

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
English Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	4
2.1 Datenerhebung und Konsistenzprüfung	4
2.2 Klasseneinteilung und Modellierung von Betriebstypen	7
2.2.1 Klassifizierung der Praxisbetriebe	7
2.2.2 Ableitung der Betriebstypen aus den Betriebsklassen	8
2.3 Grundlagen der ökologischen Bewertung	10
2.3.1 Auswahl der Wirkungskategorien	10
2.3.2 Bezugsgrößen	11
2.3.3 Systemgrenzen und Allokationen	12
2.4 Bewertungsmethodik der globalen Umweltwirkungen	15
2.4.1 Energiebedarf	15
2.4.2 Klimawirkung	18
2.4.3 Flächenbedarf	20
2.5 Bewertungsmethodik der regionalen Umweltwirkungen	21
2.5.1 Ammoniakemissionen und Nitrataustrag	21
2.5.2 Bodenschutz	24
2.5.3 Biodiversität	28
2.5.4 Tiergerechtigkeit	30
2.5.5 Milchqualität	36
2.6 Szenarien	38
2.7 Sensitivitätsanalysen	40
2.8 Technische Umsetzung und statistische Auswertung	42
3 Ergebnisse	43
3.1 Produktionsdaten	43
3.2 Umweltwirkungen	48
3.2.1 Globale Umweltwirkungen	48
3.2.2 Regionale und lokale Umweltwirkungen	56
3.2.3 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Umweltwirkungen	70
3.3 Szenarien	77
3.3.1 Limitierung des GV-Besatzes	78

3.3.2	100% Selbstversorgung	79
3.3.3	50% Weide	79
3.3.4	Weniger als 10% Kraftfutter.....	80
3.3.5	Regionales Futter	80
3.4	Sensitivitätsanalysen	85
3.4.1	Energiebedarf.....	85
3.4.2	Klimawirkung.....	93
3.4.3	Flächenbedarf	98
3.4.4	Ammoniakemissionen und Nitrat austräge.....	100
3.4.5	Bodenschutz, Tiergerechtigkeit, Biodiversität und Milchqualität: Sensitivität des Boniturverfahrens	106
4	Diskussion	110
4.1	Diskussion der Datengrundlage und Methodik.....	110
4.1.1	Betriebsauswahl und Repräsentativität.....	110
4.1.2	Bewertungsmethodik	111
4.2	Diskussion der Umweltwirkungen.....	114
4.2.1	Vergleich der Ökobilanzergebnisse mit Studien anderer Autoren	114
4.2.2	Vergleich der Umweltwirkungen der Betriebstypen	120
4.2.3	Diskussion der Szenarien.....	125
5	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	127
6	Zusammenfassung.....	130
7	Literatur.....	133
8	Anhang	148
8.1	Erhebungsbogen.....	148
8.2	Standard-Produktionsverfahren	152
8.3	Standard-Rationen.....	155
8.4	Zentrale Produktionskennzahlen der Betriebstypen in den Szenarien.....	156
8.5	Ergebnisse der Futtermittelanalysen	157

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konsistenzabgleich zwischen Pflanzenbau und Tierhaltung.....	6
Abbildung 2: Schema des Klassifizierungsprozesses der Praxisbetriebe	7
Abbildung 3: Modellierungsprozess zur Ableitung der Betriebstypen aus den Klassen der Praxisbetriebe	8
Abbildung 4: Schaubild Modellstruktur	41
Abbildung 5: Korrelation zwischen Umstellungsjahr und Fütterungsintensität.....	47
Abbildung 6: Stückkosten der Milcherzeugung in den Betriebstypen (Deittert et al. 2008, eigene Berechnungen).	48
Abbildung 7: Energiebedarf in GJ/1000 kg FPCM: Typwert und Spannweiten der Betriebsklassen. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	49
Abbildung 8: Emissionen klimarelevanter Gase in kg CO ₂ -Äquivalenten je 1000 kg FPCM: Typwert und Spannweiten der Betriebsklassen. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	52
Abbildung 9: Flächenbedarf in Hektar je 1000 kg FPCM: Typwert und Spannweiten der Betriebsklassen. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	55
