007) H. 5/6, 263-271.

GOTTWALD T, GIORGIS T (2010) Recht flüchtige Zukunft. In: Erneuerbare Energien; Ausgabe 7, Juli 2010, 20. Jahrgang, Seite 66-70

HAENEL H-D (Hrsg.) (2010) Berechnung der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2010 für 2008. Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft 334.

HEIßENHBER A, DEMMELER M, RAUH S (2008) Auswirkungen der Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion auf Landwirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 2, 17. Jg., September 2008, S. 23-31.

HEMME-SEIFERT K (2003) Regional differenzierte Modellanalyse der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung in Deutschland. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 261.

HENRICHSMEYER W, CYPRIS C, LÖHE W, MEUDT M, SANDER R, VON SOTHEN F, ISERMEYER F, SCHEFSKI A, SCHLEEF K H, NEANDER E, FASTERDING F, HELMCKE B, NEUMANN M, NIEBERG H, MANEGOLD D, MEIER T (1996) Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BMELF (94 HS 021), vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig.

HERBKE N, DWORAK T, KARACZUN Z (2005): WFD and Agriculture – Analysis of the Pressures and Impacts Broadens the Problem's Scope. Februar 2006.

HIRTH T (2007) Biobasierte Produkte – Nachwachsende Rohstoffe als Ersatz für Erdöl? Die Natur als chemische Fabrik. Vortrag von Thomas Hirth (Fraunhofer-Institut Chemische Technologie, Pfinztal) beim Seminar „Biobasierte Produkte - Nachwachsende Rohstoffe als Ersatz für Erdöl" am 10.03.2007 in Mainz

HIRTH T (2008) Rohstoffe, Technologien und Plattformchemikalien für (biobasierte) Chemieprodukte. In: BRICKWEDDE E, ERB R, HEMPEL M, SCHWAKE M, (2008) Nachhaltigkeit in der Chemie. 13. Internationale Sommerakademie St. Marienthal, Initiativen zum Umweltschutz, Band 70, Deutsche Bundesstiftung Umwelt

HOCHBERG H (2007): Grünland wird wieder gebraucht. In: Top Agrar 10/2007. S. 62-65.

HUFNAGEL J, GLEMNITZ M, WILLMS M (2007): Ökologische Begleitforschung zum Energiepflanzenanbau. In: Symposium Energiepflanzen 2007. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe" Band 31.

IE (2007): Institut für Energetik und Umwelt: Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse (im Auftrag des BMU). Leipzig, 2007.

INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT (IFEU) (2008) Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Materialband O Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Gesamtband.pdf, Abrufdatum: 18.05.2010

INSTITUT FÜR UMWELTGERECHTE LANDBEWIRTSCHAFTUNG/INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG (IFUL/IFEU) (2003) Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Mülheim, Heidelberg

JACOBS A (1998) Paralleler Einsatz von Regionen- und Betriebsgruppenmodellen in der Agrarsektoranalyse. Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Dissertation

JENBACHER (2010): Jenbacher gas engines, Lieferprogramm 2009 Biogas. https://information.jenbacher.com/index.php, Abrufdatum: 15.03.2010

KAMM B (2008) Das Konzept der Bioraffinerie-Produktion von Plattformchemikalien und Materialien. In: BRICKWEDDE E, ERB R, HEMPEL M, SCHWAKE M, (2008) Nachhaltigkeit in der Chemie. 13. Internationale Sommerakademie St. Marienthal, Initiativen zum Umweltschutz, Band 70, Deutsche Bundesstiftung Umwelt

KEYMER U (2009) Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen unter neuen Rahmenbedingungen. In: KTBL (Hrsg.) Die Landwirtschaft als Energieerzeuger. KTBL-Tagung vom 4. bis 5. März 2009, Darmstadt: KTBL, S. 268-279

KUES R (2009) Expertengespräch mit Rainer Kues, LWK Niedersachsen, Zeigstelle Cloppenburg

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2005) Faustzahlen für die Landwirtschaft. Darmstadt: KTBL. 13. Auflage

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2005) Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Darmstadt: KTBL. 1. Auflage

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2008) Betriebsplanung Landwirtschaft.. Darmstadt: KTBL. 21. Auflage

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2009) Faustzahlen Biogas.. Darmstadt: KTBL. 2. Auflage

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2009a) Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas. http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=DE6A1F9FB2CFB17E076DE76AA33D1B33, Abrufdatum: 18.05.2010

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2010) Maschinenkostenrechner. http://daten.ktbl.de/makost/ Abrufdatum: 24.02.2010

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2010a) KTBL Feldarbeitsrechner. http://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html, Abrufdatum 24.03.2010

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2010b) KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner Tier. http://daten.ktbl.de/wkrtier/postHv.html#0, Abrufdatum: 25.04.2010

KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2010c) KTBL Datensammlung 2008/2009. http://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html#Ergebnis, Abrufdatum: 13.05.2010

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (LWK Niedersachsen) (2008) Struktur der Niedersächsischen Landwirtschaft in Zahlen. Agrarstatistisches Kompendium 2008. Oldenburg: LWK

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (LWK Niedersachsen) (2008a) Richtwert Deckungsbeiträge 2008

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (LWK NIEDERSACHSEN) (2009) Nährstoffgehalte in organischen Düngern. http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/340/article/8505.html, Abrufdatum: 18.05.2010

