



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Hygiene bayerischer Silagen

Controlling am Silo

09

2009



Schriftenreihe

ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
Prof.-Dürrwaechter-Platz 3, 85586 Poing
E-Mail: Tierernaehrung@LfL.bayern.de
Tel.: 089/99141-401
Technische Universität München (TUM)
Lehrstuhl für Tierhygiene
Weihenstephaner Berg 3, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: tierhygiene@wzw.tum.de
Tel.: 08161/71- 3312

1. Auflage: Juni 2009

Druck: Lerchl Druck, 85354 Freising

© LfL



Hygiene bayerischer Silagen:
Validierung einer Checkliste zum
Controlling am Silo

Endbericht

**W. Richter, N. Zimmermann, M. Abriel,
M. Schuster, K. Kölln-Höllrigl, J. Ostertag,
K. Meyer, J. Bauer, H. Spiekers**

Inhaltsverzeichnis	Seite
Danksagung	14
Zusammenfassung	15
Summary	16
1 Einleitung	17
2 Stand des Wissens	17
2.1 Literatur.....	17
2.2 Eigene Vorarbeiten.....	18
3 Zielstellung	19
4 Material und Methoden	19
4.1 Projektdesign.....	19
4.1.1 Temperaturprofil	20
4.1.2 Probenahme und Dichtebestimmung	20
4.1.3 Probenahme für mikrobiologische und mykotoxikologische Untersuchung	21
4.2 Nährstoffuntersuchungen	22
4.3 Gärparameteruntersuchungen	23
4.3.1 Bestimmung der Gärsäuren.....	23
4.3.2 Bestimmung des Ammoniakgehaltes	23
4.3.3 Bestimmung des Alkoholgehaltes.....	23
4.3.4 Bestimmung der aeroben Stabilität	23
4.4 Mykologische Untersuchungen.....	25
4.4.1 Probenmaterial	25
4.4.2 Bestimmung des Keimgehaltes und der Keimarten	26
4.5 Zellbiologische Untersuchungen.....	26
4.6 Mykotoxikologische Untersuchungen	28
4.6.1 Herstellung kommerziell nicht angebotener Mykotoxinstandards	29
4.7 Voruntersuchungen zur mykotoxikologischen Analyse der Silageproben	31
4.7.1 Beschreibung der mykotoxikologischen Untersuchungsmethode	33
4.7.2 Untersuchung des Probenmaterials	34
4.7.3 Statistische Auswertungen	34
5 Ergebnisse	34
5.1 Instrumente des Silomanagements	34
5.2 Angaben zu den ausgewählten Betrieben	35
5.3 Silierprotokoll	37
5.3.1 Angaben zur Silierung	37

5.3.1.1	Erntetermin.....	37
5.3.1.2	Ernteverfahren/Verdichtung.....	40
5.3.1.3	Silierdauer.....	44
5.3.1.4	Anfuhrleistung.....	44
5.3.1.5	Siliermitteleinsatz.....	45
5.3.2	Angaben zur Silomiete.....	46
5.3.2.1	Siloart.....	47
5.3.2.2	Silovolumen.....	48
5.3.2.3	Angaben zur Abdeckung.....	49
5.3.2.4	Beschwerung.....	50
5.3.2.5	Zeitraum bis zur Abdeckung.....	51
5.3.3	Entnahme der Silage.....	52
5.3.3.1	Lagerdauer bis zur Beprobung.....	52
5.3.3.2	Vorschub.....	53
5.3.3.3	Angaben zur Entnahmetechnik.....	53
5.3.3.4	Schimmelbildung.....	54
5.3.3.5	Angaben zur Hygiene am Silo.....	55
5.4	Messergebnisse am Silo.....	56
5.4.1	Temperaturmessung.....	56
5.4.2	Dichtemessung.....	59
5.4.3	Analysen-Ergebnisse der Silageproben.....	61
5.4.4	Gärqualität und aerobe Stabilität.....	65
5.5	Diskussion mit weiteren Auswertungen.....	68
5.5.1	Temperaturmessungen.....	68
5.5.1.1	Aussagefähigkeit von Wärmebildern.....	68
5.5.1.2	Anwendung der Messsonde.....	70
5.5.2	Dichtemessungen.....	72
5.5.2.1	Vorarbeiten.....	72
5.5.2.2	Dichtebestimmung mit Bohrer in der Praxis.....	73
5.5.2.3	Beurteilung der Dichten.....	75
5.5.3	Einschätzung der Ergebnisse der aeroben Stabilität.....	76
5.5.4	Handlungsempfehlungen bei Nacherwärmung.....	77
5.5.5	Beurteilung von Messergebnissen – Weiterentwicklung des Controllings.....	78
5.5.6	Zukünftige Vereinfachungen.....	79
5.5.7	Varianzanalyse.....	80

5.6	Mykologische Untersuchungen.....	85
5.7	Mykotoxikologische Untersuchungen	97
5.7.1	Herstellung von Referenzsubstanzen	97
5.7.2	Biologische Wirksamkeiten von Trypacidin.....	98
5.7.3	Mykotoxikologische Befunde in Silagen.....	99
5.8	Einordnung und Bewertung der Ergebnisse.....	104
5.8.1	Mykologische Befunde	104
5.8.2	Mykotoxikologische Befunde	105
6	Anwendung des Controllings	110
6.1	Begleitung zu Versuchen	110
6.2	Betriebsbesuch zur Fütterungsberatung	112
6.3	Problembetrieb mit Nacherwärmung	112
6.4	Reklamation	114
6.5	Controlling der Silos von Biogasanlagen.....	114
6.6	Lehrgangsbetrieb/Schule.....	114
7	Empfehlungen zur Methodik	115
8	Fazit	115
9	Kurzfassung	116
9.1	Methode und Ergebnisse	116
9.2	Empfehlungen für die Praxis.....	118
10	Literaturverzeichnis.....	119
11	Anhang	123

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Punkte zur Messung der Temperatur an der Anschnittfläche des Silos in 40 und 100 cm Tiefe.....	20
Abb. 2: Punkte zur Messung der Dichte mittels Bohrstock an der Anschnittfläche des Silos.....	21
Abb. 3: Maßnahmen zur Isolierung nicht kommerziell verfügbarer <i>Aspergillus fumigatus</i> -Toxine	30
Abb. 4: Mittelwerte der Temperatur [°C] im Silo im Winter und im Sommer Ableitung des notwendigen Vorschubs [cm/d] bei Nacherwärmung in Maissilage.....	72
Abb. 5: Vergleich Dichtemessung Bohrer und Siloblock (n= 6)	73
Abb. 6: Abhängigkeit der Dichte von der Trockenmasse bei Grassilagen (n = 127; Zielgröße laut Praxishandbuch [9] zum Vergleich.....	74
Abb. 7: Abhängigkeit der Dichte von der Trockenmasse bei Maissilagen (n = 118); Zielgröße laut Praxishandbuch [9] zum Vergleich	75
Abb. 8: Darstellung der Rohfasergehalte der beprobten Grassilagen in Relation zum Gehalt an Trockenmasse; schraffiert ist der Zielbereich.....	85
Abb. 9: Häufigkeit von Schimmelpilzen in Silagen unterschiedlicher Qualitäten und verschiedener Herkünfte (n = 584).....	86
Abb. 10: Verteilung der Schimmelpilzkeimzahlen in Grassilagen unterschiedlicher Qualitäten (n = 280)	86
Abb. 11: Verteilung der Schimmelpilzkeimzahlen in Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten (n = 304)	87
Abb. 12: Häufigkeit von Hefen in Silagen unterschiedlicher Qualitäten und verschiedener Herkünfte (n = 584).....	89
Abb. 13: Verteilung der Hefekeimzahlen in Grassilagen unterschiedlicher Qualitäten (n = 280)	90
Abb. 14: Verteilung der Hefekeimzahlen in Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten (n = 304)	90
Abb. 15: Häufigkeiten dominierender Schimmelpilzfamilien bzw. -gattungen in Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten	92
Abb. 16: Häufigkeit dominierender Schimmelpilzfamilien bzw. -gattungen in Grassilagen unterschiedlicher Qualitäten.....	92
Abb. 17: Relative Häufigkeit des gleichzeitigen Nachweises mehrerer Schimmelpilzgattungen in Grassilagen unterschiedlicher sensorischer Qualitäten	95
Abb. 18: Relative Häufigkeit des gleichzeitigen Nachweises mehrerer Schimmelpilzgattungen in Maissilagen unterschiedlicher sensorischer Qualitäten	96
Abb. 19: Einfluss von Trypacidin und Gliotoxin auf die MTT-Spaltungsaktivität von V79-Hamsterlungenzellen.....	98

