

Projektleitung

Prof. Dr. Hans Ruppert, Geowissenschaftliches Zentrum (GZG) & IZNE
Georg-August-Universität Göttingen

Prof. Dr. Peter Schmuck, Institut für Nachhaltigkeit und Umweltpolitik
UMC Potsdam & IZNE

Weitere Autoren des Endberichts

Georg-August-Universität Göttingen:

Dr. Swantje Eigner-Thiel, IZNE

Prof. Dr. Walter Girschner, Soziologisches Seminar & IZNE

PD Dr. Marianne Karpenstein-Machan, IZNE

Dipl.-Kfm. Volker Ruwisch, IZNE

Dipl.-Geowiss. Benedikt Sauer, GZG & IZNE

Hochschule Harz, Wernigerode:

Prof. Dr. Folker Roland, FB Wirtschaftswissenschaften

Förderung

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

im Auftrag des

Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)

Inhaltsverzeichnis	Seite
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	XI
Anlagenverzeichnis	XIV
I. Kurzfassung des Endberichts	1
II. Berichte aus den Fachdisziplinen	6
1. Energiepflanzenbau (M. Karpenstein-Machan)	6
1.1. Herausforderung: Energiepflanzenbau nach ökologischen Leitlinien	6
1.2. Untersuchungsmethoden	8
1.3. Landwirtschaftliche Vorraussetzungen für Energiepflanzenbau in der Gemarkung Jühnde	12
1.3.1. Klima und Boden	12
1.3.2. Flächenausstattung und Viehhaltung der landwirtschaftlichen Betriebe	14
1.4. Umsetzung des Energiepflanzenbaus im Bioenergiedorf Jühnde	15
1.4.1. Fruchtfolgen	15
1.4.2. Arten, Sorten und Mischungen	17
1.4.3. Optimaler Erntetermin	20
1.4.4. Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz	21
1.4.5. Erträge im Energiepflanzenbau	22
1.4.6. Zweikulturnutzung	25
1.5. Energiebilanz	28
1.5.1. Energiebilanz des Energiepflanzenbaus	28
1.5.2. Energiebilanz der Biogasanlage	29
1.6. Fazit	33
1.7. Quellenverzeichnis	34
2. Elementgehalte und Stoffströme (B. Sauer, H. Ruppert)	36
2.1. Ziele	36
2.2. Forschungsvorraussetzungen	36
2.3. Planung und Ablauf des Forschungsvorhabens	37
2.4. Methoden	37

2.5. Ergebnisse	38
2.5.1. Boden und Pflanzen	41
2.5.2. Fermenter	51
2.5.3. Gärrest und Biogasausbeute	59
2.5.4. Gülle	67
2.5.5. Holz und Asche	69
2.6. CO ₂ -Einsparung	71
2.7. Fazit	72
2.8. Literatur	73
3. Einzel- und regionalwirtschaftliche Aspekte (V. Ruwisch, F. Roland)	75
3.1. Einführung	75
3.2. Wärmekunden	77
3.2.1. Anschluss- und Lieferungsverträge	77
3.2.2. Umstellungskosten	77
3.2.3. Wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit	79
3.3. Land- und Forstwirtschaft	82
3.3.1. Landwirtschaft	82
3.3.2. Forstwirtschaft	87
3.4. Betreibergesellschaft	87
3.4.1. Rechtsform und Mitgliederstruktur	87
3.4.2. Investition und Finanzierung	89
3.4.3. Entwicklung der Wirtschaftlichkeit	90
3.4.4. Wirtschaftsjahr 2007	93
3.5. Regionale Wirtschaftskreisläufe – Wertschöpfung	95
3.5.1. Investitionsphase	95
3.5.2. Laufender Geschäftsbetrieb	96
3.5.3. Weitere regionalwirtschaftliche Auswirkungen	97
3.6. Modellierung zur Übertragbarkeit des Jühnder Modells	97
3.7. Fazit	105
3.8. Literatur	105
4. Psychologie (S. Eigner-Thiel)	106
4.1. Ziele und Vorstellung der Methodenkombination	106
4.2. Studie 1: Fragebogenerhebung	107
4.2.1. Methode der Fragebogenerhebung	107
4.2.2. Ergebnisse der Fragebogenerhebung	111
4.2.3. Fazit und Diskussion der Ergebnisse von Studie 1	130
4.3. Studie 2: Mündliche Interviews	132

4.3.1. Ziele	132
4.3.2. Methode Studie 2	133
4.3.3. Ergebnisse von Studie 2	135
4.4. Fazit aus den Ergebnissen der Fragebögen und den Interviews zusammengenommen	149
4.5. Literatur	149
5. Soziologie (P. Schmuck, W. Girschner).....	151
5.1. Partizipative Planung – Gestalterische Tätigkeiten in der Umsetzungs- und Etablierungsphase	151
5.1.1. Begleitung der technisch-organisatorischen Inbetrieb- nahme unter Einbeziehung der Dorfbevölkerung	151
5.1.2. Interner Transfer: Erschließung anderer Themenfelder im Bioenergie-dorf wie Ernährung, Weiterqualifikationen	154
5.1.3. Externer Transfer: Vermittlung der partizipativen Planungsgestaltung in anderen Dörfern in Deutschland und im Ausland	158
5.2. Forschungsarbeiten	159
5.2.1. Qualitative Interviews mit den an Planung und Bau beteiligten Ingenieuren	159
5.2.2. Qualitative Interviews mit den aktiven Jühndern	162
5.2.3. Teilnehmende Beobachtung in Gremiensitzungen der Jühnde Bioenergie-dorf eG	168
5.2.4. Modellentwicklung	169
5.3. Fazit	174
5.4. Weiterführende Literatur	175
III. Wissenstransfer (V. Ruwisch, M. Karpenstein-Machan)	176
1. Vorträge, Vortragsreihen, Besuchergruppen und Interviews	176
1.1. Vorträge im Inland	176
1.2. Vorträge im Ausland	183
1.3. Vortragsreihen	184
1.4. Betreuung von Besuchergruppen	185
1.5. Interviews für Medien (Zeitschriften, Rundfunk, Fernsehen)	187
2. Informationsmaterialien	188
2.1. Faltblätter, Broschüre, Poster, Leitfaden	188
2.2. Internetauftritt	188
2.3. Film und DVD	189