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (LWK NIEDERSACHSEN) (2009a) Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere Juli 2009. http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/340/article/8505.html, Abrufdatum: 24.02.2010

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (LWK NIEDERSACHSEN) (2009b) Biogasanlagen haben sich auf die Fruchtfolge ausgewirkt. http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/betriebumwelt/nav/91/article/13454.html, Abrufdatum: 24.02.2010

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (LWK NIEDERSACHSEN) (2009c) Nährstoffgehalte im Erntegut. http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/340/article/8505.html, Abrufdatum: 25.04.2010

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (LWK NORDRHEIN-WESTFALEN) (2010) Agrarmarkt NRW. http://www.agrarmarkt-nrw.de/getreidemarkt.shtm, Abrufdatum: 05.05.2010

LAURENZ L (2009) Expertengespräch mit Ludger Laurenz, LWK Nordrhein-Westfalen

LAUSEN P (2007) Biogassubstratreste Zusammensetzung, Nährstoffvergleich, Düngung. In: LANDPOST, 17. März 2007, S. 32-36

LEIBLE L, ARLT A, FÜRNISS B, KÄLBNER S, KAPPLER G, LANGE S, NIEKE E, RÖSCH C, WINTZER D (2003) Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Wissenschaftlicher Bericht des Forschungszentrums Karlsruhe, http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2003/leua03a.pdf, Abrufdatum: 20.02.2010

LFUG (2006): Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Büro für Umwelt- und Regionalentwicklung; Ingenieurbüro Feldwisch: Vorstudie – Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umweltverträgliche energetische Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen.

LTZ (2008): Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten ihrer geordneten landwirtschaftlichen Verwertung. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe.

LÜHRMANN B (2009) Färsen Aufziehen, Selbst oder spezialisiert und zu welchem Preis? Vortrag. http://www.lfamv.de/extension/download/download.php?file=var/plain_site/storage/original/application/eb5c4d87ece5192fd7ab06e30bccc51f.pdf&filename=Vortrag Jungviehaufzucht Handout Lührmann.pdf&fileid=195095&title=Dummerstorfer Kälber- und Jungrinderseminar - 4. November 2009, Abrufdatum: 28.04.2010

MAJER S, DANIEL J (2008) Einfluss des Gülleanteils, der Wärmesuskopplung und der Gärrestlagerabdeckung auf die Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen. In: KTBL (Hrsg.) (2008) Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger. KTBL-Schriftenreihe 468, 184-193.

MEÓ (2007) Chemisch-technische Nutzung von Nawaro -Ergebnisse der Marktanalyse: Chemisch-technische Nutzung. Vortrag von Matthias von Armansperg auf dem Symposium „Nachwachsende Rohstoffe: Welche Märkte haben Zukunft?“ am 24. Mai 2007 in Berlin

MEYER-MARQUART D, FELDWISCH N (2006) Vorstudie – Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umweltverträgliche energetische Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen – Abschlussbericht. http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/documents/LfUG_Biomasse_Abschlussberichtneu.pdf, Abrufdatum 20.01.2010

NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG (ML) (2009) Bioenergie und Energiepflanzenanbau in Niedersachsen 2009. http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C55032175_L20.pdf Abrufdatum: 24.02.2010

NITSCH H, OSTERBURG B, BUTTLAR CV, BUTTLAR HB VON (2008) Aspekte des Gewässerschutzes und der Gewässernutzung beim Anbau von Energiepflanzen: Ergebnisse eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes/Johnann Heinrich von Thünen-Institut, Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt. http://www.vti.bund.de/de/institute/lr/publikationen/bereich/ab_03_2008_de.pdf, Abrufdatum: 15.05.2010

NLWKN (NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ) (2007) Bst. Aurich: Bioenergie und Grundwasserschutz. Nutzungskonflikte und Zusammenarbeit in Ostfriesland – Praktische Beispiele. Energieeffizienz im Vergleich. Vortrag. Mai 2007 Roskam.

NORDZUCKER (2010) Nordzucker aktuell. Ausgabe 01, März 2010. http://www.nordzucker.de/fileadmin/NordzuckerCorp/Internet_Struktur/Partner_Services/Ruebenanbau/EBV/Rundschreiben-Nordzucker-Aktuell_12010.pdf, Abrufdatum: 05.03.2010

OFFERMANN F, GÖMANN H, KLEINHANß W, KREINS P, LEDEBUR O V, OSTERBURG B, PELIKAN J, SALAMON P, SANDERS J (2010) vTI-Baseline 2009-2019: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Landbauforschung: Sonderheft 333.

OLZEM B (2008) Das aktuelle EEG - Eine Interpretation, 3. Biogas - Fachkongress in Hitzacker am 25. November 2008. http://www.akademie-ee.de/fileadmin/downloads/Vortraege_Biogaskongress_251108/01_Olzem_08-11-25_vortrag_Hitzacker_ol.pdf, Abrufdatum: 21.06.2009

OSTERBURG B (2008) Bestandsaufnahme der N-Bilanzüberschüsse - Status quo, Entwicklungen und 'hot spots'. Agrarspectrum 41, S. 61-73

OSTERBURG B (2010) Wirkungen von Biogasanlagen auf die Flächennutzung in Niedersachsen – eine Analyse von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS). Ergebnisse der Arbeiten im vTI zum Projekt WAgriCo2. Unveröffentlichter Projektbericht.

