

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, Dunger 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 produktsspezifischen Energieeinsatzes und der produktsspezifischen Treibhausgasemissionen in der eigenbetrieblichen Futtererzeugung | 39 |
| 3.3.1.3 | Futteraufbereitung und -einlagerung | 41 |
| 3.3.1.4 | Bewertung von Zukauf- und Importfuttermitteln | 42 |
| 3.3.2 | Futter- und Einstreulagerung | 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 Milchlagerung | 49 |
| 3.4 | Landnutzungsbedingte Treibhausgasemissionen | 50 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.4.1 | CO ₂ -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 | Futterration | 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 |