3. Begleitung von Folgeprojekten	190
3.1. Projekt Landkreis Göttingen	190
3.2. Projekt Stadt Göttingen	191
3.3. Entwicklung von Bioenergiedörfern im Stadtgebiet Uslar (Landkreis Northeim)	191
3.4. Entwicklung von Bioenergiedörfern in Südbaden	192
4. Tagungen	192
4.1. Einweihungstagung	192
4.2. Abschlusstagung	193
5. Publikationen (im Berichtszeitraum 2005 bis 2008)	196

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1.1: Langjährige Mittel der monatlichen Niederschläge und Temperaturen (1960 – 2000, Datenbasis: Niedersächsisches Bodeninformationssystem) im Vergleich mit den monatlichen Niederschlägen und Temperaturen in den Jahren 2005 – 2007, Wetterstation Göttingen	12
Abb. 1.2 Ertragsfähigkeit der Ackerböden (Ackerzahlbereiche) im Wasserschutzgebiet Tiefenbrunn (GIS-Karte, Datenbasis: Niedersächsisches Bodeninformationssystem)	13
Abb. 1.3: Beispiele für Fruchtfolgen in Marktfruchtbetrieben	17
Abb. 1.4: Beispiele für Fruchtfolgen in Milchviehbetrieben	17
Abb. 1.5: Trockenmasseerträge in t TM/ha und Trockensubstanzgehalte in % im Arten- und Sortenversuch des Jahres 2007 auf Praxisflächen	19
Abb. 1.6: Trockenmasseerträge in t TM/ha und Trockensubstanzgehalte in % in Abhängigkeit vom Erntetermin bei Wintergetreide in Reinsaat und Artenmischungen (Jühnde, 2005 -2006)	20
Abb. 1.7: Beziehung zwischen Ackerzahl und Ertrag bei Wintertriticale als Energiepflanze (Daten: Flächenerträge aus der Gemarkung Jühnde, 2005 bis 2007)	23
Abb. 1.8: Beziehung zwischen Trockensubstanzgehalt in % des Erntegutes und Ganzpflanzenertrag bei Wintertriticale als Energiepflanze (Daten: Flächenerträge aus der Gemarkung Jühnde, 2005 bis 2007)	24
Abb. 1.9: Beziehung zwischen Ackerzahl und Ertrag bei Silomais als Energiepflanze (Daten: Flächenerträge aus der Gemarkung Jühnde, 2005 bis 2007)	24
Abb. 1.10: Die Klassifizierung der nutzbaren Feldkapazität (NFK) der Ackererschläge im Wasserschutzgebiet Tiefenbrunn (GIS-Karte, Datenbasis: Niedersächsisches Bodeninformationssystem)	27
Abb. 1.11: Aufteilung des Energiebedarfs für Anbau, Ernte und Einsilierung der Silage	28
Abb. 1.12: Energieinput/Output-Bilanzen der Hauptkulturen Silomais und Triticale	29
Abb. 1.13: Kumulierter Energieverbrauch für Herstellung, Nutzung und die Substratbereitstellung in %	29
Abb. 1.14: Verlauf der produzierten und genutzten Energie/a sowie die Anzahl Betriebsstunden/a des BHKW im Betrachtungszeitraum Januar 2006 bis Februar 2008, hochgerechnet auf eine Lebensdauer von 20 Jahren..	31
Abb. 1.15: Verlauf der Verweilzeit und der Faulraumbelastung in den Zeitintervallen Januar 2006 bis Februar 2008	31
Abb. 1.16: Verlauf des energetischen Wirkungsgrades und der Methanausbeute in den Zeitintervallen Januar 2006 bis Februar 2008	32
Abb. 2.1: In diesem Forschungsprojekt wurden alle farblich markierten Elemente des Periodensystems in den Proben gemessen. Die unterschiedlichen Farben geben die verwendete Messmethode an (Legende unten links in der Abbildung)	39

Abb. 2.2:	Verteilung der 13 Entnahmepunkte der Ackerkrume in der Gemarkung Jühnde	41
Abb. 2.3.1:	Scatterplot Aluminium - Lanthan für alle pflanzlichen Proben	43
Abb. 2.3.2:	Scatterplot Aluminium - Lanthan für alle pflanzlichen Proben (Ausschnittsvergrößerung von Abb. 2.3.1)	44
Abb. 2.3.3:	Scatterplot Aluminium - Lanthan für alle pflanzlichen Proben (Ausschnittsvergrößerung von Abb. 2.3.2)	44
Abb. 2.4:	Scatterplot Titan - Arsen für alle pflanzlichen Proben	45
Abb. 2.5:	Scatterplot Titan – Beryllium für alle pflanzlichen Proben	45
Abb. 2.6:	Scatterplot Titan – Bismut für alle pflanzlichen Proben	46
Abb. 2.7:	Scatterplot Aluminium – Kalium für alle pflanzlichen Proben (Mediane)...	47
Abb. 2.8:	Scatterplot Aluminium – Phosphor für alle pflanzlichen Proben (Mediane)	47
Abb. 2.9:	Scatterplot Aluminium – Stickstoff für alle pflanzlichen Proben (Mediane)	48
Abb. 2.10:	Scatterplot Aluminium – Molybdän für alle pflanzlichen Proben (Mediane)	48
Abb. 2.11:	Scatterplot Aluminium – Eisen für alle pflanzlichen Proben	49
Abb. 2.12:	Gehalte an Trockensubstanz, Bismut und Kohlenstoff von Februar 2006 bis September 2007 in den Fermenterproben aus Jühnde	53
Abb.2.13:	Gehalte an Cadmium, Kupfer und Kalium von Februar 2006 bis September 2007 in den Fermenterproben aus Jühnde	54
Abb. 2.14:	Gehalte an Molybdän, Stickstoff und Phosphor von Februar 2006 bis September 2007 in den Fermenterproben aus Jühnde	55
Abb. 2.15:	Gehalte an Blei, Schwefel und Antimon von Februar 2006 bis September 2007 in den Fermenterproben aus Jühnde	56
Abb. 2.16:	Gehalte an Titan, Thallium und Zink von Februar 2006 bis September 2007 in den Fermenterproben aus Jühnde	57
Abb. 2.17:	Gehalte an Trockensubstanz, Bismut und Kohlenstoff in den Gärrestproben aus Jühnde von März 2006 bis September 2007	62
Abb. 2.18:	Gehalte an Cadmium, Kupfer und Kalium in den Gärrestproben aus Jühnde von März 2006 bis September 2007	63
Abb. 2.19:	Gehalte an Molybdän, Stickstoff und Phosphor in den Gärrestproben aus Jühnde von März 2006 bis September 2007	64
Abb. 2.20:	Gehalte an Blei, Schwefel und Antimon in den Gärrestproben aus Jühnde von März 2006 bis September 2007	65
Abb. 2.21:	Gehalte an Titan, Thallium und Zink in den Gärrestproben aus Jühnde von März 2006 bis September 2007	66
Abb.: 2.22:	Trockensubstanzgehalte in den Güllevorgrubeproben von Februar 2006 bis September 2007	67
Abb.: 2.23:	Titangehalte der Güllevorgrubeproben von Februar 2006 bis September 2007 bezogen auf die Trockensubstanz	68
Abb. 2.24:	Gehalte an Phosphor und Kupfer in den Güllevorgrubeproben von Februar 2006 bis September 2007	69