OSTERBURG B, NITSCH H, LAGGNER A, WAGNER S (2008): Analysis of policy measures for greenhouse gas abatement and compliance with the Convention on Biodiver-sity. MEACAP WP6 D16. Im Internet unter: www.ieep.eu/projectminisites/meacap/index.php

OSTERBURG B, NITSCH H, LAGGNER B, ROGGENDORF W (2009) Auswertungen von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems zur Abschätzung von Wirkungen der EU-Agrarreform auf Umwelt- und Landschaft. Arbeitsberichte der vTI-Agrarökonomie 7/2009. Braunschweig

PARIS Q, HOWITT R E (1996) The Analysis of Ill-Posed Problems in Production Economies. Paper presented at the Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association, San Antonio, Texas, July 28-31, 1996, and at the Congress of the European Association of Agricultural Economists, Edinburgh, Scotland, September 1-7, 1996.

PE (2007) Auswertung von Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung. Literaturstudie ausgeführt von PE INTERNATIONAL, Auftraggeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe

REINHOLD G (2005) Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Biogas bei Einsatz von Ko-Substraten. http://www.tll.de/ainfo/betr0726.htm, Abrufdatum: 05.03.2010

REINHOLD G, ZORN W (2008) Eigenschaften und Humuswirkungen von Biogasgülle. http://www.tll.de/ainfo/pdf/vdlufa/vl08_94f.pdf, Abrufdatum: 24.02.2010

ROEDENBECK I (2004) Bewertungskonzepte für eine nachhaltige und umweltverträgliche Landwirtschaft – Fünf Verfahren im Vergleich. BIOGUM-Forschungsbericht FG Landwirtschaft Nr. 8. Hamburg, Februar 2004.

RÖSCH C, RAAB K, SKARKA J, STELZER V (2007): Energie aus dem Grünland – eine nachhal-tige Entwicklung? Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333.

ROTHERMEL J (2008) Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe – Zwischenbilanz und Ausblick. In: BRICKWEDDE E, ERB R, HEMPEL M, SCHWAKE M (2008) Nachhaltigkeit in der Chemie. 13. Internationale Sommerakademie St. Marienthal, Initiativen zum Umweltschutz, Band 70, Deutsche Bundesstiftung Umwelt

RUMP B (2010) Expertengespräch mit Herrn Dr. Bernhard Rump, LWK Niedersachsen

SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (2007) Klimaschutz durch Biomasse. Hausdruck des Sondergutachtens, Berlin

SCHEFFER F, SCHACHTSCHABEL P (1979) Lehrbuch der Bodenkunde, 10. Aufl., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

SCHIMMELPFENG D (2009) Expertengespräch mit Dirk Schimmelpfeng, Milchviehhalter Landkreis Aurich im November 2009

SCHNAUT G (2008) Biogasanlagen in Niedersachsen – Umweltwirkungen und Landnutzung. Ex-Post-Bewertung von PROLAND NIEDERSACHSEN, Materialband zu Kapitel 10. Braunschweig, November 2008.

SCHÖNE F (2008) Auswirkungen der Flächen und Nutzungskonkurrenz auf die biologische Vielfalt in Deutschland. Maßnahmen zum Erhalt der Biodiversität in der Kulturlandschaft. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 2, 17. Jg., September 2008, S. 60-66.

SCHÜMANN K, ENGEL J, FRANK K, HUTH A, LUICK R, WAGNER F (2010) Naturschutzstandards für den Biomasseanbau. Endbericht März 2010.

SCHWEINLE J, BEMMANN A, FRANKE E (2007) Betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen der Anlage und Nutzung von Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMANN A, FRANKE E (Hrsg.): Tagungsband, 1. Fachtagung Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen, Tharandt, 06.-07.11.2006. Tharandt: TU-Dresden, Institut für internationale Forst- und Holzwirtschaft 2006, S. 139-147

SIMON S, DEMMELER M, HEIßENHUBER A (2007): Bioenergie versus Ökolandbau. Beitrag zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Im Internet unter: http://orgprints.org/9332/.

SPANDAU P (2008) Betriebsplanung unter Vollkosten. www.gruenes-zentrum-lingen.de/download.php?file.../spandau... Abrufdatum: 28.06.2009

SPEZIALBERATUNGSRING FÜR RINDERHALTUNG UND FUTTERBAU AURICH E. V. (2009) Betriebsvergleich Rinderhaltung Milchwirtschaftsjahr 2008/2009. Unveröffentlichtes Dokument

THIERING J (2009) Eine Beurteilung des Wirtschaftsdüngereinsatzes für die Energieerzeugung im Kontext des EEG. Doktorandenseminar. Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung. Universität Göttingen

THOBE P (2008) Kombination von FADN- und IFCN-Datensätzen in der Politikfolgenanalyse – untersucht am Beispiel der EU-Milchmarktpolitik, Dissertation, Göttingen: Fakultät für Agrarwissenschaften

THOMSEN J (2010) Jungviehaufzucht bleibt teuer. In: Landpost 2010. http://lwksh.de/cms/fileadmin/user_upload/Presse/Archiv_2010/PDF_1410_10.04.2010/53-54_Thomsen.pdf, Abrufdatum 10.04.2010

