

Institut für Landtechnik
der Technischen Universität München

**Feld- und Laborversuche zum Auftreten von Silageabwässern
aus Flachsiloanlagen unter besonderer Berücksichtigung der
Umweltverträglichkeit**

Joachim Kahlstatt

Vollständiger Abdruck der
von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. (AE Keszthely) J. Schön
2. Univ.-Prof. Dr. J. Schnyder

Die Dissertation wurde am 16.06.1999 bei der
Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
am 15.07.1999 angenommen

Inhalt

Abbildungen	VII
Tabellen	X
Abkürzungen	XIII
Symbole	XIV
1	Einleitung und Problemstellung 1
2	Stand des Wissens 5
2.1	Gärbiologie 5
2.2	Einflussfaktoren auf die Bildung umweltrelevanter Silageabwässer 6
2.2.1	Faktoren auf die Bildung von Gärstoff 6
2.2.2	Faktoren auf die Bildung von Sickersaft 11
2.2.3	Faktoren auf die Bildung von kontaminiertem Niederschlagswasser 12
2.3	Chemische Zusammensetzung der Silageabwässer 13
2.3.1	Gärstoff 13
2.3.2	Sickersaft 19
2.3.3	Kontaminiertes Niederschlagswasser 19
2.4	Auswirkungen von Silageabwässern auf die Umwelt 20
2.4.1	Vorflut und Grundwasser 21
2.4.2	Boden und Pflanze 22
2.4.3	Bauwerke und Bauteile 26
2.5	Verfahrenstechnische Möglichkeiten für die Abwasserprävention in Flachsilo 27
2.6	Stand der Flachsilobautechnik 32
3	Zielsetzung 38
4	Feldversuche zur Flachsilowirtschaft 41
4.1	Material und Methodik der Feldversuche 41
4.1.1	Komponenten der Versuchssilobauanlage 41
4.1.2	Silobautechnik 41
4.1.3	Abwassererfassungssysteme 43
4.1.4	Komponenten und Funktion der Messstation für Siloabwässer 45
4.1.5	Komponenten und Funktion der Registrierstation für Silageabwässer 47
4.1.6	Großtechnische Silierversuche 49
4.1.6.1	Verfahrenstechnik bei der Versuchsdurchführung 49
4.1.6.2	Datenerhebung bei der Futterein- und -auslagerung 50
4.1.6.3	Abwasserprobenahme, Probenaufbereitung und -analytik 51
4.1.6.4	Umweltrelevante Beurteilung der Silageabwässer 53
4.1.7	Versuchsdurchführung 54
4.2	Ergebnisse und Diskussion der Feldversuche 56
4.2.1	Silagequalität 56
4.2.2	Gärstoff 59
4.2.2.1	Massenstrom 59
4.2.2.2	Bewertung der Umweltrelevanz 66
4.2.3	Sickersaft 68
4.2.3.1	Massenstrom 68

4.2.3.2	Bewertung der Umweltrelevanz	74
4.2.4	Kontaminiertes Niederschlagswasser	76
4.2.4.1	Massenstrom	76
4.2.4.2	Bewertung der Umweltrelevanz	79
4.2.5	Bautechnik und Silageabwassermanagement	83
4.2.6	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Feldversuchen	87
5	Laborversuche zur organischen Belastung von kontaminiertem Niederschlagswasser	91
5.1	Material und Methodik der Laborversuche	91
5.1.1	Niederschlagsanalyse und Auswahl der Berechnungsintensitäten	92
5.1.2	Versuchstechnische Anforderungen an den Niederschlagssimulator	93
5.1.3	Komponenten und Funktion der Niederschlagssimulatoranlage	94
5.1.4	Versuchsmaterial	97
5.1.5	Inhaltsstoffanalytik des kontaminierten Niederschlagswassers	100
5.1.6	Statistische Auswertungsverfahren	101
5.1.7	Versuchsdurchführung und Abwasserprobenahme	103
5.1.8	Versuchsplan der Laborversuche	104
5.2	Ergebnisse und Diskussion der Laborversuche	105
5.2.1	Faktoren auf die Bildung von kontaminiertem Niederschlagswasser	108
5.2.1.1	Trockenmasse/m ²	108
5.2.1.2	Niederschlagsintensität und Silageart	109
5.2.2	Faktoren auf den Trockenmasseverlust von berechneten Silagen	110
5.2.2.1	Niederschlagsintensität und Silageart	110
5.2.3	Einflussfaktoren auf die Dynamik des biochemischen Sauerstoffbedarfs in fünf Tagen (BSB ₅) von kontaminiertem Niederschlagswasser	113
5.2.3.1	Einfluss der Niederschlagsintensität und -dauer auf die Dynamik der BSB ₅ -Stofffracht von kontaminiertem Niederschlagswasser	114
5.2.3.2	Einfluss der Silageart auf die Dynamik der BSB ₅ -Stofffracht von kontaminiertem Niederschlagswasser	118
5.2.3.3	Einfluss der Niederschlagsmenge auf die Dynamik der BSB ₅ -Stofffracht von kontaminiertem Niederschlagswasser	120
5.2.4	Einflussfaktoren auf die Dynamik der summarischen Stoffkenngrößen DOC-, N _i und T-Gehalt von kontaminiertem Niederschlagswasser	127
5.2.5	Einflussfaktoren auf die Dynamik des Säuregrades (pH) von kontaminiertem Niederschlagswasser	132
5.2.6	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Laborversuchen	136
6	Schlussfolgerungen und weiterführende Arbeiten	137
6.1	Schlussfolgerungen aus den Feldversuchen	137
6.2	Schlussfolgerungen aus den Laborversuchen	139
6.3	Weiterführende Arbeiten	140
7	Zusammenfassung	141
8	Summary	145
9	Literatur	149
	Anhang	162
	Abbildungen im Anhang	162
	Tabellen im Anhang	175