Abb. 3.1:	Ziel: Win-Win-Situation für die Projektbeteiligten	76
Abb. 3.2:	Anzahl und Art der ersetzten Heizungsanlagen in Jühnde (n=60)	78
Abb. 3.3:	Zeitliche Verteilung der Anschlüsse an das Nahwärmenetz in Jühnde	80
Abb. 3.4:	Sauna statt Heizöltanks	81
Abb. 3.5:	Zufriedenheit mit der Wärmeversorgung aus dem Nahwärmenetz in Jühnde (n=60)	81
Abb. 3.6:	Entwicklung der Einstellung zur Landwirtschaft in Jühnde infolge des Projektes (n=60)	86
Abb. 3.7:	Häufigkeit der Anzahl der gezeichneten Anteile in der Bioenergiedorf Jühnde eG (Gesamtzahl Mitglieder = 194)	89
Abb. 3.8:	Entwicklung der Jahresergebnisse und des Gesamtergebnisses der Bioenergiedorf Jühnde eG	92
Abb. 3.9:	Aufwendungen der Bioenergiedorf Jühnde eG in 2007	94
Abb. 3.10:	Verlegung des Nahwärmenetzes in Jühnde durch zwei Firmen aus Einbeck	95
Abb. 4.1:	Geschlechterverhältnis der Stichprobe „identische Ausfüller 2001/2007“ über beide Dörfer	112
Abb. 4.2:	Geschlechterverhältnis der „identischen Ausfüller 2001/2007“, differenziert nach Dörfern	112
Abb. 4.3:	Geschlechterverhältnis der gesamten Ausfüller 2007, differenziert nach Dörfern	113
Abb. 4.4:	Schulabschlüsse der Stichprobe „identische Ausfüller 2001/2007“ über beide Dörfer	113
Abb. 4.5:	Schulabschlüsse der Stichprobe „identische Ausfüller 2001/2007“ für Jühnde und das Kontrolldorf getrennt betrachtet	114
Abb. 4.6:	Berufe der Stichprobe „identische Ausfüller 2001/2007“ über beide Dörfer	114
Abb. 4.7:	Berufe der Stichprobe „identische Ausfüller 2001/2007“ für Jühnde und das Kontrolldorf getrennt betrachtet	115
Abb. 4.8:	Mittelwerte des Wir-Gefühls in beiden Dörfern zu den Erhebungszeitpunkten 2001 und 2007 (Skalenwerte von 0 bis 4)	115
Abb. 4.9:	Mittelwerte des Wohlbefindens in beiden Dörfern zu den Erhebungszeitpunkten 2001 und 2007 (Skalenwerte von 0 bis 5)	116
Abb. 4.10:	Mittelwerte der ethischen Überzeugung in beiden Dörfern zu den Erhebungszeitpunkten 2001 und 2007 (Skalenwerte von 0 bis 4)	116
Abb. 4.11:	Mittelwerte der Ortsidentität in beiden Dörfern zu den Erhebungszeitpunkten 2001 und 2007 (Skalenwerte von 0 bis 4)	117
Abb. 4.12:	Mittelwerte des Umweltverhaltens in beiden Dörfern zu den Erhebungszeitpunkten 2001 und 2007 (Skalenwerte von 0 bis 4)	118
Abb. 4.13:	Mittelwerte der Selbstwirksamkeitsüberzeugung in beiden Dörfern zu den Erhebungszeitpunkten 2001 und 2007 (Skalenwerte von 0 bis 4)	118

Abb. 4.14:	Antworten auf die Aussage „Ich meine, dass ich etwas für den Klimaschutz tun kann“ (in Prozent, dargestellt für Jühnde und das Kontrolldorf für die Jahre 2001 und 2007).....	119
Abb. 4.15:	Wahrgenommene Vorteile von Atomenergie 2007 aus Jühnde und dem Kontrolldorf	121
Abb. 4.16:	Wahrgenommene Nachteile von Atomenergie 2007 aus Jühnde und dem Kontrolldorf	122
Abb. 4.17:	Wahrgenommene Vorteile fossiler Energieträger 2007 aus Jühnde und dem Kontrolldorf	122
Abb. 4.18:	Wahrgenommene Nachteile fossiler Energieträger 2007 aus Jühnde und dem Kontrolldorf	123
Abb. 4.19:	Wahrgenommene Vorteile erneuerbarer Energieträger 2007 aus Jühnde und dem Kontrolldorf	124
Abb. 4.20:	Wahrgenommene Nachteile erneuerbarer Energieträger 2007 aus Jühnde und dem Kontrolldorf	125
Abb. 4.21:	Entwicklung der Anteile egozentrischer, anthropozentrischer und biozentrischer Lebensziele in Jühnde und dem Kontrolldorf von 2001 bis 2007	126
Abb. 4.22:	Anschlussquote der befragten Haushalte in Jühnde 2007	127
Abb. 4.23:	Zufriedenheit der befragten angeschlossenen Haushalte, Befragung Jühnde 2007	127
Abb. 4.24:	Gefühl des Isoliertseins der befragten nicht angeschlossenen Haushalte, Befragung Jühnde 2007	128
Abb. 4.25:	Meinung „Jühnde hat als Bioenergiedorf insgesamt gewonnen“, Befragung Jühnde 2007	128
Abb. 4.26:	Meinung „Seit Jühnde Bioenergiedorf ist, fühle ich mich besser ins Dorf integriert“, Befragung Jühnde 2007	129
Abb. 4.27:	Bewertung des Bekanntheitsgrades des Bioenergiedorfs Jühnde, Befragung Jühnde 2007	129
Abb. 4.28:	Bewertung der vielen Besucher des Bioenergiedorfs Jühnde, Befragung Jühnde 2007	130
Abb. III.1:	Teilnehmer der Abschlusstagung am 15.2.2008 in der Universität Göttingen	195
Abb. III.2:	Vorstellung des Leitfadens „Wege zum Bioenergiedorf“ anlässlich der Tagung am 15.2.2008 in der Universität Göttingen	196