Abb. 20: relative Häufigkeiten des gleichzeitigen Nachweises mehrerer pilzlicher Stoffwechselmetaboliten in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten	110
Abb. 21: Temperatur am Siloanschnitt von Maissilage bei 40 cm und 100 cm Einstichtiefe über den Verlauf des Fütterungsversuchs, AT-Außentemperatur	111

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Zeitliche und qualitative Verteilung der untersuchten Probenmaterialien über drei Probennahmezeiträume.....	25
Tab. 2: Versuchsaufbau zur Definition des bestgeeigneten Extraktionsmittels für den Nachweis von Aspergillus fumigatus- und anderen Mykotoxinen aus Gras- und Maissilagen.....	32
Tab. 3: Überblick über die Betriebsdaten der beteiligten Betriebe in den unterschiedlichen Regionen	36
Tab. 4: Vergleich der mittleren Milchleistung der beteiligten Betriebe nach Region mit den Daten aus der Milchleistungsprüfung des LKV in Bayern (2006)	37
Tab. 5: Verteilung der beprobten Grassilagen auf die verschiedenen Schnitte (Angaben in %)	38
Tab. 6: Verteilung der angegebenen Schnittzeitpunkte der untersuchten Grassilagen (%).....	38
Tab. 7: Angaben zum Anteil der Dauer der Feldperiode der beprobten Grassilagen.....	39
Tab. 8: Angaben zum Anteil von Niederschlag während der Feldliegezeit bei den beprobten Grassilagen.....	39
Tab. 9: Angaben zum Anteil der erreichten Kornabreife bei den beprobten Maissilagen.....	39
Tab. 10: Angaben zum Anteil von Niederschlag bei der Silomaisernte der beprobten Maissilagen.....	40
Tab. 11: Angaben zur Schnitthöhe (cm) bei den beprobten Grassilagen.....	40
Tab. 12: Angaben zum Anteil der gewählten Ernteverfahren bei den beprobten Grassilagen.....	41
Tab. 13: Angaben zur theoretisch eingestellten Häcksellänge (mm) bei den beprobten Grassilagen bei Einsatz von Ladewagen und Häcksler.....	41
Tab. 14: Angaben zur eingesetzten Verdichtungstechnik bei den beprobten Grassilagen.....	41
Tab. 15: Angaben zum Gewicht der zur Verdichtung eingesetzten Schlepper und Radlader der beprobten Grassilagen.....	42
Tab. 16: Angaben zur gewählten Schnitthöhe bei den beprobten Maissilagen (cm)	42
Tab. 17: Angaben zur eingestellten theoretischen Häcksellänge bei den beprobten Maissilagen (mm).....	42
Tab. 18: Angaben zur eingesetzten Verdichtungstechnik bei den beprobten Maissilagen.....	43
Tab. 19: Angaben zum Gewicht der zur Verdichtung eingesetzten Schlepper und Radlader der beprobten Maissilagen	43
Tab. 20: Angaben zur Silierdauer bei den beprobten Grassilagen	44

Tab. 21: Angaben zur Silierdauer bei den beprobten Maissilos.....	44
Tab. 22: Berechnete Anfuhrleistung bei den beprobten Grassilagen	45
Tab. 23: Berechnete Anfuhrleistung bei den beprobten Maissilagen.....	45
Tab. 24: Angaben zum Anteil des Siliermitteleinsatzes bei den beprobten Grassilagen	46
Tab. 25: Angaben zum Anteil des Siliermitteleinsatzes bei den beprobten Maissilagen.....	46
Tab. 26: Angaben zum Anteil der Siloart bei den beprobten Grassilagen	47
Tab. 27: Angaben zum Anteil der Siloart bei den beprobten Maissilagen.....	47
Tab. 28: Angaben zum Anteil der beprobten Sandwich-Silagen	48
Tab. 29: Angaben zu den Silobreiten der beprobten Grassilagen	48
Tab. 30: Angaben zu den Silovolumen der beprobten Grassilagen.....	48
Tab. 31: Angaben zu den Silobreiten der beprobten Maissilagen	48
Tab. 32: Angaben zu den Silovolumen der beprobten Maissilagen	49
Tab. 33: Angaben zum Einsatz von Folien bei den beprobten Grassilagen	49
Tab. 34: Angaben zum Einsatz von Folien bei den beprobten Maissilagen.....	50
Tab. 35: Angaben zur Beschwerung der Folien bei den beprobten Grassilagen.....	50
Tab. 36: Angaben zur Beschwerung der Folien bei den beprobten Maissilagen	51
Tab. 37: Angaben zum Zeitraum vom Ende der Ernte bis zur Abdeckung der beprobten Grassilagen	51
Tab. 38: Angaben zum Zeitraum vom Ende der Ernte bis zur Abdeckung der beprobten Maissilagen.....	52
Tab. 39: Angaben zur Lagerdauer der beprobten Grassilagen bei der Probenahme	52
Tab. 40: Angaben zur Lagerdauer der beprobten Maissilagen bei der Probenahme.....	52
Tab. 41: Angaben zum realisierten Vorschub bei der Entnahme der beprobten Grassilagen	53
Tab. 42: Angabe zum realisierten Vorschub bei der Entnahme der beprobten Maissilagen.....	53
Tab. 43: Angaben zur Entnahmetechnik in den beprobten Betrieben	54
Tab. 44: Anteil der Schimmelbildung an der Anschnittfläche der bonitierten Grassilagen	54
Tab. 45: Anteil der Schimmelbildung an der Anschnittfläche der bonitierten Maissilagen.....	55
Tab. 46: Bonitur zur Hygiene am Silo bei den beprobten Grassilagen	55
Tab. 47: Bonitur zur Hygiene am Silo bei den beprobten Maissilagen.....	56
Tab. 48: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Grassilagen über alle Beprobungszeiträume hinweg	57

Tab. 49: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Grassilagen während den Beprobungen im Sommer 2006 und 2007.....	57
Tab. 50: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Grassilagen während den Beprobungen im Winter 2006/2007.....	57
Tab. 51: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Maissilagen über alle Beprobungszeiträume hinweg.....	58
Tab. 52: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Maissilagen während den Beprobungen im Sommer 2006 und 2007.....	58
Tab. 53: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Maissilagen während der Beprobung im Winter 2006/2007.....	58
Tab. 54: Ergebnisse der Dichtemessungen am Anschnitt bei den Grassilagen nach Landkreisen.....	59
Tab. 55: Ergebnisse der Dichtemessungen am Anschnitt bei den Grassilagen gesamt im Vergleich zur Literatur [15], Dichte kg TM/m ³	60
Tab. 56: Ergebnisse der Dichtemessungen am Anschnitt (kg TM/m ³) bei den beprobten Maissilagen.....	60
Tab. 57: Ergebnisse der Dichtemessung der beprobten Maissilagen (gesamt) im Vergleich zur Literatur [15].....	61
Tab. 58: Rohnährstoffgehalte der beprobten Grassilagen (1. Schnitt) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (LKV-Labor, Grub, 2006).....	62
Tab. 59: Rohnährstoffgehalte der beprobten Grassilagen (2. und Folgeschnitte) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (LKV-Labor, Grub, 2006).....	62
Tab. 60: Rohfasergehalte der beprobten Grassilagen.....	62
Tab. 61: Rohnährstoffgehalte der beprobten Maissilagen (Erntejahr 2005) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (Einsendungen an das LKV-Labor, Grub).....	63
Tab. 62: Rohnährstoffgehalte der beprobten Maissilagen (Erntejahr 2006) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (Einsendungen an das LKV-Labor, Grub).....	63
Tab. 63: Rohfasergehalt der beprobten Maissilagen.....	64
Tab. 64: Gärparameterergebnisse und aerobe Stabilität der beprobten Grassilagen.....	65
Tab. 65: Gärparameterergebnisse und aerobe Stabilität der beprobten Maissilagen.....	67
Tab. 66: Anteile der beprobten Grassilagen mit definierten Temperaturdifferenzen bei Messung oben und unten in 40 und 100 cm Einstichtiefe.....	71
Tab. 67: Anteile der beprobten Maissilagen mit definierten Temperaturdifferenzen bei Messung oben und unten in 40 und 100 cm Einstichtiefe.....	71
Tab. 68: Ableitung eines Orientierungsbereichs zur Beurteilung der Dichte bei Grassilagen (kg TM/m ³).....	78
Tab. 69: Ableitung eines Orientierungsbereichs zur Beurteilung der Dichte bei Maissilage (kg TM/m ³).....	79