THRÄN D, EDEL M, SEIDENBERGER T, GESEMANN S, RHODE M (2009) Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/DBFZ_Zwischenbericht_Biomassekonkurrenzen.pdf, Abrufdatum: 15.05.2010

TOEWS T (2009) Ökonomie. In: VETTER A, HEIERMANN M, TOEWS T (Hrsg.) Anbausysteme für Energiepflanzen. Frankfurt: DLG, S. 227-286, S. 227-286

TUCH U (2009) Expertengespräch mit Herrn Ulrich Tuch, TRIGENIUS GmbH am 20.10.2009

URBAN B, KRAHL J, MUNACK A, KANNING H, VON HAAREN C (2007) Analyse der Ökobilanz als Methode zur Beurteilung von Auswirkungen des landwirtschaftlichen Anbaus für Biokraftstoffe auf die Biodiversität. Landbauforschungs Völkenrode 4/2007 (57): 419-427.

URBAN W, GIROD K, LOHMANN H, DACHS G, ZACH C (2008) Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse einer Markterhebung 2007-2008, Oberhausen: Fraunhofer UMSICHT http://www.biogaseinspeisung.de/download/2008_UMSICHT_Technologien_und_Kosten_der_Biogasaufbereitung_und_Einspeisung_in_das_Erdgasnetz.pdf

VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (2004) Humusbilanzierung Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf, Abrufdatum: 20.05.2010

VETTER A, HERING TH (2003) Stand der Technik und Erfahrungen bei der Verbrennung von Stroh und Getreide. Thüringer Zentrum Nachwachsende Rohstoffe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Dornburg. http://www.tll.de/ainfo/pdf/verb0403.pdf, Abrufdatum 03.03.2010

VOGT R, GÄRTNER S, MÜNCH J, REINHARDT G, KÖPPEN S (PROJEKTLEITUNG) (2008) Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Endbericht für ein Verbundprojekt gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

VON BRAUN J (2008) Biofuels, International Food Prices, and the Poor. http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/vonbraun20080612.pdf, Abrufdatum: 20.01.2010

WEILAND P (2007) Biogas – Stand und Perspektiven der Erzeugung und Nutzung in Deutschland. In: DAF (Hrsg.). agrar spectrum, Energie aus Biomasse – weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven, Frankfurt a. M.: DLG-Verlag

WENDLAND M, DITTMANN T, GEIGER H (2007): Einsatz als Dünger und Inverkehrbringen der Biogasrückstände. In: Biogashandbuch Bayern. Materialband Kapitel 2.2.7, Stand August 2007.

WERNER A, VETTER A, REINHOLD G (2006) Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. http://www.tll.de/ainfo/pdf/holz1206.pdf, Abrufdatum: 20.04.2010

WGBU (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN) (2008) Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin.

WIEGMANN K, FRITSCHE U R (2008) Energetische Bilanz der Bioenergieerzeugung. In: KTBL (Hrsg.) (2008) Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger. KTBL-Schriftenreihe 468, 126-135.

WINDHORST HW, GRABOWSKY B (2008) Die Bedeutung der Ernährungswirtschaft in Niedersachsen. http://www.ernaehrungswirtschaft.de/index.php?con_cat=33&con_lang=1&sid=n8aotet96cpoc6n7vuhaq12m97, Abrufdatum: 05.03.2010

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT FÜR AGRARPOLITIK (2007) Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/382594/publicationFile/23017/GutachtenWBA.pdf, Abrufdatum: 18.05.2010

WORLD BANK (2010) Commodity Price Data. http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTDECPROSPECTS/0,,contentMDK:21148472~menuPK:538204~pagePK:64165401~piPK:64165026~theSitePK:476883,00.html, Abrufdatum: 18.05.2010

WUPPERTAL INSTITUT (2008) Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse – Auswirkungen der verstärkten Nutzung von Biomasse im Energiebereich auf die stoffliche Nutzung in der Biomasse verarbeitenden Industrie und deren Wettbewerbsfähigkeit durch staatliche induzierte Förderprogramme. Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH und der Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

ZIMMER Y, BERENZ S, DÖHLER H, ISERMEYER F, LEIBLE L, SCHMITZ N, SCHWEINLE J, TOEWS T, TUCH U, VETTER A, DE WITTE T (2008) Klima und energiepolitische Analyse ausgewählter Bioenergie-Linien. http://www.bfafh.de/bibl/lbf-pdf/landbauforschung-sh/lbf_sh318.pdf, Abrufdatum: 20.02.2010

Verordnungen und Gesetze

Erste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (2010) Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1.BImSchV, http://www2.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id=%27bgbl110s0038.pdf%27, Abrufdatum: 15.05.2010

Gesetz zur Neuregelung des Rechts der erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften (2008) http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl108s2074.pdf, Abrufdatum: 22.02.2010

Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (2005) Gasnetzzugangsverordnung – GasNZV. http://www.gesetze-im-internet.de/gasnzv/BJNR221000005.html, Abrufdatum: 21.06.2009

Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (2005) Gasnetzentgeltverordnung – GasNEV. http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gasnev/gesamt.pdf, Abrufdatum: 21.06.2009.

Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Art. 1 d. V zur Neufassung und Änderung von Verordnungen zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (2010), http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/BImSchV_4_1985/gesamt.pdf, Abrufdatum: 24.02.2010

Anhang

Tabelle A1: Investitionen der Biogasanlagen nach Anlagenkomponenten

50 kW Anlage ***95 % Gülleanteil***	Größe		Kosten		Quelle	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten							
Substratlager Silage	626	m³	31	Tsd. €	KTBL 2005	5%	2%
Annahme fest	2	m³	10	Tsd. €	KTBL 2009a	10%	2%
Fermenter	611	m³	67	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	50	kW	202	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	10%	1 ct/kWh
Gärrestlager für Gärrest Mais	146	m³	12	Tsd. €	KTBL 2009a	5%	1%
Abdeckung vorhandenes Güllelager	3.691	m³	64	Tsd. €	IFEU 2008	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung			39	Tsd. €	KTBL 2009	5%	
Gesamtinvestitionen			425	Tsd. €			
Spezifische Investitionen	**8.500**	**€/kW**					
100 kW Anlage ***35 % Gülleanteil***	Größe		Kosten		Quelle	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten							
Substratlager Silage	3.114	m³	158	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	5%	2%
Annahme flüssig	29	m³	15	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	5%	2%
Annahme fest	8	m³	28	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	10%	2%
Fermenter	842	m³	84	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	100	kW	238	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	10%	1ct/kWh
Gärrestlager	726	m³	61	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	1%
Abdeckung vorhandenes Güllelager	520	m³	24	Tsd. €	interpoliert nach IFEU 2008	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung			61	Tsd. €	KTBL 2009	5%	
Gesamtinvestitionen			669	Tsd. €			
Spezifische Investitionen	**6.700**	**€/kW**					
150 kW Anlage ***35 % Gülleanteil***	Größe		Kosten		Quelle	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten							
Substratlager Silage	4.632	m³	206	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	5%	2%
Annahme flüssig	43	m³	17	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	10%	2%
Annahme fest	12	m³	32	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	10%	2%
Fermenter	1.252	m³	116	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	150	kW	274	Tsd. €	KTBL 2009	10%	1 ct/kWh
Gärrestlager	1.080	m³	77	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	1%
Abdeckung vorhandenes Güllelager	774	m³	27	Tsd. €	interpoliert nach IFEU 2008	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung			75	Tsd. €	KTBL 2009	5%	
Gesamtinvestitionen			823	Tsd. €			
Spezifische Investitionen	**5.500**	**€/kW**					

Tabelle A1: Investitionen der Biogasanlagen nach Anlagenkomponenten – Fortsetzung 1

200 kW Anlage ***35 % Gülleanteil***	Größe		Kosten		Quelle	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten							
Substratlager Silage	6.143	m³	252	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	5%	2%
Annahme flüssig	57	m³	19	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	5%	2%
Annahme fest	15	m³	35	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	10%	2%
Fermenter	1.661	m³	147	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	200	kW	331	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	10%	1 ct/kWh
Gärrestlager	1.432	m³	94	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	1%
Abdeckung vorhandenes Güllelager	1.027	m³	30	Tsd. €	interpoliert nach IFEU 2008	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung			91	Tsd. €	KTBL 2009	5%	
Gesamtinvestitionen			1.000	Tsd. €			
Spezifische Investitionen	**5.000**	**€/kW**					
350 kW Anlage ***35 % Gülleanteil***	Größe		Kosten		Quelle	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten							
Substratlager Silage	10.605	m³	391	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	5%	2%
Annahme flüssig	98	m³	24	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	5%	2%
Annahme fest	26	m³	46	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	10%	2%
Fermenter	2.867	m³	240	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	350	kW	503	Tsd. €	KTBL 2009	10%	1 ct/kWh
Gärrestlager	2.471	m³	143	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	1%
Abdeckung vorhandenes Güllelager	1.772	m³	40	Tsd. €	interpoliert nach IFEU 2008	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung			139	Tsd. €	KTBL 2009	5%	
Gesamtinvestitionen			1.526	Tsd. €			
Spezifische Investitionen	**4.400**	**€/kW**					
500 kW Anlage ***35 % Gülleanteil***	Größe		Kosten		Quelle	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten							
Substratlager Silage	14.751	m³	519	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	5%	2%
Annahme flüssig	137	m³	30	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	5%	2%
Annahme fest	37	m³	56	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	10%	2%
Fermenter	3.988	m³	326	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	500	kW	602	Tsd. €	KTBL 2009	10%	1 ct/kWh
Gärrestlager	3.438	m³	188	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	1%
Abdeckung vorhandenes Güllelager	2.465	m³	48	Tsd. €	interpoliert nach IFEU 2008	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung			177	Tsd. €	KTBL 2009	5%	
Gesamtinvestitionen			1.946	Tsd. €			
Spezifische Investitionen	**3.900**	**€/kW**					

Tabelle A1: Investitionen der Biogasanlagen nach Anlagenkomponenten – Fortsetzung 2