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1.1 Flächenausstattung der Jühnder Landwirtschaftsbetriebe (Stand 2007)	14
Tab. 1.2 Anzahl Großvieheinheiten in Jühnde (GV) und Güllepotenzial (Stand 2008)	15
Tab. 1.3: Von den Jühnder Landwirtschaftsbetrieben im Wasserschutzgebiet Tiefenbrunn angebaute Kulturen im Jahr 2001 und 2007 (Daten 2007 nach Gerjes)	16
Tab. 1.4: Triticaleanbau in der Gemarkung: Sorten, Anbauflächen und Erträge in den Jahren 2006 und 2007	18
Tab. 1.5: Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz im Energiepflanzenbau im Vergleich zu Winterweizen und Silomais zu Futterzwecken	22
Tab. 1.6: Flächenbereitstellung für den Energiepflanzenbau in der Gemarkung Jühnde sowie Erträge und Trockensubstanzgehalte in den Jahren 2005 bis 2007	23
Tab. 1.7: Ganzpflanzenerträge in t TM/ha und Trockensubstanzgehalte in Gew. % von sommerannuellen Zweitkulturen, gesät nach Wintertriticale in der Gemarkung Jühnde (2005 und 2006)	27
Tab. 1.8: Ermittelte Praxiserträge, kalkulierte Silageverluste und Energieinput für die Silagebereitung von Triticale und Mais	28
Tab. 1.9: Erntefaktor und energetische Amortisationszeit der Biogasanlage Jühnde für eine Lebensdauer von 20 Jahren	30
Tab. 2.1: Mediane, Minima und Maxima der der Trockensubstanzgehalte und ausgewählter Elemente der beprobten Materialien im Umfeld von Jühnde bezogen auf die Trockensubstanz (n= Probenanzahl; GPS = Ganzpflanzensilage)	40
Tab. 2.2: Elementgehalte der Bodenproben bezogen auf die Trockensubstanz ..	42
Tab. 2.3: Transferfaktoren TF Boden → Pflanze ohne Korrektur auf anhaftendes Material	50
Tab. 2.4: Transferfaktoren Boden → Pflanze nach der Titan-Korrektur auf anhaftendes Material	50
Tab. 2.5: Prozentuale Änderung der Transferfaktoren Boden → Pflanze nach der Titan-Korrektur auf anhaftendes Material (Tab. 2.4) gegenüber den Transferfaktoren ohne Korrektur (Tab. 2.3)	51
Tab. 2.6: Elementinputmengen durch die Pflanzensilage, die Gülle und als Summe in den Fermenter in g pro Tag und kg pro Monat	58
Tab. 2.7: Elementgehalte im trockenen Ausgangssubstrat (Pflanzen + Gülle) und im Gärrest. Grenzwerte der BioAbfV sowie Anreicherungsfaktoren der Elemente: Ausgangssubstrat → Gärrest	59
Tab. 2.8: Elementgehalte vom Ausgangssubstrat, Fermenter und Gärrest sowie die Anreicherungsfaktoren vom Ausgangssubstrat → Fermenter, Fermenter → Gärrest und insgesamt. Der Schrumpfungsfaktor berechnet sich aus den Mittelwerten der Anreicherungsfaktoren (AF) ohne Kohlenstoff	60

Tab. 2.9:	Berechnete Biogas- und Methanausbeuten aus den Fermenter und dem Gärrestelager und Gesamtmenge in m ³ pro Tag gegenübergestellt den im Prozessleitsystem erfassten Mengen (FRIEHE 2007)	61
Tab. 2.10:	Elementgehalte der untersuchten Futtermittelproben (jeweils 1 Probe Mineralfutter, Milchleistungsfutter und CompoPro Soja/Raps) der gülleeliefernden Betriebe, der Rindergülle (n=4), der Schweinegülle (n=1) und der Median aus den Proben der Güllevorgrube (n=44) bezogen auf die Trockensubstanz	68
Tab. 2.11:	Mediane Elementkonzentrationen der Holzhackschnitzel, Rost- und Flugasche bezogen auf die Trockensubstanz, Grenzwerte der AbfklärV sowie die Anreicherungsfaktoren (AF) Rostasche/HHS und Flugasche/HHS	70
Tab. 2.12:	Ergebnisse der Berechnung der Einsparung der jährlichen CO ₂ -Äquivalente im Bioenergiedorf Jühnde	72
Tab. 3.1:	Heizkostensparnis der angeschlossenen Objekte in Jühnde	80
Tab. 3.2:	Preise für die Belieferung mit Energiepflanzen in Jühnde für die Jahre 2008, 2009 und 2010	82
Tab. 3.3:	Preise in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt für die Belieferung mit Energiepflanzen in Jühnde für die Jahre 2005 und 2006	83
Tab. 3.4:	Umrechnung der Frischmassepreise auf Trockenmassepreise	84
Tab. 3.5:	Wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit für die Landwirte im Lieferjahr 2005	84
Tab. 3.6:	Wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit für die Landwirte im Lieferjahr 2006	85
Tab. 3.7:	Wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit für die Landwirte im Lieferjahr 2007	86
Tab. 3.8:	Einkaufsvolumina Holzhackschnitzel, Bioenergiedorf Jühnde eG	87
Tab. 3.9:	Investitionsvolumen Bioenergieanlage Jühnde	89
Tab. 3.10:	Finanzierung Bioenergieanlage Jühnde	90
Tab. 3.11:	Mitglieder- und Anteilsstruktur der Bioenergiedorf Jühnde eG	90
Tab. 3.12:	Jahresergebnisse Bioenergiedorf Jühnde eG	91
Tab. 3.13:	Stromproduktion der Bioenergiedorf Jühnde eG	92
Tab. 3.14:	Erträge der Bioenergiedorf Jühnde eG in 2007	93
Tab. 3.15:	Aufwendungen der Bioenergiedorf Jühnde eG in 2007	94
Tab. 3.16:	Regionale Umsatzwirksamkeit von Ausgaben der Bioenergiedorf Jühnde eG in 2007	96
Tab. 3.17:	Investitionssummen, Nutzungsdauern und berücksichtigte Ersatzinvestitionen	99
Tab. 3.18:	Aufwendungen für Energieträger	100
Tab. 3.19:	Sonstige Aufwandsarten	100
Tab. 3.20:	Daten für die Berechnung des Wärmeumsatzes	101
Tab. 3.21:	Plan-Gewinn- und Verlustrechnung 2008	102
Tab. 3.22:	Entwurf „Neues EEG 2009“, Stand: Februar 2008	103