Tab. 70: Gärparameter von Grassilagen und die Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM).....	82
Tab. 71: Gärparameter von Maissilagen und Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM).....	83
Tab. 72: Rohnährstoffgehalte von Grassilagen und Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM).....	84
Tab. 73: Rohnährstoffgehalte von Maissilagen und Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM).....	84
Tab. 74: Verteilung der Schimmelpilzgesamtkeimzahlen in Mais- und Grassilagen in Abhängigkeit von der sensorischen Einordnung.....	88
Tab. 75: Verteilung der Hefegespaltkeimzahlen in Mais- und Grassilagen in Abhängigkeit von der sensorischen Einordnung.....	91
Tab. 76: Vorkommen und Häufigkeit aus Gras- und Maissilagen isolierter Schimmelpilz-Familien, -Gattungen und -Arten.....	94
Tab. 77: Vorkommen von <i>Aspergillus fumigatus</i> in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher sensorischer Qualitäten (n=584).....	95
Tab. 78: Referenzsubstanzen.....	97
Tab. 79: Induktion der Mikronukleus (MN)-Bildung bei V79 Hamsterlungenzellen durch Aflatoxin B ₁ und Trypacidin.....	99
Tab. 80: Vorkommen und Konzentrationen von <i>A. fumigatus</i> -Stoffwechselprodukten in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten.....	100
Tab. 81: Qualitativer Nachweis von Vertretern der Fumiquinazolin- und Tryptoquivalin-Gruppe, sowie weiteren <i>A. fumigatus</i> -Stoffwechselprodukten in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten.....	102
Tab. 82: Vorkommen und Gehalte an Mykophenolsäure, Roquefortin und Monacolin K in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten.....	103
Tab. 83: Biologische Eigenschaften nachgewiesener <i>A. fumigatus</i> -Stoffwechselprodukte.....	108

Danksagung

Die vorliegenden Forschungsergebnisse waren nur durch die aktive Unterstützung der beteiligten Landwirte sowie der Lehr-, Versuchs- und Fachzentren möglich. Hierfür möchten sich alle an den Forschungsarbeiten Beteiligten recht herzlich bedanken. Des Weiteren möchten sich die Verantwortlichen des Forschungsvorhabens für die sehr gute Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Ämtern für Landwirtschaft und Forsten, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft mit den Abteilungen Qualitäts- und Untersuchungswesen und Versuchsbetriebe sowie dem Lehrstuhl für Tierhygiene der TUM bedanken. Dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten wird für die finanzielle Unterstützung gedankt.

Zusammenfassung

In einem übergreifenden Forschungsvorhaben von Futterkonservierung und Futterhygiene wurden in 45 Praxisbetrieben und 5 Lehr-, Versuchs- und Fachzentren Untersuchungen zum Controlling von Gras- und Maissilagen und deren mikrobiologische und mykotoxikologische Qualität durchgeführt. Das Controlling bezüglich Siliermanagement, Temperaturentwicklung am Anschnitt und Dichte wurde nach einem festen Schema an 128 Grassilagen und 118 Maissilagen durchgeführt. Es zeigten sich starke Unterschiede in den verschiedenen Bereichen des Anschnitts. Die höchste Verdichtung und die geringste Nacherwärmung zeigte sich an der Probenahmestelle unten Mitte. Insgesamt war eine gute Verdichtung festzustellen, mit regionalen Unterschieden, die in erster Linie auf eine unterschiedliche Organisation der Silierung zurückzuführen sind.

Unterschiede in der Temperatur am Anschnitt von mehr als 5 °C zeigten sich in etwa 1/3 der Silos. Über das gewählte Controlling lassen sich Unterschiede im Silagemanagement aufzeigen und es ergeben sich Ansätze zur Optimierung am geöffneten Silo bzw. für die zukünftige Organisation der Silagegewinnung. Für den Einsatz in der Beratung ist das Controlling den Erfordernissen und Kapazitäten anzupassen.

Für die mikrobiologischen und mykotoxikologischen Untersuchungen wurde unverdächtig, merklich erwärmtes und sichtlich verpilztes Material an der Anschnittfläche entnommen. Insgesamt wurden 584 Silageproben untersucht. Es zeigte sich eine klare Abstufung in der Keimbelastung von unverdächtig, erwärmt und verpilzt. Die Maissilagen hatten einen höheren Besatz mit Hefen als die Grassilagen. Gezielt untersucht wurden *Aspergillus fumigatus* Toxine. Es wurden teils erhebliche Gehalte in den verpilzten und erwärmten Proben festgestellt. Die Beratungsempfehlung verpilztes Futter nicht zu verfüttern wurde dadurch noch bestärkt. Bei merklich nacherwärmtem Futter ist ebenfalls Vorsicht geboten.

Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass vielfach hervorragende Futterqualitäten einsiliert werden. Um diese Qualitäten zu halten und Verderb zu vermeiden empfiehlt sich ein gezieltes Controlling am Silo. Die Einbindung in die Beratung wird aufgezeigt.

Summary

A comprehensive research project was conducted in cooperation between the departments of feed preservation and feed hygiene. Quality control of grass and maize silage as well as microbiological and mycotoxicological state were studied. Samples and measurements were taken from 45 farms and 5 research stations. The analysis of quality control took into account the method of ensiling, temperature changes at different depths from the face of the open silo and compaction. 128 grass and 118 maize silos were examined. Sharp differences could be seen between different sampling points on the silage face. The point of highest compaction and least amount of warming was found in the lower mid point of the silo. Overall a good level of compression was noted. Differences occurring between regions of Bavaria can be attributed to the varying methods of ensiling. Temperature variation of more than 5 °C within the silage face occurred in more than 1/3 of the silos.

The chosen variables studied revealed how variations in methods affect silage quality and can lead to new approaches in optimizing management of the open silo and determining quality of future harvests. For the application of this procedure in the advisory service it must be modulated to fit the requirements and capacity of the advisors.

For the microbiological and mycotoxicological study three samples, those being unaffected, distinctly warmed and visibly fungi-infected material, were taken from the open face of the silo. A total of 584 samples were examined. There was a distinct gradation in the amount of microorganisms in all three variables. The maize silage had higher yeast growth than the grass silage. A more targeted study was conducted on the toxins of *Aspergillus fumigatus*. In a number of samples considerable levels were detected in both the warmed and fungi-infected samples. It is therefore still advised not to feed animals fungi infected material. With marked warming it is advised to offer food with caution. The presented analysis showed that many of the feed qualities were due to excellent ensiling practices. In order to retain these qualities and avoid spoilage systematic employment of the studied practices is recommended. Possible use in the advisory service is shown.

1 Einleitung

In der bayerischen Landwirtschaft nimmt die Erzeugung von Milch und Fleisch einen großen Raum ein. Etwa die Hälfte der landwirtschaftlichen Nutzfläche dient zur Erzeugung von Grobfutter für die Rinder-, Schaf- und Pferdehaltung [6]. In der Futterwirtschaft dominiert inzwischen die Silagewirtschaft. Beim Silomais ist das fast 100 % und bei den Grasprodukten dürfte der Anteil Silage mehr als 2/3 betragen.

Die Qualität, und hier insbesondere die hygienische Qualität der Silage, hat erheblichen Einfluss auf die Qualität der erzeugten Produkte und die Wirtschaftlichkeit der Viehhaltung. In der Vergangenheit wurde der Schwerpunkt auf die ernährungsphysiologische Futterqualität der Silage (NEL etc.) gelegt. Inzwischen rückt die Sicherheit der Produktion in Bezug auf Verbraucher-, Anwender- und Tierschutz in den Vordergrund [7]. Zur Realisierung der gesteckten Ziele empfiehlt sich auch in der landwirtschaftlichen Produktion ein gezieltes produktionstechnisches Controlling.

Bei der Silage wurden erste Systeme zum Controlling am Silo entwickelt, die es weiter zu verbessern und in die allgemeine Praxis einzuführen gilt. Eine besondere Bedeutung kommt der Vermeidung von Pilzgiften zu. Über das Controlling am Silo sollen Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und soweit möglich vermieden werden. In diesem Zusammenhang ist auch der strategische Siliermitteleinsatz näher zu betrachten.