1.400 Nm³ Rohgas keine Gülle	Größe		Kosten		Quelle	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten							
Substratlager Silage	61.908	m³	1.981	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	5%	2%
Annahme fest	217	m³	228	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	10%	2%
Fermenter	21.272	m³	1.658	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	2%
Steuertechnik	-		737	Tsd. €	KTBL 2008 KTBL 2009*	5%	2%
Gärrestlager	20.310	m³	981	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung	-		558	Tsd. €	KTBL 2009	5%	
Gesamtinvestitionen Biogaserzeugung	-		6.143	Tsd. €			
Gasaufbereitung	1.400	Nm³	1.999	Tsd. €	interpoliert nach Urban et al. 2008	10%	2%
Netzanschluss/Einspeisung	-		1.010	Tsd. €	interpoliert nach Urban et al. 2008	10%	
BHKWs[1)]	4.500	kW	3.600	Tsd. €	KTBL 2008 und KTBL 2009[2)]	10%	1 ct/kWh
Gesamtinvestitionen	-		12.752	Tsd. €			
Spezifische Investitionen	**9.108**	**€/Nm³**					

1) Es werden 8 500 kW BHKWs betrieben.
2) In KTBL 2009 wird die Steuertechnik nur zusammen mit dem BHKW ausgewiesen. In KTBL 2009 wurde ein Anteil von 22% für die Steuertechnik ermittelt.

Tabelle A2: Berechnung der Logistikkosten der kalkulierten Biogasanlagen

Anlage		50 kW	100 kW	150 kW	200 kW	350 kW	500 kW	1.500 Nm³
Benötigte Menge Maissilage	t	438	2.180	3.243	4.300	7.423	10.326	60.241
Ertrag	t FM/ha	45	45	45	45	45	45	45
benötigte Fläche	ha	10	48	72	96	165	229	1.339
Anteil nutzbare Maisfläche an der Gesamtfläche	%	10	10	10	10	10	10	10
Benötigte Gesamtfläche	ha	97	484	721	956	1.650	2.295	13.387
Radius	km	0,6	1,2	1,5	1,7	2,3	2,7	6,5
Durchschnittliche Transportentfernung (Luftlinie)	km	0,4	0,9	1,1	1,2	1,6	1,9	4,6
Faktor für Straßenverlauf		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Durchschnittliche Transportentfernung (Straße)	km	0,6	1,3	1,6	1,8	2,4	2,8	6,9
Ernte- und Transportkosten Maissilage	€/t	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,8
Ausbringungskosten Gärrest	€/m³	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,8

Quelle: Eigene Berechnung nach KTBL (2010a).

Tabelle A3: Nährstoffbilanz des typischen Milchviehbetriebes

N-Zufuhr aus Wirtschaftsdüngern			**N***	
N-Anfall Milchkühe (8.000 kg, Grünlandbetrieb)	kg/a		11.220	
N-Anfall Färsen (0-27 Monate, Grünlandbetrieb)	kg/a		5.026	
Summe N-Anfall aus Wirtschaftsdüngern	kg/a		16.246	
Bewirtschaftete Fläche	ha		95	
N aus Wirtschaftsdüngern je ha LF	kg/ha		171	
Erforderliche Grünlandfläche für 230 kg N Obergrenze	ha		2	
Nährstoffzufuhr aus Wirtschaftsdüngern		**N****	**P_20_5**	**K_2O**
Milchkühe (8.000 kg, Grünlandbetrieb)	kg/a	7.884	4.150	16.500
Färsen (0-27 Monate, Grünlandbetrieb)	kg/a	2.827	1.508	5.913
Gesamte Nährstoffzufuhr aus Wirtschaftsdüngern	kg/a	10.711	5.658	22.413
Nährstoffzufuhr aus Mineraldünger				
Mais	kg/a	888	510	-
Grassilage	kg/a	4.064	-	-
Weide	kg/a	2.579	-	-
Gesamte Nährstoffzufuhr aus Mineraldünger	kg/a	7.531	510	-
Nährstoffabfuhr von den Flächen				
Mais	kg/a	3.383	1.414	4.014
Grassilage	kg/a	8.047	2.874	8.622
Weide	kg/a	6.812	2.433	7.299
Gesamte Nährstoffabfuhr Flächen	kg/a	18.242	6.721	19.934
N-Überschuss /-defizit	kg/a	-	-553	2.479
	kg/ha	-	-6	26

* Nach Abzug von 15% Stall- und Lagerungsverlusten.

** Nach Abzug von 15% Stall und Lagerungsverlusten, 15% Ausbringungsverluste, 60% Weideverluste.

Quelle: Eigene Berechnung nach LWK Niedersachsen (2010); Düngeverordnung (2007).

Tabelle A4: Investitionen der 200 kW Anlagen mit und ohne Hähnchenmist in der Veredelungsregion