Tab. 4.1:	Untersuchungsdesign: Gegenüberstellung von Jühnde und dem Kontrolldorf	110
Tab. 4.2:	Interne Konsistenzen der Fragebogenskalen, berechnet nach Cronbachs Alpha	111
Tab. 4.3:	Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeiten (p-Werte) für erhaltene Mittelwertsunterschiede	117
Tab. 4.4:	Angaben auf die Frage „Ich halte Energiesparen für wichtig“ in Prozent	119

Anlagenverzeichnis**Seite**Anlagen Ökonomie

A-31	Wärmevertrag Jühnde
A-32	Fragebogen Umstellungskosten
A-33	Liefervereinbarung Landwirte 2004
A-34	Liefervereinbarung Landwirte 2007
A-35	Annahmen zur ökonomischen Modellierung

Anlagen Psychologie

A-41	Interviewleitfaden 2006
A-42	Fragebogen 2007

Anlagen Soziologie

A-51	Fragen-Leitfaden für Interview mit Ingenieuren
A-52	Fragen-Leitfaden für Interview mit aktiven Jühndern

Anlagen Transfer

A-T1	Poster
A-T2	Broschüre
A-T3	Faltblatt Deutsch
A-T4	Faltblatt Englisch 1
A-T5	Faltblatt Englisch 2
A-T6	Faltblatt Französisch
A-T7	Faltblatt Spanisch
A-T8	Faltblatt Russisch
A-T9	Faltblatt Chinesisch
A-T10	Faltblatt Japanisch
A-T11	Leitfaden

I Kurzfassung des Endberichts

Begleitet durch die Projektgruppe „Bioenergiedörfer“ des Interdisziplinären Zentrums für Nachhaltige Entwicklung der Universität Göttingen (IZNE) ist im Bioenergiedorf Jühnde im südlichen Niedersachsen im Herbst 2005 die Umgestaltung der Strom- und Wärmeversorgung auf der Basis des Energieträger Biomasse abgeschlossen worden. In diesem Leuchtturmprojekt konnte exemplarisch gezeigt werden, dass neue Wege in der Energiebereitstellung begehbar sind, wenn die betroffenen Menschen motivierend einbezogen und damit zu Gestaltern dieser neuen Konzepte werden. Dieser Bericht präsentiert die Ergebnisse der letzten Projektphase, in der die Baumaßnahmen durchgeführt und abgeschlossen wurden und in den Routinebetrieb übergegangen wurde. Der wissenschaftliche Abschluss des Projektes fand Mitte Februar 2008 mit der Veranstaltung „Bioenergiedörfer – Wege zu einer eigenständigen Wärme- und Stromversorgung durch Biomasse“ an der Universität Göttingen, gemeinsam mit dem BMELV und der FNR statt. Zu diesem Anlass wurde auch erstmals der von der FNR und dem BMELV herausgegebene Leitfaden „Wege zum Bioenergiedorf“ (Ruppert et al., 2008) vorgestellt. Die Ergebnisse der ersten Projektphase und der Zwischenphase sind in bereits vorliegenden Endberichten zusammengefasst. Auch in diesem abschließenden Projektteil, der die sozioökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Umstellung der Energieversorgung auf Biomasse in Jühnde zum Inhalt hat, wirkten die Disziplinen der Nutzpflanzenkunde, Bodenkunde, Geowissenschaften, Ökonomie, Psychologie und Soziologie zusammen. Die wichtigsten Ergebnisse der einzelnen Disziplinen sind in diesem Abschlussbericht aufgeführt und werden im Folgenden zusammengefasst:

Energiepflanzenbau

Die mit der Umstellung der Energieversorgung in Jühnde gesteckten ganzheitlichen Ziele der Projektgruppe und die damit verbundenen Herausforderungen, den Energiepflanzenbau umweltschonend und nach ökologischen Leitlinien zu gestalten, sind von den Landwirten in Jühnde weitgehend umgesetzt worden. Die größte Herausforderung bestand darin, auch auf Standorten mit geringer Ertragsfähigkeit in klimatisch ungünstigen Lagen ausreichende Biomassemengen zu produzieren. Dies ist mit winteranuellen Anbaukonzepten und neuen, robusten Getreidearten, die bisher nicht in der

Gemarkung angebaut wurden (Triticale, Roggen, Winterhafer), gelungen. Zu 70 % werden für den Energiepflanzenanbau Winterungen eingesetzt. Zum Teil werden auch Mischungen aus mehreren Arten und Sorten ausgesät. Auf tiefgründigeren Standorten mit hoher Wasserspeicherkapazität ist auch eine Zweikulturnutzung mit Wintergetreide und Sommergetreide lohnenswert, die allerdings noch unzureichend in der Praxis umgesetzt ist.

Insgesamt werden im Vergleich zu konventionellen Kulturen im Energiepflanzenbau weniger Pflanzenschutzmittel eingesetzt und geringere Stickstoffmengen gedüngt, was sich besonders positiv im Wasserschutzgebiet Tiefenbrunn, in dem die Gemarkung Jühnde liegt, auf die Trinkwasserqualität auswirkt. Durch die winterannualen Energiepflanzen wird der Boden im Winter vor Erosion geschützt. Wird Mais angebaut, wird als Vorfrucht in den meisten Fällen eine über Winter abfrierende Winterzwischenfrucht ausgesät, so dass der Mais umwelt- und humusschonend im Mulchsaatverfahren ausgebracht werden kann.

Da ein Großteil der in Jühnde anfallenden Güllemenge vergoren wird, werden weitere positive Effekte für die Umwelt erreicht. Methanemissionen aus Güllelagern werden durch die Vergärung von Frischgülle weitestgehend vermieden, und die Kreislaufwirtschaft mit Wirtschaftsdüngern wird weiter verbessert.