Der systematischen Verbesserung der Futterhygiene in der Silagewirtschaft ist große Bedeutung für die Sicherung der Veredlungswirtschaft in Bayern beizumessen. Über das angesprochene Controlling am Silo kann Bayern hier Schrittmacherfunktion übernehmen. Das Controlling bietet sich für konventionell und ökologisch wirtschaftende Betriebe an. Es setzt an den einzelbetrieblichen Möglichkeiten der Futterbaubetriebe an. Eine besondere Bedeutung hat dies für ökologisch wirtschaftende Betriebe, da diese einen großen Anteil an betriebseigenem Futter einsetzen und in den Maßnahmen zur Futterhygiene eingeschränkt sind.

2 Stand des Wissens

2.1 Literatur

Im Rahmen der Aktivitäten des DLG-Ausschusses für Futterkonservierung wurde das Wissen zum Controlling am Silo zusammengetragen und gewichtet. Eine Reihe von Maßnahmen sind inzwischen soweit entwickelt, dass eine routinemäßige Anwendung möglich ist [5]. Wichtige Vorarbeiten wurden mit der Diplomarbeit von Beeker (2003) [12] geleistet. Eine Validierung im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Vermeidung von Verderb durch Pilze und den entsprechenden Pilztoxinen steht noch aus.

Silagen sind häufig mit Pilzen der Genera *Monascus*, *Aspergillus* und *Penicillium* kontaminiert. Zu den am häufigsten vorkommenden Arten gehören *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium roqueforti* und *Monascus ruber*. Diese Pilzarten können eine Vielzahl von Stoffwechselprodukten bilden, von denen nach dem bisherigen Kenntnisstand Roquefortin C, Mykophenolsäure und Monacolin K am bedeutendsten sind.

Während über das Vorkommen von Stoffwechselprodukten von *P. roqueforti* und *M. ruber* in Silagen und deren Bedeutung für die Tiergesundheit einiges bekannt ist, gibt es nur wenig Kenntnisse über die Toxine von *A. fumigatus*, wie bereits erwähnt kommt diese

Pilzspezies ebenfalls häufig in Silage vor. Sie bildet eine Vielzahl von Verbindungen, von denen die Fumitremorgene (Fumitremorgen B, Fumitremorgen C) Verruculogen und Gliotoxin für die Tiergesundheit am bedeutendsten sind.

Fumitremorgene

Die Fumitremorgene sind eine Gruppe neurotoxischer Verbindungen von *A. fumigatus*, die nach Applikation an Tiere zu Tremor, Konvulsionen und Tod führen. Beim Rind werden sie als Ursache des „Stagger-Syndroms“ diskutiert. Beim Menschen werden sie für neurale Symptome nach Inhalation verpilzter Cerealienstäube mitverantwortlich gemacht.

Verruculogen

Verruculogen ist ebenfalls eine neurotoxische Verbindung von *A. fumigatus*. Auch sie wird im Zusammenhang mit dem „Stagger-Syndrom“ diskutiert.

Gliotoxin

Gliotoxin ist ein Piperazinderivat, das ähnlich wie Trichothecene starke zytotoxische Eigenschaften aufweist. Der Angriffspunkt ist allerdings nicht die ribosomale Peptidyltransferase, viel mehr führt es zu einer Funktionsbeeinträchtigung zellulärer Aktinfilamente.

Fusarientoxine

Die derzeit bedeutendsten Mykotoxine sind Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEA) und Fumonisin, wobei für heimisches Getreide DON und ZEA relevant und auch gut untersucht sind. Völlig unzureichend ist die Datenbasis über Vorkommen und Umfang von DON und ZEA bei den Grobfuttermitteln.

Mit der angestrebten Beprobung von Praxissilos soll eine Datenbasis geschaffen werden, die eine bessere Beurteilung der Situation erlaubt und dem Landwirt eventuelle Image-schäden durch Schlagzeilen erspart.

2.2 Eigene Vorarbeiten

Das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten hat dem Themenkomplex der Mykotoxine in Silagen durch nachfolgende Forschungsaufträge bisher Rechnung getragen:

- a) Natürliches Vorkommen von *P. roqueforti*-Toxinen und deren Einfluss auf die Tiergesundheit und Lebensmittelqualität.
- b) Untersuchungen über das natürliche Vorkommen von Monacolinen in Silagen bayerischer Herkunft [8], [4].

Die am Projekt beteiligten Arbeitsgruppen haben einschlägige experimentelle Erfahrungen in den Bereichen Silagemikrobiologie, Mykotoxin- und Gärparameteranalytik. Am Lehrstuhl für Tierhygiene der TUM wurden bereits Methoden zum Nachweis von Roquefortin C, Mykophenolsäure und Monacolinen erarbeitet. Ebenso liegen Erfahrungen zur Analytik von Fumitremorgen, Verruculogen und Gliotoxin vor. Im Labor der LfL werden die Methoden zum Nachweis von Fusarientoxinen und Ochratoxin A angewandt.

3 Zielstellung

Ziel des Projektes war die Validierung eines vor Ort am Silo durchzuführenden Controlling-Systems [5] durch Vergleich der erhobenen Daten mit mikrobiologischen, mykotoxikologischen und gäranalytischen Befunden. Aufgrund dieser Kenntnisse sollten die bestehenden Regeln zum Silomanagement überprüft und soweit geboten weitere erstellt werden. Diese Ergebnisse sollen in die Beratung und wenn möglich in die Ausgestaltung des vorgesehenen Leitfadens für die Futtermittelhygieneverordnung einfließen. Damit bietet sich die Möglichkeit deutliche Zeichen zu setzen, wie durch das Controlling am Silo Qualitätsstandards eingehalten werden können und aufwändige Probenahme und Analysenkosten für den Landwirt einzusparen sind.

4 Material und Methoden

4.1 Projektdesign

Das Projekt „Controlling am Silo“ (CAS) wurde in Zusammenarbeit des Institutes für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE) der LfL, dem Lehrstuhl für Tierhygiene der Technischen Universität München und drei regional unterschiedlichen Ämtern für Landwirtschaft und Forsten (ALF), Rosenheim, Schwandorf und Roth durchgeführt. Je Amt wurden 15 Betriebe mit mindestens jeweils 1 Grassilage und 1 Maissilage beprobt. Die Auswahl der Betriebe fand in Absprache des ITE mit den zuständigen Ansprechpartnern der ÄLF im Vorfeld statt. Die erste Beprobung an den Standorten Rosenheim und Schwandorf wurde im Juni 2006 durchgeführt, am Standort Roth im Juli und August 2006. Zusätzlich wurden Silagen der Lehr-, Versuchs- und Fachzentren in Achselschwang, Almesbach, Kempten und Kringell sowie des Versuchsguts Grub in das Controlling aufgenommen. Die zweite Beprobung fand in den Wintermonaten Januar, Februar und März 2007 statt. Dabei beschränkte man sich auf die Hälfte der Betriebe in Rosenheim, Schwandorf und Roth. Die Silagen der Lehr-, Versuchs- und Fachzentren in Achselschwang, Almesbach, Kempten und Kringell sowie des Versuchsguts Grub wurden komplett in die Winter-Beprobung miteinbezogen. Eine dritte und letzte Beprobung der Silagen aller Betriebe wurde in der Zeit von Juni bis August 2007 durchgeführt. Insgesamt konnten 246 Silos im Rahmen des Projekts „Controlling am Silo“ untersucht werden.

Ebenso wurde eine Diplomarbeit [13] fertiggestellt mit dem Titel ‚Controlling am Silo (CAS)‘. In zehn landwirtschaftlichen Betrieben der Landkreise Donau-Ries, Weißenburg-Gunzenhausen und Ansbach sowie einmal in den LVFZs wurde das Controlling durchgeführt. Zudem wurden die Probebohrer verglichen und so erste Erfahrungen gesammelt. Es zeigte sich, dass eine geringe Verdichtung in Verbindung mit ungenügendem Vorschub zu unbefriedigender aerober Stabilität der Silage führte.

Zum Controlling am Silo gehört die Erfassung betriebsspezifischer Daten über die Silierung (Siliergut, Ernteverfahren, Siliertechnik), die Silomiete und die Entnahme des Silierguts. In einem Silierprotokoll werden diese Angaben festgehalten (Anhang 1 und 2). Die Durchführung von Futterwertanalysen (Grün- bzw. Siliergut), die Dichtemessung mit Probebohrer, die Temperaturmessung mittels Wärmebildkamera und Temperatursonde sind hierzu Hilfsmittel. Weitere Teilgrößen sind die Probenahme mit Sensorik (Geruch, Farbe usw.) und Bestimmung der chemischen Gärparameter zur Messung des Siliererfolges und zur Bestimmung der Gärqualität. Über die Erfassung von Futtermittelverzehr und erfüllter Leistung Milch oder Fleisch wird die Beurteilung des Siliererfolges abgerundet.