200 kW Anlage ***35 % Gülle mit Hähnchenmist***	Größe		Kosten		Quelle	Weitere Angaben	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten								
Substratlager Silage	5.439	m³	231	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	Y=31x+61.908	5%	2%
Annahme flüssig	50	m³	18	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	Y=137x+10.980	5%	2%
Annahme fest	14	m³	34	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	Y=947x+20.971	10%	2%
Fermenter	1.601	m³	143	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	Y=77x+19.648	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	200	kW	331	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	Y=1.148x+101.510	10%	1 ct/kWh
Gärrestlager	2.130	m³	126	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	Y=47x+26.614	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung	-		88	Tsd. €	KTBL 2009	10%iger Aufschlag	5%	
Gesamtinvestitionen	-		971	Tsd. €				
Spezifische Investitionen	**4.900**	**€/kW**						
200 kW Anlage ***35 % Gülle ohne Hähnchenmist***	Größe		Kosten		Quelle	Weitere Angaben	AfA	Wartung
Anlagenkomponenten								
Substratlager Silage	5.974	m³	247	Tsd. €	interpoliert nach Koch 2008	Y=31x+61.908	5%	2%
Annahme flüssig	55	m³	19	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	Y=137x+10.980	5%	2%
Annahme fest	15	m³	35	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2008	Y=947x+20.971	10%	2%
Fermenter	1.615	m³	144	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	Y=77x+19.648	5%	2%
BHKW und Steuertechnik	200	kW	331	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	Y=1.148x+101.510	10%	1 ct/kWh
Gärrestlager	2.390	m³	139	Tsd. €	interpoliert nach KTBL 2009	Y=47x+26.614	5%	1%
Zuschlag Planung, Genehmigung	-		91	Tsd. €	KTBL 2009	10%iger Aufschlag	5%	
Gesamtinvestitionen	-		1.006	Tsd. €				
Spezifische Investitionen	**5.000**	**€/kW**						

Quelle: Eigene Berechnung.

Tabelle A5: Annahmen zum Einstreubedarf in der Tierhaltung

	Anteil Misthaltung	Einstreubedarf
Milchvieh	16%	10,0 [1)] kg/TP/d
Kälber	100%	1,5 kg/TP/d
Aufzuchtrinder	33%	2,6 kg/TP/d
Mastrinder	5%	2,6 kg/TP/d
Mutterkühe	93%	14,0 kg/TP/d
Mastschweine	7%	0,8 kg/TP/d
Sauen	24%	1,5 kg/TP/d
Ferkel	24%	0,2 kg/TP/d
Legehennen	0%	0,5 kg/TP/a
Masthähnchen	0%	0,2 kg/TP/a
Pferde	100%	10,0 kg/TP/a

*Einstreumenge Liegefläche bei Güllehaltung 0,5 kg/TP/d.
Quelle: KTBL (2008); Döhler et al. (2002).