Die Bilanzierung des Energiepflanzenbaus und der Biogasanlage hat gezeigt, dass sowohl der Anbau als auch das Betreiben der Biogasanlage energetisch sehr sinnvoll ist und damit das Gesamtkonzept einen wesentlichen Beitrag zur Schonung der endlichen fossilen Energieträger leistet.

Elementgehalte und Stoffströme

Im umweltgeowissenschaftlichen Forschungsteil wurden erstmals Gehalte einer Vielzahl von Elementen in Boden und Pflanzen, Transferfaktoren (Verhältnis Elementgehalt in der Pflanze zum Elementgehalt im Boden) und Stoffströme der eingesetzten Substrate, des Fermentermaterials und des Gärrestes für eine Biogasanlage erfasst. Es konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche Pflanzen verschiedene Elemente aufnehmen, ein wichtiger Aspekt für die Planung der Versorgung von Biogasanlagen mit wichtigen Nährelementen.

Obwohl die Gülle nur ein Viertel des Trockensubstanzinputs ausmacht, ist der Eintrag an wichtigen Nährelementen durch die eingesetzte Gülle um das bis zu 3,5-fache hö-

her (z. B. für Zink) als der Eintrag durch die Pflanzensilage. Darüber hinaus wurde berechnet, wie hoch das Defizit an Elementinhalten ist, das Fermenter ohne den Einsatz von Gülle gegenüber Fermentern mit Güllefütterung aufweisen.

Durch die Berechnung der Anreicherungsfaktoren der mineralischen Phase im Gärprozess wurden Schrumpfungsfaktoren für die organischen Verbindungen ermittelt, also wie viel organische Substanz nach dem Gärungsprozess übergeblieben ist. Diese liegen vom Ausgangssubstrat zum Fermenter bei 2,5 und vom Fermenter zum Gärrestelager bei 1,2. In der Summe schrumpft das organische Material in der Biogasanlage in Jühnde um etwa den Faktor 3. Über die Schrumpfungsfaktoren, die Stöchiometrie und das ideale Gasgesetz konnten so die Biogas- und Methanausbeuten in m³ pro Tag aufgelöst für den Fermenter und das Gärrestelager berechnet werden. Diese stimmen mit den erfassten Daten aus dem Prozessleitsystem Jühnde (FRIEHE, 2007) sehr gut überein.

Die Rostasche aus dem Jühnder Holzhackschnitzelofen überschreitet die Grenzwerte der Klärschlammverordnung im Gegensatz zur Flugasche nicht. Die Rostasche könnte demnach für Düngezwecke weiter verwertet werden.

Durch die in Jühnde realisierte Strom- und Wärmeerzeugung auf der Basis des erneuerbaren Energieträgers Biomasse werden pro Jahr Emissionen in Höhe von ca. 3.671 t CO₂-Äquivalenten vermieden. Jeder angeschlossene Jühnder Wärmekunde kann hierdurch rechnerisch seine CO₂-Emissionen gegenüber dem durchschnittlichen Bundesbürger um 76% verringern.

Die günstige Klima- und Umweltbilanz durch die Energieumstellung im Bioenergiedorf Jühnde kann somit anschaulich belegt werden. Darüber hinaus wurden neue wissenschaftliche Erkenntnisse über die Zusammenhänge von Elementgehalten, Stoffströmen und der Biogasausbeute gewonnen.

Ökonomie

Gegenstand der ökonomischen Betrachtungen waren die wirtschaftlichen Auswirkungen für die am Projekt beteiligten Wärmekunden, Landwirte und Forstwirte sowie für die Betreibergesellschaft und die Region. Durch die Abkopplung der Wärmepreise von den in den letzten Jahren stark gestiegenen Öl- und Gaspreisen können die Wärmekunden, im Vergleich zu den nicht angeschlossenen Objekten, ihre Häuser heute zu deutlich niedrigeren Kosten heizen und mit Brauchwasser versorgen. Die Landwirte

erzielen über den Energiepflanzenbau dem Winterweizen vergleichbare Einnahmen. Für die Forstwirtschaft hat sich durch die Belieferung der Bioenergieanlage ein neuer Abnehmer aufgetan.

Nach (eingeplanten) Verlusten in der Anlaufphase schreibt die Betreibergesellschaft schwarze Zahlen, und es gibt keine Anzeichen dafür, dass dieses nicht so bleibt. Die Region hat bereits während der Investitionsphase eine Intensivierung der lokalen Wirtschaftskreisläufe erfahren. Auch im Normalbetrieb bleibt der größte Teil der Ausgaben in der Region und schafft dadurch Wertschöpfung und Arbeitsplätze im ländlichen Raum. Eine Förderung von Jühnde, die insgesamt 1,5 Mio € betrug, wäre bei den heutigen Preisen fossiler Energieträger, abhängig vom Einkaufspreis der Energiepflanzen, nicht oder nur noch in weit geringerem Maße nötig.

Psychologie

Im Fokus der Psychologie standen vor allem zwei empirische Untersuchungen, die eine im Jahr 2001 begonnene Längsschnittuntersuchung vervollständigen. Dies waren eine quantitativ auswertbare Fragebogenerhebung im Bioenergiedorf Jühnde sowie in einem Kontrolldorf (Teilnehmerzahl $N = 149 + 137 + 111 + 107 = 504$) und eine qualitativ auswertbare Interviewstudie an 11 Personen aus Jühnde. Untersucht wurden das Wir-Gefühl, die kollektive Selbstwirksamkeitsüberzeugung, das Umweltverhalten, die Ortsidentität, die ethische Einstellung und das Wohlbefinden der Menschen. Zusätzlich wurden im Fragebogen qualitativ auswertbare Fragen zum Energiebewusstsein und -verhalten gestellt.