Die Messungen zum Controlling erfolgten am geöffneten Silo. Das Silo sollte nach Möglichkeit voll im Anschnitt sein, um eine fundierte Beurteilung des Silos zu ermöglichen. Die durchgeführten Messungen und Probenahmen sind im Weiteren beschrieben.

4.1.1 Temperaturprofil

Das Temperaturprofil der Siloanschnittfläche wurde bei günstigen Bedingungen (keine Sonneneinstrahlung auf den Siloanschnitt) mit einer Wärmebildkamera (siehe Poster im Anhang 5) überprüft. Eventuell vorkommende Wärmenester sollten so leichter gefunden werden.

An jedem Silo wurden Temperaturmessungen mit einer Temperaturstechsonde (siehe Anhang 3) an 6 verschiedenen Messpunkten der Anschnittfläche mit jeweils 2 Messtiefen, 40 cm und 100 cm, durchgeführt. Drei Messpunkte befinden sich oben ca. 40 cm vom oberen Rand in der Mitte, rechts und links (siehe Abb. 1). Die seitlichen Messpunkte liegen dabei ebenfalls ca. 40 cm vom Silorand entfernt. Dazu liegen im unteren Bereich rechts und links, jeweils etwa 40 cm vom Boden und 40 cm vom Silorand entfernt, zwei weitere Messpunkte. Der 6. Messpunkt findet sich mittig im Kern. Alle Messpunkte sind in Abb. 1 und im Anhang „Messprotokoll“ graphisch dargestellt.

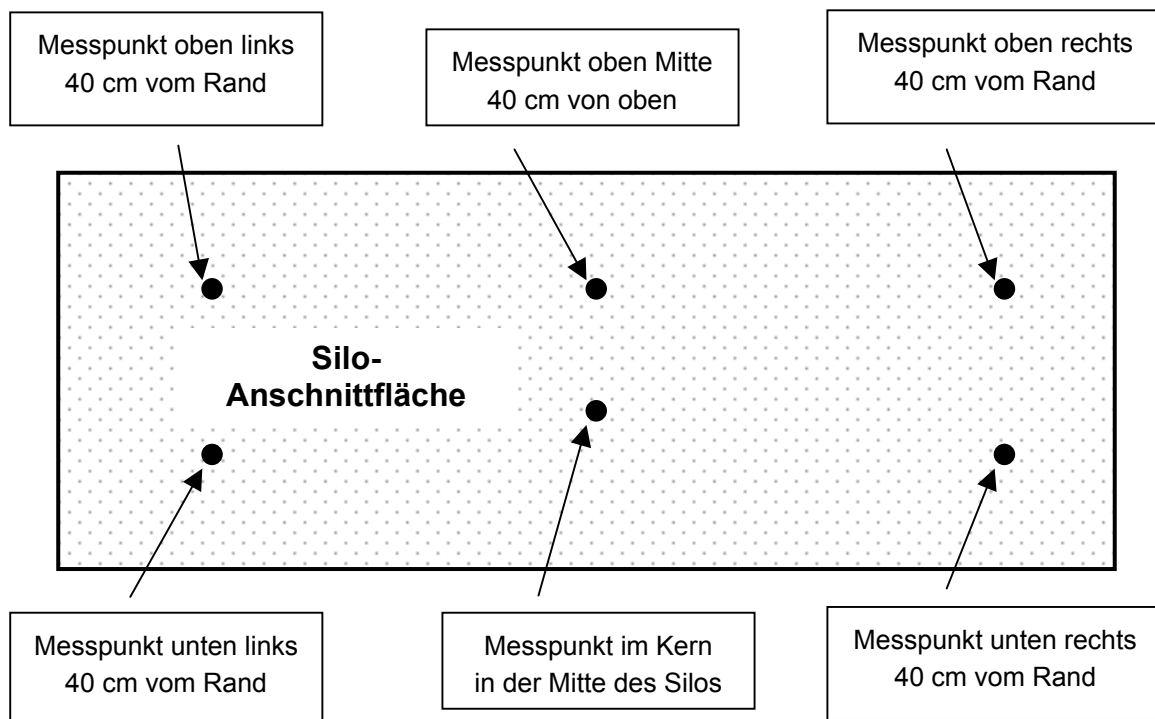


Abb. 1: Punkte zur Messung der Temperatur an der Anschnittfläche des Silos in 40 und 100 cm Tiefe

4.1.2 Probenahme und Dichtebestimmung

Die Probenahme und die Ermittlung der Dichte erfolgte in den folgenden Bereichen des Siloanschnitts Oben, Mitte, Unten und Seite (siehe Abb. 2). Weitere Information ist den Anhängen 4 und 5 zu entnehmen.

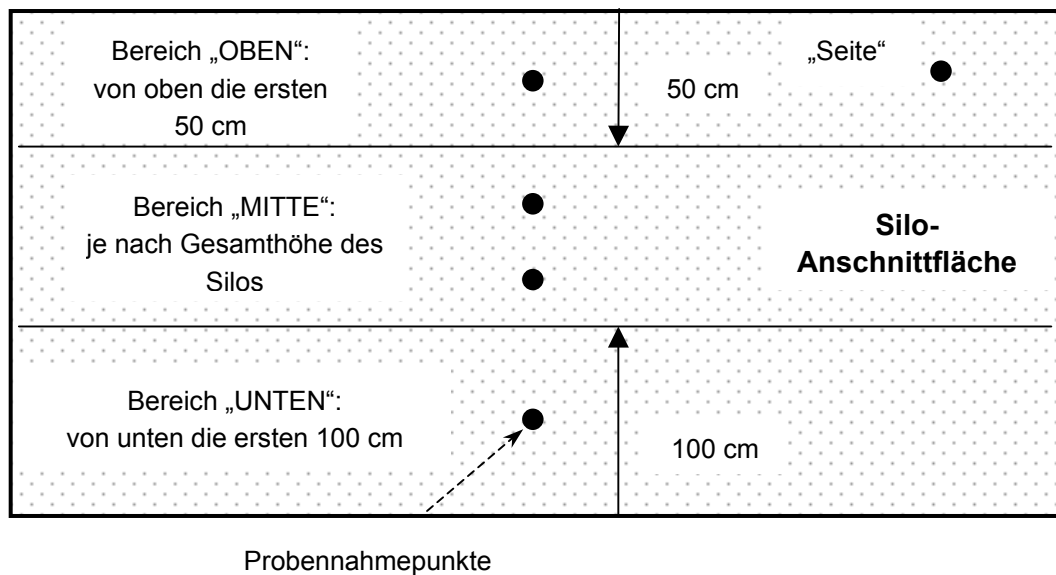


Abb. 2: Punkte zur Messung der Dichte mittels Bohrstock an der Anschnittfläche des Silos

Der Bereich „Oben“ schließt die ersten 50 cm von oben, der Bereich „Unten“ die ersten 100 cm von unten ein. In beiden Bereichen wurde jeweils eine Bohrung durchgeführt. Der Bereich Mitte wurde ab einer Gesamt-Silohöhe von 150 cm beprobt und umfasst den Bereich zwischen „Oben“ und „Unten“. Im mittleren Bereich wurde je angefangene 50 cm Höhe eine Bohrung gesetzt. Die Seiten-Probe wurde während der ersten beiden Beprobungszeiträume etwa 50 cm vom Silorand in der Mitte der Silohöhe gezogen, in der dritten Beprobung wurde die Seiten-Probe ca. 50 cm vom Silorand im oberen Bereich der Silohöhe entnommen.

Die Probenziehung konnte mit einem maschinellen Bohrzylinder, der waagrecht in den Siloanschnitt gebohrt wurde, ausgeführt werden (siehe Poster im Anhang). Über dessen Innendurchmesser von 9,2 cm, der ermittelten Bohrtiefe und des Gewichts des Bohrzylinderinhaltes wurde die Dichte bestimmt.

Die so entnommene Silage wurde für die Bestimmung der Trockenmasse, für die Untersuchung auf Rohnährstoffe und Gärparameter verwendet. Die Rohnährstoffe wurden über eine NIRS-Analyse ermittelt. Zu den untersuchten Gärparametern zählen der pH-Wert, NH_3 -Stickstoff, die Gehalte an Milchsäure, Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Alkohol und die aerobe Stabilität der entnommenen Silage im Laborversuch. Bis zur Untersuchung im Labor der LfL in Grub wurden die Proben bei -22°C gelagert.