Abbildung 10: Acker- und Grünlandflächenbedarf in Hektar je 1000 kg FPCM: Typwert und Spannweiten der Betriebsklassen. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U- Test bei $\alpha=0,05$	56
Abbildung 11: Hoftorbilanzsaldo: Typwerte und Spannweiten der Betriebsklassen. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	57
Abbildung 12: Potenzielle Nitratausträge in kg/ha: Betriebstypen und Spannweiten der Betriebsklassen. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	59
Abbildung 13: Ammoniakemissionen in kg NH ₃ /ha: Typwerte und Spannweiten der Betriebsklassen. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	61
Abbildung 14: Boniturnote der Wirkungskategorie Bodenschutz: Typwerte und Spannweite der Betriebsklassen. Normierte Noten mit 10 = Bestnote. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	63
Abbildung 15: Gesamtnote in der Wirkungskategorie Biodiversität: Typwerte und Spannweiten der Betriebsklassen. Normierte Noten mit 10 = Bestnote. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	65
Abbildung 16: Boniturnoten der potenziellen Biodiversität in den Unterkategorien Grünland und Acker: Typwerte und Spannweiten der Betriebsklassen. Normierte Noten mit 10 =	

Bestnote. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$	65
Abbildung 17: Boniturnoten in der Wirkungskategorie Tiergerechtigkeit: Typwerte und Spannweiten in den Betriebsklassen. Normierte Noten mit 10 = Bestnote. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$.	67
Abbildung 18: Boniturnoten in der Wirkungskategorie Milchqualität: Typwerte und Spannweiten in den Betriebsklassen. Normierte Noten mit 10 = Bestnote. Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$.	68
Abbildung 19: Relative Umweltwirkungen der Betriebstypen (normiert: 100% = bester Wert, 0% = schlechtester Wert).....	72
Abbildung 20: UBI-Werte in drei Berechnungsverfahren.....	74
Abbildung 21: Umweltwirkungen eines reduzierten Viehbesatzes im Betriebstyp INT_AB (links) sowie in einem Einzelbetrieb mit einem Ausgangsviehbesatz von 2,0 GV/ha HFF: IST-Zustand (grau) und Szenario (grün).	82
Abbildung 22: Auswirkung einer Steigerung des Eigenfutteranteils auf 100% in den verschiedenen Betriebstypen: IST-Zustand (grau, violett) und Szenario (grün).	83
Abbildung 23: Auswirkungen einer Steigerung der Weidefutteraufnahme auf 50% der Trockenmasse in der Sommerration: IST-Zustand (grau) und Szenario (grün).	83
Abbildung 24: Auswirkungen des Szenarios "<10% Kraftfutter": IST-Zustand (grau, violett) und Szenario (grün). Die Bedingungen des Szenarios sind im Betriebstyp EXT_AB bereits erfüllt und in INT_AB nicht erfüllbar. Für Ackerbaubetriebe in NRW ist daher nur die IST-Situation dargestellt.	84
Abbildung 25: Primärenergiebedarf der Heutrocknung in MJ/dt TM in Abhängigkeit von Trocknungstyp und Einfuhrfeuchte (eigene Berechnungen auf Basis der Werte aus Tabelle 30)	86
Abbildung 26: Energiebedarf der Betriebstypen bei unterschiedlichen Annahmen über die Zukaufsfutterbereitstellung	90
Abbildung 27: Veränderung der Flächennutzungseffizienz bei verschiedenen Annahmen zum Flächenbedarf der Zukaufsfuttermittel.....	99