Die Hypothese, dass sich die genannten Variablen im Bioenergiedorf bei der gesamten Bevölkerung von 2001 bis 2007 signifikant erhöhen, im Kontrolldorf hingegen nicht, erfüllte sich nicht. Ergebnisse waren hingegen, dass die Ortsidentität und die kollektive Selbstwirksamkeitsüberzeugung im Bioenergiedorf zu beiden Erhebungszeitpunkten signifikant höher waren als im Kontrolldorf, was u. a. als Bestätigung der Auswahlkriterien (gute Verwurzelung im Dorf und bereits erfolgreich realisierte Gemeinschaftsaufgaben) gewertet wird. Das Umweltverhalten hat sich in beiden Dörfern innerhalb des Untersuchungszeitraums signifikant erhöht, was einen veränderten Zeitgeist widerspiegelt, nicht jedoch auf die Aktivitäten innerhalb des Bioenergiedorfs zurückzuführen ist. In den ergänzend durchgeführten Interviews mit elf für das Projekt engagierten Personen aus Jühnde (sog. „Extremstichprobe“) deuten sich hingegen Ver-

änderungen insbesondere in den Bereichen Wir-Gefühl / Bekanntschaften, Stolz, Gelerntes, (Lebens-) Zufriedenheit an.

Soziologie

Die soziologischen Arbeiten der Jahre 2005-2007 bezogen sich zum einen auf gestalterische Tätigkeiten in der Umsetzungs- und Etablierungsphase, in der die Prinzipien der partizipativen Planung im Projekt weiter verfestigt werden sollten. Zum anderen wurden die in den vorangegangenen Projektphasen begonnenen Forschungsansätze weitergeführt.

Bei den gestalterischen Tätigkeiten stand zunächst die Begleitung der technisch-organisatorischen Inbetriebnahme unter Einbeziehung der Dorfbevölkerung im Fokus. Im Rahmen von Aktivitäten eines „internen Transfers“ ging es um die Erschließung anderer Themenfelder im Bioenergiedorf wie Ernährung und Weiterqualifikation. Eine Reihe von Aktivitäten diente darüber hinaus dem „externen Transfer“, also der Vermittlung der in Jühnde gewonnenen Erfahrungen aus der partizipativen Planungsgestaltung in andere Dörfer in Deutschland und im Ausland. Aufgrund der hohen Nachfrage insbesondere nach den sozialwissenschaftlich begründeten Erfolgsfaktoren des Projektes Jühnde aus dem Inland wie auch international konnte der externe Transfer erfolgreich vorangetrieben werden.

Die Forschungsarbeiten im engeren Sinn zielten auf die rückblickende Erfassung der Sichtweise der an Planung und Bau beteiligten Ingenieure einerseits und der aktiven Jühnder andererseits, auf die eigene und bei anderen Beteiligten wahrgenommenen Projektmotivation und auf die Bewertung des Planungsprozesses mit seinen unterschiedlichen Komponenten wie Einschätzung von Partizipationseffekten, Konfliktlösungsstrategien und Effizienz der Planungspraxis. Als ein kritischer Problemkreis wurde der Abbruch der Kontinuität in der Zusammenarbeit von Jühndern und der Universitätsprojektgruppe im Jahr 2002 thematisiert, als die Förderung der Projektgruppe unterbrochen worden war. Dies trug nach Einschätzung mehrerer Befragter zur Verschlechterung der Transparenz der Kommunikation bei den Projektbeteiligten bei. Eine durchgängige wissenschaftliche Begleitung ohne Unterbrechungen sollte bei zukünftigen Pilotprojekten sichergestellt werden. Als positives Fazit dieser Interviews kann festgehalten werden, dass das gewählte partizipative Vorgehen mit der anfangs breiten Beteiligung der Dorfbevölkerung nach Einschätzung der Befragten eine Voraussetzung für das Gelingen des Vorhabens gewesen ist.

II Berichte aus den Fachdisziplinen

Teilprojekte: Naturwissenschaften

1. Energiepflanzenbau (Marianne Karpenstein-Machan)

Gliederung

1. Energiepflanzenbau
 - 1.1. Herausforderung: Energiepflanzenbau nach ökologischen Leitlinien
 - 1.2. Untersuchungsmethoden
 - 1.3. Landwirtschaftliche Voraussetzungen für Energiepflanzenbau in der Gemarkung Jühnde
 - 1.3.1. Klima und Boden
 - 1.3.2. Flächenausstattung und Viehhaltung der landwirtschaftlichen Betriebe
 - 1.4. Umsetzung des Energiepflanzenbaus im Bioenergiedorf Jühnde
 - 1.4.1. Fruchtfolgen
 - 1.4.2. Arten, Sorten und Mischungen
 - 1.4.3. Optimaler Erntetermin
 - 1.4.4. Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz
 - 1.4.5. Erträge im Energiepflanzenbau
 - 1.4.6. Zweikulturnutzung
 - 1.5. Energiebilanz
 - 1.5.1. Energiebilanz des Energiepflanzenbaus
 - 1.5.2. Energiebilanz der Biogasanlage
 - 1.6. Fazit
 - 1.7. Quellenverzeichnis

1. Energiepflanzenbau

1.1. Herausforderung: Energiepflanzenbau nach ökologischen Leitlinien

Die Strom- und Wärmeversorgung des Bioenergiedorfes Jühnde erfolgt mit Hilfe einer mit angebauten Energiepflanzen und Gülle beschickten Biogasanlage (Strom und Wärme) und einem Heizwerk auf Holzhackschnitzelbasis. Ca. 80 % der erzeugten

Energie wird dabei aus den Energiepflanzen gewonnen. Damit sind die Energiepflanzen die wichtigsten Energieträger für die Versorgung des Dorfes.

Vor diesem Hintergrund standen in der Nutzpflanzenkunde die Erforschung und Umsetzung eines nachhaltigen und grundwasserschonenden Anbaus von Energiepflanzen in der Jühnder Gemarkung sowie die Beratung der Landwirte im Vordergrund. Denn der Beitrag, den der Energiepflanzenbau zum Klimaschutz leistet, sollte nicht durch Umweltprobleme beim Anbau erkauft werden.