4.1.3 Probenahme für mikrobiologische und mykotoxikologische Untersuchung

Die Probenahme für die gesonderten mikrobiologischen und mykotoxikologischen Untersuchungen erfolgte ergänzend wie unter 4.1 angesprochen durch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL-ITE), Grub, unter Mithilfe der Landwirtschaftsämter Rosenheim, Roth und Schwandorf. Diese drei Gebiete wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Standorteigenschaften ausgewählt, um einen Überblick über die Gesamtsituation bayerischer Silagen erhalten zu können. Ergänzend standen Proben der LVFZ zur Verfügung. Diese wurden nach den gleichen Vorgaben beprobt und weiter verarbeitet.

Mit einem speziell entwickelten Silobohrer wurden in den Zeiträumen Juni bis November 2006, Januar bis März 2007 und Juni bis August 2007 aus der Anschnittfläche der Fahrsilos bis zu drei Proben entnommen, welche sich hinsichtlich ihrer sensorischen Eigenschaften deutlich voneinander unterschieden. Eine mit „N“ (normal) deklarierte Probe wurde

aus der Mitte der Anschnittfläche entnommen. Die äußersten 10 cm wurden verworfen. Diese Probe galt als Beispiel für sensorisch einwandfreie Silage ohne Anzeichen von Verderb oder Erwärmung.

In den meisten Fällen wurde zudem eine mit „S“ (Schimmel) gekennzeichnete Probe entnommen, welche bereits Anzeichen des Verderbs durch sichtbaren Schimmel zeigte. Die Anschnittfläche wurde gezielt nach optischen Veränderungen abgeprüft um nach Möglichkeit eine Probe mit Schimmel ausfindig zu machen. Derartige Bereiche waren häufig an den Silowänden zu finden, da sich hier durch kaum vermeidbaren Luft- und Feuchtigkeit Zutritt ein günstiges Klima für das Wachstum von Schimmelpilzen entwickeln konnte. Diese Bereiche stehen stellvertretend für die „worst case“-Situation, da hier das Futtermittel bereits den Grad höchsten Verderbs erreicht hat.

Sofern mittels einer Wärmebildkamera ein so genannter „Hotspot“, ein Bereich mikrobieller Erwärmung im Futterstock, lokalisiert werden konnte, wurde auch hier eine Bohrlochprobe entnommen.

Bei der Entnahme wurde darauf geachtet, ein Verschleppen von Keimen auf die nächste Probe zu verhindern. Daher wurden verwendete Plastikwannen und andere Hilfsmittel nach jeder Probennahme mit 70%igem Ethanol gereinigt und desinfiziert, die benutzten Einweghandschuhe gewechselt.

Alle Gärfutterproben wurden unverzüglich nach der Entnahme mit einem Folienschweißgerät luftdicht in einem speziellen Plastikbeutel verpackt. Der Transport der Proben fand gekühlt in einer Styroportransportbox statt, um eine vorzeitige Vermehrung von Keimen, vor allem von Hefen, und somit eine Verfälschung der Probe zu vermeiden.

Die Lagerung erfolgte in einem Kühlageraum der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub, bei konstanten 4 °C, da bei diesen Temperaturen in Verbindung mit Luftabschluss eine Vermehrung von Keimen weitestgehend ausgeschlossen werden konnte. Die Lagerdauer betrug zwischen 2 und 4 Wochen, um mögliche negative Effekte der Lagerung auf den Keimbesatz gering halten zu können.

Nach Eingang der Proben wurden ca. 200 g für die mikrobiologische Untersuchung entnommen, der Rest wurde bei -22 °C gelagert.

4.2 Nährstoffuntersuchungen

Zur Bestimmung der Trockenmasse werden 200 bis 300 g der Frischproben in ein Trockenblech gewogen und im Trockenschrank für 24 h bei 65 °C und Frischluftbetrieb vortrocknet. Anschließend wurden die Proben 4 h bei 105 °C im Umluftbetrieb fertig getrocknet. Nach Rückwaage wurde der Trockenmassegehalt berechnet.

Die trockenen Proben wurden auf einer Schneidmühle der Fa. Brabender, System Wiley, auf < 1mm vermahlen und für die Untersuchungen in Braunglasflaschen abgefüllt.

Die Nährstoffuntersuchungen der Silageproben erfolgten mittels NIRS Analyse an einem NIRSystems 6500 Gerät der Fa. Foss. Die Kalibrierfunktionen wurden im Zentrallabor Grub der LfL entwickelt und gepflegt. Sie basieren auf den nasschemisch ermittelten Referenzdaten von ca. 1.000 Proben je Matrix verschiedenster Standorte, Sorten und Jahrgängen mit möglichst weiten Gehaltsbereichen der Inhaltsstoffe. Sie umfassen die Parameter Restfeuchte, Rohprotein, Rohfaser und Rohasche. Die Messung erfolgt in Quarzküvetten in Doppelbestimmung. Zur energetischen Bewertung wurde ZifoWin 1.0 eingesetzt.

4.3 Gärparameteruntersuchungen

100 g der homogenisierten Frischprobe wurden in einen Henkelbecher eingewogen und mit 1.000 ml entionisiertem Wasser versetzt. Zur Konservierung der Ansätze wird 1 ml Thiomersallösung (1 %, g/v) zugegeben. Zur Extraktion der wasserlöslichen Gärparameter werden die Ansätze 12 h bei 10 bis 15 °C unter gelegentlichem Rühren mit einem Glasstab stehen gelassen. Anschließend wird über einen Faltenfilter (S&S 595 1/2) abfiltriert und Aliquote für die ionenchromatographischen Bestimmungen über einen Membranfilter (Millipore 0, 45 µm) in Probengeberfläschchen überführt.

Die Messung der pH-Werte in den filtrierten Extrakten erfolgte mit einem pH-Meter der Fa. WTW inolab level 2 und einer Schott Einstabmesskette BlueLine pH 24 nach Temperaturkompensation.

4.3.1 Bestimmung der Gärsäuren

Der Gehalt an Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure wurde ionenchromatographisch bestimmt. Die Trennung der Säuren erfolgte mit einem Ionenchromatographen BIO LC 600 der Fa. Dionex auf einer Trennsäule HPICE AS 1, 250 x 4 mm mit einer Vorsäule LiChrospher 100, RP 18,5 µm, 25 x 4 mm bei 30 °C Säulentemperatur. Als Laufmittel dient 1,5 mmol Oktansulfonsäure in 2 % i-Propanol in entionisiertem Wasser (v/v) bei einem Fluss von 0,8 ml/min und einem Druck von 1300 psi. Zur Steigerung der Empfindlichkeit wird ein Membransuppressor AMMS-ICE II eingesetzt, der mit 10 mmol Tetrabutylammoniumhydroxidlösung und einem Fluss von ca. 3 ml/min gespült wird. Die Detektion der Säuresignale erfolgt im Leitfähigkeitsdetektor ED 50, Fa. Dionex. Die Quantifizierung der Säuren wurde nach der externen Standardmethode durchgeführt. Zur Gerätesteuerung, Datenaufzeichnung und Auswertung wurde das Labordatensystem Chromeleon v. 7.30 der Fa. Dionex eingesetzt.

4.3.2 Bestimmung des Ammoniakgehaltes

Der Gehalt an Ammoniak wird ebenfalls ionenchromatographisch bestimmt. Am Ionenchromatograph DX 300 der Fa. Dionex erfolgt die Trennung und Quantifizierung auf einer Säule CS 12, 250 x 4 mm mit Vorsäule IonPac CG 12, 40 x 4 mm mit dem Eluenten 1,5 mmol Oktansulfonsäure in 2 % (v/v) i-Propanol in entionisiertem Wasser und einem Fluss von 0,8 ml/min. Ein Kationen-Micromembransuppressor CMMS-ICE II mit einem Regenerens aus 50 mmol Tetrabutylammoniumhydroxidlösung und dem Fluss von ca. 3,0 ml/min wird zur Steigerung der Empfindlichkeit eingesetzt. Die Detektion erfolgt im Leitfähigkeitsdetektor ED 50, Dionex. Quantifiziert wird nach der externen Standardmethode. Gerätesteuerung, Datenaufzeichnung und -Auswertung erfolgten mit dem Labordatensystem Chromeleon v. 7.30 der Fa. Dionex.

