

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Ziel der Arbeit .....	1
2	Stand des Wissens .....	4
2.1	Klimawirkungen der Landwirtschaft und der Milchviehhaltung .....	4
2.2	Grundlagen der Energie- und Treibhausgasbilanzierung .....	4
2.2.1	Okobilanzierung .....	4
2.2.2	Grundlagen der Energiebilanzierung .....	5
2.2.3	Treibhausgasquellen und -bilanzierung .....	6
2.2.3.1	Stoffwechselbedingte Treibhausgasemissionen .....	7
2.2.3.2	Anbaubedingte Treibhausgasemissionen .....	8
2.2.3.3	Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung .....	10
2.2.3.4	Prozessbedingte Treibhausgasemissionen .....	11
2.2.4	Energie- und Treibhausgasäquivalente .....	12
2.2.4.1	Kraftstoffe und Strom .....	12
2.2.4.2	Maschinen und Geräte .....	15
2.2.4.3	Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmittel .....	16
2.2.4.4	Baustoffe, bauliche Anlagen und Gebäude .....	19
2.2.4.5	Futtermittel .....	21
2.2.5	Allokation .....	22
2.3	Energie- und Treibhausgasbilanzen in der Milchviehhaltung .....	22
2.3.1	Energiebilanzen in der Milchviehhaltung .....	22
2.3.2	Treibhausgasbilanzen der Milchviehhaltung .....	24
2.4	Hypothesen .....	26
3	Erarbeitung einer Methodik zur Energie- und Treibhausgasbilanzierung der Milchviehhaltung .....	28
3.1	Das Modell REPRO .....	29
3.2	Aufbau des Moduls Milchviehhaltung .....	29
3.3	Energiebilanzierung und prozessbedingte Treibhausgasemissionen .....	32
3.3.1	Futtererzeugung .....	32
3.3.1.1	Berechnung des fossilen Energieeinsatzes und der prozessbedingten Treibhausgasemissionen in der eigenbetrieblichen Futtererzeugung .....	33
3.3.1.2	Berechnung des produktspezifischen Energieeinsatzes und der produktspezifischen Treibhausgasemissionen in der eigenbetrieblichen Futtererzeugung .....	39
3.3.1.3	Futtermittelzubereitung und -einlagerung .....	41
3.3.1.4	Bewertung von Zukauf- und Importfuttermitteln .....	42
3.3.2	Futter- und Einstreuabfuhr .....	43
3.3.2.1	Lagerstätten .....	44
3.3.2.2	Entnahme und Vorlage .....	46
3.3.3	Haltungssystem .....	46
3.3.4	Entmistung und Wirtschaftsdüngerlagerung .....	48
3.3.5	Milchgewinnung und Milchabfuhr .....	49
3.4	Landnutzungsbedingte Treibhausgasemissionen .....	50

3.4.1	CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Humusdynamik .....	50
3.4.2	Lachgasemissionen .....	50
3.5	Stoffwechselbedingte Treibhausgasemissionen .....	53
3.6	Treibhausgasemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung .....	53
3.7	Bewertung der Nachzucht .....	55
3.8	Allokationsregeln .....	57
3.9	Statistische Auswertung .....	60
3.10	Energetische Kennzahlen .....	61
3.11	Beschreibung der Pilotbetriebe .....	61
3.12	Beschreibung der Modellbetriebe .....	63
3.13	Sensitivitätsanalyse und Szenariorechnungen .....	68
4	Ergebnisse der Modellanwendung in Pilotbetrieben .....	69
4.1	Fossiler Energieeinsatz .....	69
4.1.1	Futtererzeugung .....	71
4.1.2	Futterlagerung .....	79
4.1.3	Haltungssystem .....	81
4.1.4	Entmistung und Düngerlagerung .....	82
4.1.5	Milchgewinnung .....	82
4.1.6	Nachzucht .....	83
4.1.7	Gesamtbetrachtung .....	85
4.2	Treibhausgasemissionen .....	88
4.2.1	Futtererzeugung und Futterlagerung .....	90
4.2.2	Methanemissionen .....	98
4.2.3	Wirtschaftsdüngerlagerung .....	99
4.2.4	Futterlagerung, Haltungssystem und Milchgewinnung .....	100
4.2.5	Nachzucht .....	101
4.2.6	Gesamtbetrachtung .....	103
5	Ergebnisse der Modellanwendung in Modellbetrieben .....	107
5.1	Energieeinsatz .....	107
5.1.1	Futtererzeugung .....	109
5.1.2	Futterlagerung, Haltungssystem, Entmistung und Düngerlagerung und Milchgewinnung .....	110
5.1.3	Nachzucht .....	112
5.1.4	Gesamtbetrachtung .....	113
5.2	Treibhausgasemissionen .....	116
5.2.1	Futtererzeugung .....	119
5.2.2	Methanemissionen aus der Verdauung .....	120
5.2.3	Wirtschaftsdüngerlagerung .....	121
5.2.4	Futterlagerung, Haltungssystem und Milchgewinnung .....	123
5.2.5	Nachzucht .....	123
5.2.6	Gesamtbetrachtung .....	123
5.3	Sensitivitätsanalyse .....	126
5.3.1	Methanemissionen .....	126
5.3.2	Kohlenstoffsequestrierung .....	127
5.3.3	Allokationsverfahren .....	129

5.4	Szenariorechnungen . . . . .	131
5.4.1	Dieseleinsatz in der Futtererzeugung . . . . .	132
5.4.2	Futtermittellagerung . . . . .	132
5.4.3	Nutzungsdauer der Milchkühe . . . . .	133
6	Diskussion . . . . .	135
6.1	Diskussion des methodischen Ansatzes . . . . .	135
6.1.1	Energiebilanz . . . . .	135
6.1.1.1	Modellaufbau . . . . .	135
6.1.1.2	Energieäquivalente . . . . .	135
6.1.1.3	Futtererzeugung . . . . .	136
6.1.1.4	Futtermittellagerung, Wirtschaftsdüngerlagerung, Haltungssystem und Milchgewinnung . . . . .	138
6.1.1.5	Nachzucht . . . . .	139
6.1.2	Treibhausgasbilanz . . . . .	140
6.1.2.1	Treibhausgasemissionen aus dem Einsatz fossiler Energie . . . . .	140
6.1.2.2	Lachgasemissionen im Pflanzenbau . . . . .	141
6.1.2.3	Kohlenstoffsequestrierung . . . . .	142
6.1.2.4	Wiederkäuerverdauung . . . . .	143
6.1.2.5	Wirtschaftsdüngerlagerung . . . . .	143
6.1.3	Allokationsverfahren . . . . .	144
6.1.4	Auswahl der Pilotbetriebe . . . . .	145
6.1.5	Gestaltung der Modellbetriebe . . . . .	146
6.1.6	Datenqualität . . . . .	147
6.2	Ergebnisdiskussion . . . . .	148
6.2.1	Energiebilanz der Milchviehhaltung . . . . .	148
6.2.2	Treibhausgasbilanz der Milchviehhaltung . . . . .	152
6.2.3	Synthese . . . . .	156
6.3	Relevanz der Arbeit . . . . .	157
6.4	Weiterer Forschungsbedarf und Schlussfolgerungen . . . . .	158
7	Zusammenfassung . . . . .	160
8	Summary . . . . .	164
9	Literaturverzeichnis . . . . .	167
10	Anhang . . . . .	183