Abbildung 28: Korrelation zwischen Viehbesatz und Ammoniakemissionen über alle erhobenen Praxisbetriebe.....	103
Abbildung 29: Korrelation zwischen N-Import [kg/ha] und Ammoniakemissionen über alle Praxisbetriebe	104
Abbildung 30: N-Flüsse im ökologisch wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieb: Schematische Darstellung des höheren Emissionsrisikos durch Futtermittelzukauf.	105
Abbildung 31: Veränderung der Boniturnoten für die Wirkungskategorien Biodiversität und Tiergerechtigkeit bei Verwendung nichtstetiger Boniturnoten und stetiger Boniturnoten im Vergleich.....	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über den Erhebungsumfang	5
Tabelle 2: Bestimmungsmethoden wichtiger Merkmale der Betriebstypen.....	9
Tabelle 3: In den Betriebstypen eingesetzte Futtermittel.....	10
Tabelle 4: Überblick über die untersuchten Wirkungskategorien, ihre Einheiten, Indikatoren und Allokationen	14
Tabelle 5: Primärenergieaufwand und Emissionen von CO₂-Äquivalenten für die Nutzung und Bereitstellung von Energieträgern.....	16
Tabelle 6: Primärenergiebedarf der Maschinenbereitstellung (GAILLARD et al. 1997)	16
Tabelle 7: Energiebedarf für den Transport von Futtermitteln (BORKEN et al. 1999)	17
Tabelle 8: Energiebedarf für die Bereitstellung von Zukaufsfuttermitteln.....	18
Tabelle 9: CH₄ - Emissionen aus der Pansenfermentation der Jungtiere.....	19
Tabelle 10: Konversionsfaktoren für die Methanemissionen aus Exkrementen.....	19
Tabelle 11: Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdünger und landwirtschaftlich genutzten Flächen	20
Tabelle 12: Ertragsannahmen für Zukaufsfuttermittel	21
Tabelle 13: Ammoniak-Emissionsfaktoren.....	23
Tabelle 14: Boniturnote Humusbilanz	25
Tabelle 15: Boniturnote Erosion.....	26
Tabelle 16: Bonitur der Bodenverdichtung	28
Tabelle 17: Boniturschema der Wirkungskategorie Biodiversität	30
Tabelle 18: Gründe für die Bewertung des Weidegangs als Indikator für eine hohe Tiergerechtheit in den einzelnen Beurteilungskategorien des Tiergerechtheitsindex nach Sundrum 1994	32
Tabelle 19: Boniturschema für den Wirkungsbereich Tiergerechtheit	36
Tabelle 20: Boniturschema Milchqualität.....	38
Tabelle 21: Liste der variierten Eingabeparameter für die Sensitivitätsanalyse	42
Tabelle 22: Produktionsdaten der modellhaften Betriebstypen. In Klammern: minimaler und maximaler Einzelbetriebs-Median der entsprechenden Betriebsklasse. Kleinbuchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Betriebsklassen bei $\alpha=0,05$ im Whitney-U-Test.	45
Tabelle 23: Fütterung und Haltungssystem der Betriebstypen. In Klammern: minimaler und maximaler Einzelbetriebswert der entsprechenden Betriebsklasse. Kleinbuchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Betriebsklassen bei $\alpha=0,05$ im Whitney-U-Test.	46

Tabelle 24: Reproduktions- und weitere Kennzahlen der Milchviehherden der Betriebstypen	46
Tabelle 25: Erforderlicher täglicher Verzehr von Milchprodukten zur Deckung des Tagesbedarfs an Omega-3-Fettsäuren	70
Tabelle 26: Übersicht über die relativen Umweltwirkungen der Betriebstypen (Kleinbuchstaben bezeichnen Signifikanzklassen im Whitney-U-Test bei $\alpha=0,05$).....	71
Tabelle 27: Faktoren zur Berechnung des gewichteten Umweltbewertungsindex.....	73