Folgende Kriterien sollten für den Energiepflanzenbau im Bioenergiedorf gelten:

- Artenvielfalt beim Anbau von Energiepflanzen
- Pflanzenschutzmitteleinsatz minimieren
- Nitratauswaschung vermeiden
- Bodenerosion vermeiden
- Kreislaufwirtschaft optimieren
- Energiepflanzenbau ertragreich und energetisch sinnvoll gestalten

Umweltfreundliche und standortangepasste Konzepte zum Anbau von Energiepflanzen sollten in die bereits bestehenden Fruchtfolgen zur Nahrungs- und Futtermittelherzeugung integriert werden. Die Produktionstechnik von Energiepflanzen und bisherige Produktionslinien zur Körnernutzung unterscheiden sich ganz wesentlich. Daher waren die Praxisversuche ein wesentliches und wichtiges Beratungselement. Die Wahl der Kulturarten, Sorten, Saat- und Erntetermine und das Nährstoffmanagement (Rückführung der Rückstände der Biogasanlage) zur Energienutzung musste auf eine hohe Flächenproduktivität für vergärbare Biomasse ausgerichtet werden. Gleichzeitig sollte es gelingen, durch einen grundwasserschonenden Anbau der Biomasse (Reduzierung der Stickstoffdüngung und des Pestizideinsatzes) einen Beitrag zur Verbesserung der Grundwasserqualität in Jühnde zu liefern. Zu diesem Zwecke wurde auch geprüft, ob und auf welchen Standorten die Zweikulturnutzung einen Beitrag zur umweltfreundlichen Biomassebereitstellung in der Gemarkung Jühnde leisten kann. Aufgrund der heterogenen Bodenverhältnisse in der Gemarkung Jühnde sind die Ergebnisse und Erkenntnisse aus drei Jahren großflächigem Energiepflanzenanbau auch auf andere Regionen übertragbar.

Ziel war auch eine möglichst vollständige Verwendung der aus den viehhaltenden Betrieben anfallenden Gülle in der Biogasanlage, denn diese vermindert klima- und

versauerungsrelevante Emissionen, die ansonsten in den Güllelagern anfallen würden. Darüber hinaus werden Nährstoffe rezykliert und Mineraldünger in großen Mengen eingespart.

Energiebilanzen zur Biomassebereitstellung und der Biomassenutzung in der Biogasanlage unter Einbezug der wichtigsten energetischen Randparameter (Energieaufwendungen zur Erstellung der Infrastruktur, für die Produktion und Lagerung der Biomasse, für die Rückführung von Produktionsrückständen; Effizienz der Umwandlung in Wärme und Strom etc.) wurden berechnet und dienen zur Analyse und Optimierung von Produktion und Logistik der Bereitstellung und Nutzung der Biomasse.

1.2. Untersuchungsmethoden

Klimadaten

Die langjährigen Klimadaten von 1960 bis 2000 (Summe der monatlichen Niederschläge und monatliche Durchschnittstemperaturen) aus der Gemarkung Jühnde konnten aus dem niedersächsischen Boden- und Informationssystem (NIBIS) entnommen werden und wurden freundlicherweise vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) bereitgestellt. Die aktuellen Klimadaten der Jahre 2005 bis 2007 stammen aus Aufzeichnungen der Wetterstation Göttingen und wurden mithilfe der langjährigen Mittelwerte auf die Gemarkung Jühnde extrapoliert, da aktuelle Daten von 2007 für den Standort Jühnde noch nicht zur Verfügung standen.

Anbauversuche

Die Versuche wurden auf Praxisflächen in der Gemarkung durchgeführt. Es wurden Großparzellen angelegt, deren Breite an die Maschinenbreite der Praxisgeräte angepasst wurde und die in der Länge die Ausdehnung des Schlages berücksichtigten. Anstelle von Wiederholungen wurden, wie in Praxisversuchen üblich, Standardparzellen an den Rändern und in der Mitte des Versuches eingefügt. Saat, Pflegemaßnahmen und die Ernte wurden mit Praxismaschinen durchgeführt. Die Anbauversuche konnten auf Grund der hierfür verfügbaren begrenzten finanziellen Mittel nur in reduziertem Umfang durchgeführt werden.

Erntermittlungen auf Praxisflächen

Alle Flächen mit Energiepflanzenanbau wurden in den Jahren 2005 bis 2007 zur Ernte erfasst und die schlagspezifischen Ernteerträge ermittelt. Dazu wurden in Kooperation

mit den Wasserschutzbehörden GIS-Karten von der Gemarkung erstellt und jede an die Biogasanlage angelieferte und gewogene Biomassefuhrer dem entsprechenden Schlag zugeordnet. Des Weiteren wurden von jedem Feldschlag Proben für die Trockensubstanzermittlung der Biomassen entnommen. Die Proben wurden nach dem Wiegen ca. 72 Stunden bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend nochmals gewogen. Die schlagspezifischen Ertragsermittlungen ermöglichten in Verbindung mit Boden- und Klimadaten weitergehende Ertragsanalysen.

Auswertungen der produktionstechnischen Daten

Daten zur Produktionstechnik (Saatstärke, Sorte, Düngung, Pflanzenschutz) und zu Fruchtfolgen wurden, so weit vorhanden, aus den Ackerschlagkarteien der Landwirte entnommen. Die ausstehenden Daten weiterer Biomasselieferanten wurden in persönlichen Gesprächen erhoben.

Methodik der Energiebilanzierung

Bei der Bilanzierung des Energiepflanzenbaus wurde mit der detaillierten Auflistung aller Produktionsschritte bei einem Musterbetrieb in Jühnde begonnen, der mit wesentlichen Mengen zur Biomassebereitstellung beiträgt. Alle Daten über die verwendeten Maschinen und Geräte, den Bedarf an Dünge-, Saatgut- und Pflanzenschutzmittelmengen lagen somit vor. Die Schlaggrößen sowie deren Entfernungen zum Hof und Biogasanlage wurden gemittelt.

Die Daten für die Bereitstellungsenergie der Energieträger und der Betriebsmittel wurden alle dem VDLUFA-Standpunkt (VDLUFA, 2001) entnommen. Die Bereitstellungsenergie für Wirtschaftsdünger (Gülle oder Gärsubstrat zur Düngung) wird in der Bilanzierung generell nicht berücksichtigt, der Aufwand für Transport und Ausbringung geht jedoch in die Berechnungen ein.

Der Anteil der menschlichen Arbeitskraft liegt energetisch im Promillebereich und wurde daher vernachlässigt.

Für jeden einzelnen Arbeitsgang auf dem Feld wurden der Verbrauch an Dieselmotorkraftstoff und die zugehörigen Maschinenstunden mit Hilfe des Kalkulationsprogramm aus der KTBL-Datensammlung "Betriebsplanung Landwirtschaft" (KTBL, 2004) ermittelt (bei einer Schlaggröße von 5 ha und mittlerer Bodengüte). Für Transport und Fahrwege ergeben sich aus der Entfernung und der Durchschnittsgeschwindigkeit die