

Institut für Landtechnik
der Technischen Universität München
in Weihenstephan

Systemtechnische Behandlung der Ammoniakemission aus Festmist

von

Wieland Krötz

Vollständiger Abdruck der
von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. (AE Keszthely) J. Schön
Prüfer der Dissertation: 1. Priv.-Doz. Dr. G. Englert
2. Univ.-Prof. Dr. J. Friedrich
3. Univ.-Prof. Dr. J. Meyer

Die Dissertation wurde am 17.11.1998 bei der
Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
am 10.02.1999 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis.....	5
	Abbildungsverzeichnis.....	9
	Tabellenverzeichnis.....	14
	Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	15
1	Einleitung und Problemstellung	19
1.1	Umweltbelastung durch Ammoniakemissionen.....	19
1.2	Quellen für Ammoniakemissionen im Bereich der Landwirtschaft	20
1.3	Problemstellung.....	22
2	Stand des Wissens	23
2.1	Behandlung dynamischer Prozesse mit den Methoden der Systemtechnik	23
2.2	Systemmodelle für die NH ₃ -Emission aus Flüssigmist.....	26
2.2.1	Modellierung der Ammoniakemission bei der Broilerhaltung	26
2.2.2	Modellierung der Ammoniakemission aus Schweineflüssigmist	28
2.3	Modellbedingungen in Festmist.....	28
2.3.1	Relevante Ausscheidungsstoffe	29
2.3.2	Modelle von biologischen Prozessen	32
2.3.2.1	Anaerobe und aerobe Stickstoffumsetzungen.....	32
2.3.2.2	Ammonifikation	32
2.3.2.3	Nitrifikation.....	33
2.3.2.4	Michaelis-Menten-Kinetik	34
2.3.2.4.1	Enzymaktivität und pH-Wert	35
2.3.2.4.2	Temperaturabhängigkeit enzymatischer Reaktionen	35
2.3.2.4.3	Wasseraktivität.....	37
2.3.2.5	Reaktionswärme bei biologischen Prozessen.....	37
2.3.3	Eigenschaften von Haufwerken	37
2.3.3.1	Verdichtung durch Eigen- und Fremdgewicht.....	37
2.3.3.2	Porosität, Trockensubstanzgehalt und Feuchtigkeit im Haufwerk	39
2.3.3.3	Luftdurchlässigkeit und Permeabilität eines Haufwerks	39
2.3.4	Transportprozesse	40
2.3.4.1	Diffusion	40
2.3.4.1.1	Diffusionsgleichung	40
2.3.4.1.2	Transport durch Strömungen.....	41
2.3.4.1.3	Diffusion von NH ₃ in Festmist.....	41
2.3.4.2	Wärmetransport.....	42
2.3.4.2.1	Wärmeleitung in Festkörpern.....	42
2.3.4.2.2	Wärmetransport in Gasen und Flüssigkeiten	44

2.3.4.2.3	Randbedingungen und Wärmequellen im Haufwerk	44
2.3.4.3	Wärmestrahlung.....	46
2.3.4.3.1	Stefan-Boltzmannsches Gesetz	46
2.3.4.3.2	Wärmeabstrahlung bei "grauen Körpern"	46
2.3.4.3.3	Relevanz der Wärmestrahlung.....	47
2.3.5	Gleichgewichtsprozesse	47
2.3.5.1	Dissoziation	47
2.3.5.1.1	Ammoniak	47
2.3.5.1.2	Carbonsäuren.....	49
2.3.5.1.3	Dissoziation der Kohlensäure.....	51
2.3.5.1.4	Debye-Hückel-Theorie	52
2.3.5.2	Pufferkapazität mehrkomponentiger Lösungen	53
2.3.5.2.1	Definition Puffer.....	53
2.3.5.2.2	Puffer mehrkomponentiger Lösungen.....	53
2.3.5.3	Verdampfung	55
2.3.5.3.1	Gleichgewichtslage und Henry-Gesetz	55
2.3.5.3.2	Einstellung des Gleichgewichts.....	56
2.3.5.3.3	Zusammenwirken der NH ₃ -Gleichgewichtsprozesse	62
2.3.6	Massenstrombilanz in der Stallluft.....	63
2.4	Numerische Lösung der Transportgleichung	65
2.4.1	Lösung von Differentialgleichungen mit numerischen Hilfsmitteln.....	65
2.4.2	Die Finite-Differenzen-Methode.....	67
2.4.3	Die Finite-Element-Methode.....	68
2.4.3.1	Idealisierung eines Systems zur Berechnung	68
2.4.3.2	Lösungsansatz.....	69
2.4.3.3	Berechnung der Knotenvariablen.....	70
2.4.3.4	Interpretation der Ergebnisse.....	70
2.4.3.5	Einsatzgebiete und Vorteile der Finite-Element-Methode	71
2.5	Messungen zur Ammoniakemission aus Festmistställen	71
2.5.1	Stickstoffverluste in landwirtschaftlichen Prozessen	71
2.5.2	NH ₃ -Konzentrationen in Festmist	72
2.5.3	Kennwerte von Rinderfestmist.....	73
3	Zielsetzung.....	74
4	Entwicklung des Simulationsmodells	76
4.1	Konzeption des Lösungsansatzes	76
4.1.1	Berücksichtigung der Wärmeströme	76
4.2	Einflußfaktoren und Systemabgrenzung	77
4.2.1	Modellannahmen	80
4.3	Teilmodellprogrammierung.....	80
4.3.1	Modellierung der Stoffströme mit einem FE-Programm	80
4.3.2	Modellierung wachsender und fließender Haufwerke	81
4.3.3	Modellierung der Stickstoffträger-Eintragung	83
4.3.4	Funktionen der Teilmodelle	84
4.3.5	Programmierung und Tests der Teilmodelle	86