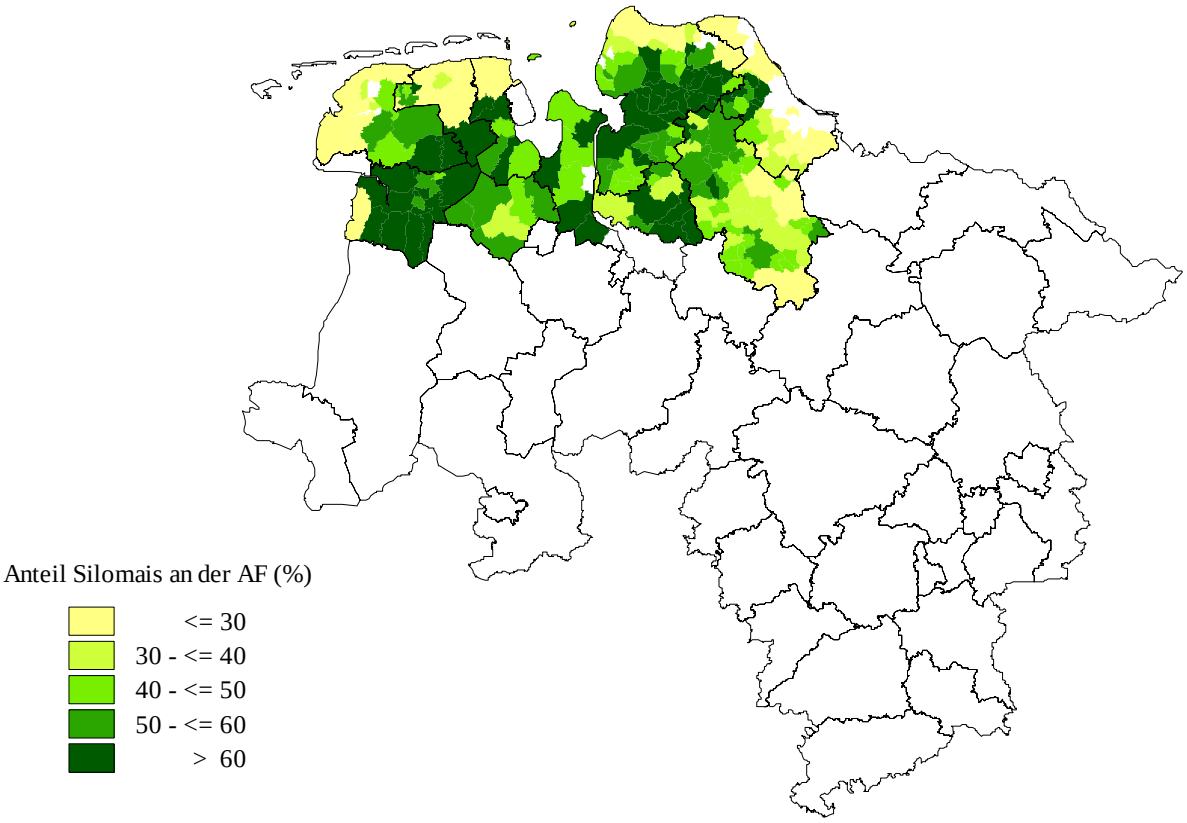
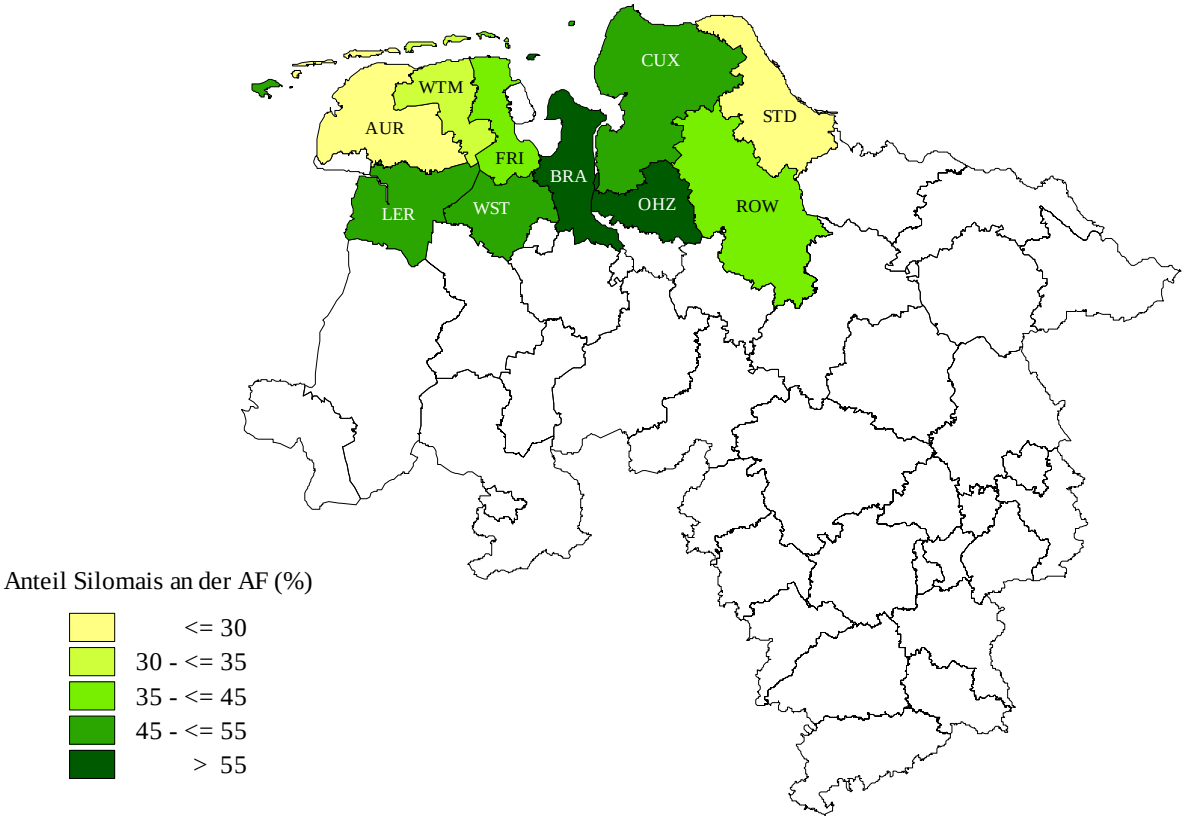
Tabelle A6: Annahmen zum Wirtschaftsdüngeraufkommen und dessen Humuswirkung

Tierkategorie	Gülle- /Mistanfall m³ bzw. t/TP/a	Humuswirkung kg Humus C/t
Kälber <6 Monate	3,00	12
Jungvieh m. <12 Monate	6,70	12
Jungvieh w. <12 Monate	7,60	12
Rinder m. <2 Jahre	9,10	12
Schlachtrind w. <2 Jahre	11,60	12
Zuchtrind w. <2 Jahre	11,60	12
Bullen > 2 Jahre	9,10	12
Schlachtfärsen >2 Jahre	13,30	12
Zuchtfärsen >2 Jahre	13,30	12
Milchkühe	20,00	12
Mutterkühe	16,00	12
Schlachtkühe	16,00	12
Mastschweine	1,50	6
Zuchtsauen	6,00	5
Schafe	0,12	48
Pferde	0,78	48
Legehennen >6 Monate	0,024	42
Junghennen <6 Monate	0,006	42
Masthähnchen	0,007	42

Quelle: LWK Niedersachsen (2009a); VDLUFA (2004).

Tabelle A7: Technische und ökonomische Parameter der Gärresttrocknung

Investition Trockner	120.000	€
Investition Gebäude	50.000	€
Nutzungsdauer Trockner	7	Jahre
Nutzungsdauer Gebäude	20	Jahre
Verdampfungsleistung	1,2	kWh/kg Wasser
Stromverbauch	30.000	kWh/a
Wartungskosten	3	% vom Investment
Schwefelsäureverbrauch	8	kg/t Gärrest
Preis Schwefelsäure	300	€/t
NH_4-Verlust	80	%
Arbeitszeitbedarf	100	h/a
Erlös getrockneter Gärrest	30	€/t

Quelle: Eveslage (2009).

Karte A1: Anteil des Silomais an der Ackerfläche