4.3.3 Bestimmung des Alkoholgehaltes

Die Bestimmung erfolgt enzymatisch aus dem Filtrat unter Verwendung des Ethanol-Testkits 10.176.290 r-biopharm und photometrischer Quantifizierung bei 340 nm.

4.3.4 Bestimmung der aeroben Stabilität

Nach dem Auftauen wurden die Proben geteilt. Ein Teil ging in die Untersuchung der Gärparameter und eine Teilprobe wurde zur Bestimmung der aeroben Stabilität (ASTA) genutzt. Diese wird nach Honig [2] bestimmt (siehe Bild 1). Bei einer Raumtemperatur von 20 °C gilt die Probe bis zur Temperaturerhöhung > 3 K als aerob stabil.

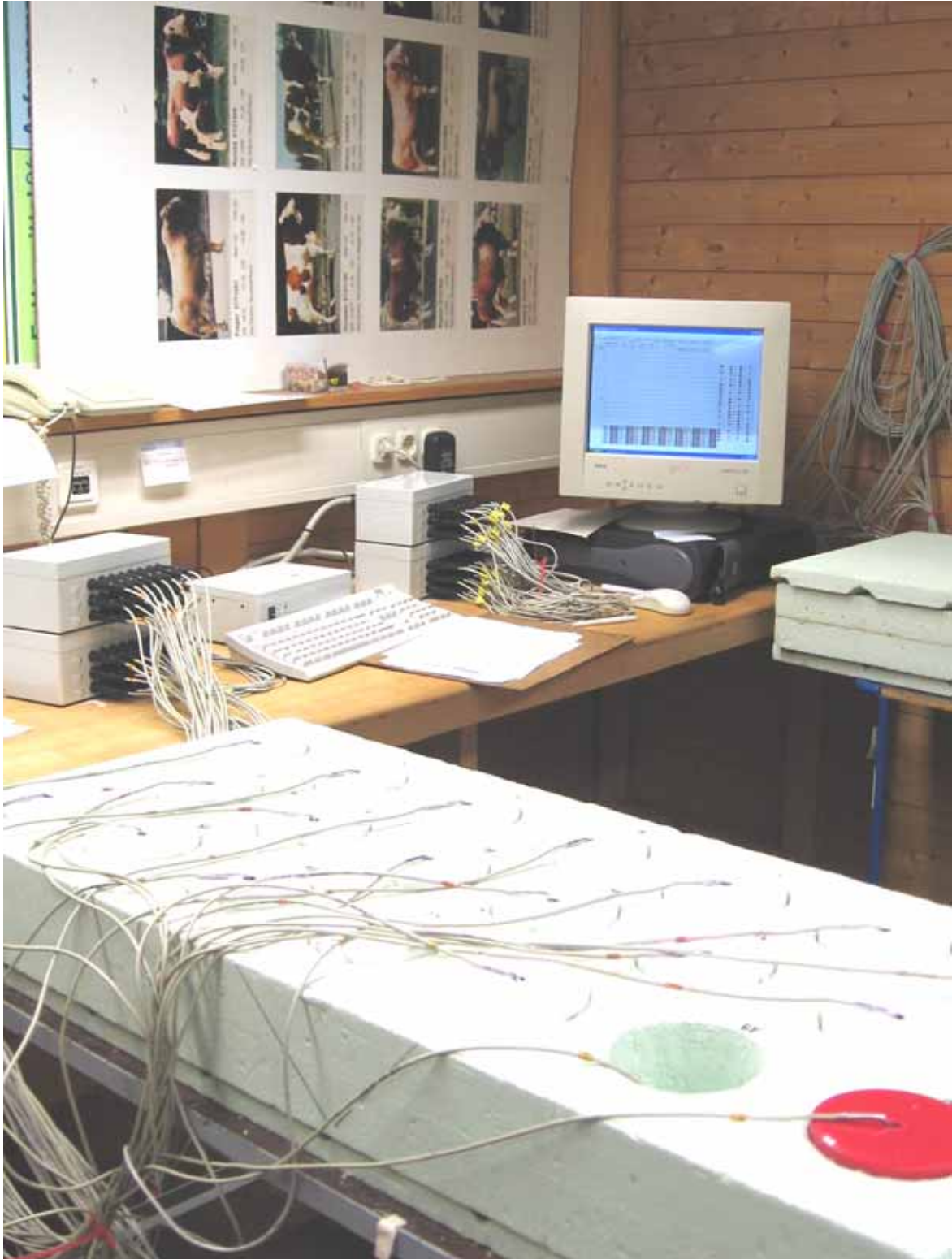


Bild 1: Anlage zur Messung der aeroben Stabilität in Grub (Foto: W. Richter)

4.4 Mykologische Untersuchungen

4.4.1 Probenmaterial

Durch die Zusammenarbeit mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, den Landwirtschaftsämtern Rosenheim, Roth und Schwandorf, sowie den Lehr-, Versuchs- und Fachzentren der LfL konnten in den Jahren 2006 und 2007 insgesamt 584 Gärfutterproben für die mykologische und mykotoxikologische Untersuchung gewonnen werden. Diese gliederten sich in sensorisch einwandfreie, erwärmte und offensichtlich verpilzte Silagen (Tab. 1). Eine Erwärmung im Silostock, bzw. am Anschnitt wurde mittels Wärmebildkamera detektiert und lokalisiert, so dass eine zielgerichtete Probennahme erfolgen konnte. Auf bestmögliche Hygiene bei der Probennahme wurde stets geachtet. Um Kontaminationen des Probenmaterials zu vermeiden, wurden, je nach Vorkommen, zuerst die unauffälligen, anschließend die erwärmten und zuletzt die „verpilzten“ Proben unter Verwendung neuer Einweghandschuhe entnommen. Das Material wurde noch vor Ort unter Vakuum in Folie verschweißt und gekühlt. Bis zur mikrobiologischen Untersuchung wurden die Silagen zwischen zwei und vier Wochen in einem Kühlraum der LfL, Grub bei 4 °C gelagert.

Nach der gekühlten Überführung des Probenmaterials an den Lehrstuhl für Tierhygiene der TU München wurden 15-20 g für die mikrobiologische Untersuchung entnommen und weitere 50 -100 g zur mykotoxikologischen Untersuchung in neue Plastikbeutel überführt. Diese wurden bis zum erneuten Gebrauch bei -20 °C gelagert.

Tab. 1: Zeitliche und qualitative Verteilung der untersuchten Probenmaterialien über drei Probennahmezeiträume

Probenart	Probenqualität	2006	2006/2007	2007	gesamt
Grassilage	normal	49	31	46	126
	erwärmt	25	7	17	49
	verpilzt	44	27	34	105
Maissilage	normal	45	27	46	118
	erwärmt	35	15	28	78
	verpilzt	43	26	39	108
gesamt		241	133	210	584

Gebrauchsmaterial:

Laborschüttler (JAHNKE & KUNKEL KS 250)

Verbrauchsmaterial:

Peptonlösung 1 %

10 g Pepton (MERCK Nr. 7213),

8,5 g NaCl

1000 ml H₂O

Sabouraud-Agar

Sabouraud-2 % Glucose-Agar (MERCK Nr. 7315)

400.000 IE Penicillin G (SIGMA Nr. PEN-NA)/1000 ml

40 mg Streptomycin (SIGMA Nr. S 6501)/1000 ml

Dichloran-Glycerin-18-Agar (DG-18 Agar)

Dichloran-Glycerol-Agar (OXOID Nr. CM 729)

20 mg Chlortetracyclin HCl (SIGMA Nr. C 4881)/1000 ml

4.4.2 Bestimmung des Keimgehaltes und der Keimarten

Zum qualitativen und quantitativen Nachweis von Schimmelpilzen wurde das von Gedek [14] beschriebene Oberflächenkultur-Spatelverfahren herangezogen. Von den jeweiligen Gärfuttermitteln wurden 10 g in einen Erlenmeyerkolben eingewogen und mit 90 ml steriler 1 %iger Peptonlösung versetzt. Anschließend wurde der Inhalt auf einem Horizontalschüttler 30 min (200 U/min) bei Raumtemperatur suspendiert. Abhängig von der sensorischen Bewertung des Verderbnisgrades wurde von den Suspensionen eine Verdünnungsreihe bis zu 10^{-6} hergestellt. Jeweils 100 μ l dieser Verdünnungsstufen wurden auf zwei Selektivmedien (Sabouraud-, Dichloran-Glycerin-18-Agar) ausgespatelt, so dass sich bei geringster Verdünnungsstufe 10^{-2} Grammäquivalent Futtermittel auf einer Agarplatte befanden, bei der höchsten noch 10^{-7} Grammäquivalent. Hieraus resultierte eine Nachweisgrenze von 100 Kolonien bildende Einheiten (KBE) pro Gramm Futtermittel. Die Agarplatten wurden im Brutschrank für 24 h bei 37 °C und anschließend für weitere 8 Tage lichtgeschützt bei 20 °C aerob bebrütet.