4.4	Bestimmung von Rechenwerten	86
4.4.1	Bestimmung der thermophysikalischen Größen von Festmist.....	86
4.4.1.1	Methode.....	87
4.4.1.2	Ergebnisse	89
4.4.2	Wärmeübergang in den Boden.....	91
4.5	Integration der Teilmodelle in ein Gesamtmodell.....	92
4.5.1	Flußdiagramm der Teilmodelle.....	92
4.5.2	Programmaufbau	95
4.5.3	Testlauf: Modell Tretmiststall.....	95
4.5.3.1	Auswahl von Standardparametern	95
4.5.3.2	Testlauf: Systemmodell Tretmiststall.....	96
4.5.4	Modellverifikation	99
4.6	Modellvalidierung	102
4.6.1	Vergleich von Modellergebnissen mit Meßergebnissen	102
4.6.2	Stickstoffkonzentration in Tretmist- und Tiefstreuställen	102
4.6.3	NH ₃ -Emission aus Festmist.....	104
4.6.4	Fazit der Modellvalidierung.....	104
5	Konzeption verfahrenstechnischer Maßnahmen	106
5.1	Feststellung maßgeblicher Einflußgrößen durch Sensitivitätsanalysen	106
5.1.1	Variation des Stoffübergangskoeffizienten.....	106
5.1.2	Variation des pH-Wertes.....	108
5.1.3	Variation des Diffusionskoeffizienten	109
5.1.4	Variation der Halbwertszeit der Nitrifikation	110
5.1.5	Variation des NH ₃ -Partialdrucks der Umgebung.....	111
5.1.6	Variation der Halbwertszeit der Inputstoffe.....	112
5.1.7	Variation der Wärmequellichte des Substrats	112
5.1.8	Variation der Rohdichte	114
5.1.9	Variation des Trockensubstanzgehalts.....	115
5.1.10	Variation des Zuflusses der NH ₃ -Stickstoffträger	116
5.1.11	Variation der spezifischen Wärmekapazität der Trockensubstanz	116
5.2	Konzeption verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung	117
5.3	Maßnahmen zur NH ₃ -Emissionsminderung.....	118
5.3.1	Kontrollierte Senkung des pH-Wertes	118
5.3.2	Verminderung des Stoffübergangskoeffizienten	119
5.3.2.1	Verringerung der Luftgeschwindigkeit.....	120
5.3.2.2	Erhöhung des aerodynamischen Widerstands der Oberfläche.....	120
5.3.3	Weitere Möglichkeiten zur NH ₃ -Emissionsminderung.....	120
6	Diskussion und Schlußfolgerungen	123
6.1	Weiterführende Arbeiten.....	124
6.1.1	Aufbau eines Systemmodells zur Bewertung verfahrenstechnischer Eingriffe	124
6.1.2	Erweiterung des Untersuchungsgegenstandes	125

7	Zusammenfassung	126
8	Literaturverzeichnis	128
9	Anhang.....	134