Tabelle 28: Korrelationen zwischen zentralen Management- und Umweltparametern für die Praxisbetriebe in NRW: Dargestellt ist das Bestimmtheitsmaß sowie das Vorzeichen der Korrelation: +: positive Korrelation, - negative Korrelation. Werte in Klammern sind nicht signifikant bei $\alpha=0,05$ Praxisbetriebe in NRW)	77
Tabelle 29: Übersicht über die für die Erfüllung der Szenario-Bedingungen relevanten Merkmale der Betriebstypen. Grau hinterlegt: Bedingung des Szenarios wird im IST-Zustand nicht erfüllt.	78
Tabelle 30: Energiebedarf verschiedener Typen von Heutrocknungsanlagen je Liter zu verdunstendem Wasser (edel 2005)	86
Tabelle 31: Beispielhafte Produktionsverfahren für Silomais: Auswirkung unterschiedlicher Arbeitsbreiten bei gleicher Bewirtschaftungsintensität und gleichen Standortbedingungen (KTBL 2003, eigene Berechnungen).....	88
Tabelle 32: Auswirkung von Bewirtschaftungsintensität und Ertrag auf den Energiebedarf je dt TM für ökologisch erzeugten Silomais (bei durchschnittlichen Arbeitsbreiten)	88
Tabelle 33: Energiebedarf für die Erzeugung von Weizen und energieäquivalente Transportentfernungen bei unterschiedlichen Hektarerträgen.....	91
Tabelle 34: Energiebedarf je 1000 kg FPCM für fünf verschiedene Beispielerationen bei einer Milchleistung von 6700 kg FPCM.....	91
Tabelle 35: Methanemissionen aus der Pansenfermentation der Milchkühe in kg CO₂-Äquivalenten je 1000 kg FPCM für fünf verschiedenen Beispielerationen und bei verschiedenen Milchleistungsniveaus	94
Tabelle 36: Lachgasemissionen in kg CO₂-Äquivalenten je 1000 kg FPCM aus der Milchviehhaltung für fünf Beispielerationen und bei verschiedenen Milchleistungsniveaus [ohne Lachgasemissionen bei der Wirtschaftsdüngerausbringung und aus der landwirtschaftlichen Nutzfläche].....	95
Tabelle 37: Klimawirksamen Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten je 1000 kg FPCM bei veränderter Remontierungsrate (<i>ceteris-paribus</i>-Berechnungen bei einer Milchleistung von 6700 kg FPCM, Ration „Ackerbau“).....	96

Tabelle 38: Klimawirksamen Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten 1000 kg FPCM bei verändertem Erstkalbealter (<i>ceteris-paribus</i>-Berechnungen bei einer Milchleistung von 6700 kg FPCM, Ration „Ackerbau“)	97
Tabelle 39: Klimawirksamen Emissionen in kg CO₂-Äquivalenten je Produkteinheit bei bei veränderter Milchleistung – <i>ceteris-paribus</i>-Berechnungen für Standardbetrieb (Ration „Ackerbau“)	98
Tabelle 40: Flächenbedarf in Hektar je 1000 kg FPCM in Abhängigkeit von der Milchleistung und der Rationsgestaltung unter Verwendung von Standarderträgen. In Klammern Relation zu Standard: Ration „Ackerbau“, 6700 kg FPCM.	100
Tabelle 41: Ammoniakemissionen in Abhängigkeit von der Rationsgestaltung und der Ausbringungstechnik. Dunkelgrau hinterlegt: hohes Schadpotenzial. Hellgrau: Mäßiges Schadpotenzial. Weiß: unbedenklich. In Klammern Relation zu Standard: Ration „Ackerbau“	101
Tabelle 42: Ammoniakemissionen und Nitratausträge bei veränderten XP- und nXP-Gehalten in der Grünlandsilage bei den Standardrationen „Ackerbau“ und „Grünland Stall“	102
Tabelle 43: Regressionsformeln als alternative (stetige) Benotung quantifizierbarer Indikatoren der Wirkungsbereiche Biodiversität und Tiergerechtheit ¹	107