Für die quantitative Auswertung wurden Agarplatten mit bis zu 500 Kolonien ausgezählt. Dabei wurde für verschiedene Mikroorganismen jener Agartyp verwendet, welcher das bessere Wachstum ermöglichte. Unterschiedliche Verdünnungsstufen konnten mit dem jeweiligen Reziproken multipliziert und der Mittelwert daraus abgeleitet werden. Daraus ergab sich die Anzahl KBE pro Gramm Silage. Die qualitative Differenzierung der einzelnen Schimmelpilze erfolgte anhand koloniemorphologischer und mikroskopischer Merkmale. Sprossspitzen wurden nicht genauer bestimmt und unter dem Sammelbegriff Hefen zusammengefasst.

4.5 Zellbiologische Untersuchungen

1. Zelllinie

Für die zellbiologischen Untersuchungen wurden V79-Zellen (chinesische Hamsterlungenzellen) verwendet. Deren Aufbewahrung bis zur Verwendung erfolgte in flüssigem Stickstoff bei -196 °C.

Alle Angaben zu den verwendeten Zellkulturmedien und Reagenzien, sowie den Geräten und Verbrauchsmaterialien finden sich in der aus diesem Projekt hervorgegangenen Dissertation [27].

2. Zellkulturtechnik

Zur Untersuchung der Zytotoxizität sowie des genotoxischen Potentials von Trypacidin wurden kryokonservierte V79-Zellen verwendet. Diese wurden in 35 °C warmem Wasser aufgetaut um anschließend in 20 ml Zellkulturmedium aufgenommen und wieder abzentrifugiert zu werden. Das Pellet wurde in 10 ml resuspendiert, mit 50 ml RPMI-Nährmedium

(10 % fetales Kälberserum) vermennt und Aliquote in Zellkulturflaschen gegeben. Die Anzucht erfolgte bei 37 °C im Brutschrank. Die adhärennten V79-Zellen bilden eine einreihige Zellschicht, einen so genannten Monolayer aus, welcher nach einigen Tagen Inkubation den gesamten Flaschenboden (bzw. breite Seitenfläche) bedeckt. Die Ablösung der Zellen erfolgte mittels Saliner Trypsin-Versen (STV)-Lösung. Nach dem Abzentrifugieren der Zellen wurde das Pellet in Nährlösung resuspendiert.

3. MTT-Test

Die zytotoxische Wirksamkeit der isolierten Verbindungen Trypacidin wurde mit dem so genannten MTT-Testverfahren untersucht. Dieses beruht auf der Bestimmung der Aktivität mitochondrialer Dehydrogenasen. Die Dehydrogenase setzt bei vitalen Zellen wasserlösliches MTT, 3-[4,5-Dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyltetrazoliumbromid, in ein wasserunlösliches, dunkelblaues Formazanderivat, 1-[4,5-Dimethylthiazol-2-yl]-3,5-diphenylformazan, um.

Nachdem die Zellen mit der zu testenden Verbindung inkubiert wurden, wird MTT-Lösung (20 µl) hinzu gegeben. Der erneuten Inkubation (1 h) folgt die Auflösung der Formazankristalle mit 100 µl Dimethylsulfoxid (DMSO) je Kavität. Die Platten werden kurz geschüttelt und die optische Dichte der Lösung mit Hilfe eines Photometers bestimmt (490 nm).

Zur Auswertung des MTT-Tests werden die konzentrationsbezogenen Werte der optischen Dichte gemittelt. Da diese der mitochondrialen Aktivität in den Zellen entsprechen, kann die durchschnittliche Aktivität in den Versuchsgruppen mit denen der Kontrollgruppe verglichen und so die zytotoxische Wirksamkeit der zu testenden Verbindung bestimmt werden.

4. Prüfung von Trypacidin auf zytotoxische Wirksamkeit

Die 96 Kavitäten einer Mikrotiterplatte wurden mit 50 µl einer Zellsuspension gefüllt, deren Konzentration zuvor mit Hilfe einer Neubauer-Zählkammer auf 2×10^6 Zellen/ml eingestellt wurde.

Kristallines Trypacidin wurde in Acetonitril (ACN) gelöst, so dass sich eine 100 µg/ml Stocklösung ergab. Von dieser wurden 500 µl in ein Glasfläschchen überführt und niedertrocknet. Der Rückstand wurde in 25 µl einer Aceton/DMSO-Lösung (4/1) resolviert und diese mit Zellkulturmedium auf ein Volumen von 500 µl gebracht. Diese Konzentration stellte den Anfang einer 1:2-Verdünnungsreihe mit Zellkulturmedium dar, welche bis zur Verdünnungsstufe 1:128 fortgesetzt wurde. Je 50 µl wurden im Dreifachansatz in Kavitäten einer vorbereiteten Mikrotiterplatte gegeben. Als Zellkontrolle diente eine unbehandelte Reihe an Vertiefungen (Doppelansatz), als Toxinkontrolle eine Verdünnungsreihe des *Aspergillus fumigatus*-Toxins Gliotoxin. Die äußersten Reihen der Platte wurden mit reinem Wasser gefüllt, da hier Randeffekte und daher fehlerhafte Versuchsergebnisse nicht auszuschließen sind. Die befüllte Mikrotiterplatte wurde anschließend für 72 h in den Brutschrank (37 °C) gelegt und nach dem zuvor beschriebenen Verfahren ausgewertet.

5. Prüfung von Trypacidin auf genotoxische Wirksamkeit

Um das genotoxische Potential von Trypacidin zu ermitteln, wurde ein Mikronukleus-Test mit V79-Zellen durchgeführt. Als Maß für das genotoxische Potential dient die Anzahl gebildeter Mikrokerne je Zelle, bzw. die Häufigkeit mikrokernhaltiger Zellen. Die Bildung der Mikronuklei wird durch Veränderungen im Erbgut (Chromosomenaberrationen) bedingt. Zeigt sich eine durch die Substanz bedingte Erhöhung der Anzahl auftretender Mik-

ronuklei (MN), kann davon ausgegangen werden, dass diese eine Chromosomen brechende (mehr kleine MN), oder den Spindelapparat beeinträchtigende Wirksamkeit (vermehrt große MN mit intakten Chromosomen) besitzt.

Um verfälschende zytotoxischen Effekte auf das Ergebnis ausschließen zu können, wurde Trypacidin bei einer Konzentration getestet, welche im vorangegangenen MTT-Test keine betreffende Wirksamkeit mehr zeigte ($< 3,1 \mu\text{g/ml}$). Als Positivkontrolle diente Aflatoxin B₁, welches als äußerst stark genotoxisch wirkende Substanz bekannt ist. Die Konzentration von Aflatoxin B₁ betrug $0,025 \mu\text{g/ml}$, wobei die hierfür verwendete Stocklösung unmittelbar vor der Untersuchung hergestellt wurde.

In die Vertiefungen der verwendeten 24-Loch-Platten wurde je ein steriles Kunststoffdeckglas gelegt und mit 1 ml einer Zellsuspension (1×10^5 Zellen/ml) überschichtet. Nach 24-stündiger Inkubation bei 37°C wurde das Medium entfernt und $0,5 \text{ ml}$ der Testlösung, sowie $0,5 \text{ ml}$ eines S9-Mixes ($20 \mu\text{l}$ S9-Rattenleberextrakt + je $50 \mu\text{l}$ Cofaktor + $50 \mu\text{l}$ Phosphatpuffer + $230 \mu\text{l}$ Aqua dest.) für die metabolische Aktivierung hinzu gegeben. Sowohl eine Zellkontrolle als auch die Kontrolle des S9-Mixes blieben frei von Testlösung. Nach 4-stündiger Inkubation (37°C) wurde die Testmischung entfernt, durch frisches Medium ersetzt und die Platte weitere 24 Stunden in den Brutschrank (37°C) gegeben. Die Auswertung erfolgte mittels Fluoreszenzmikroskop nach Anfärbung der DNS mit dem Fluoreszenzfarbstoff DAPI. Die 1000 ausgezählten Zellen je Platte wurden nach Vorkommen von Nuklei, sowie deren Anzahl je Zelle unterschieden und deren Häufigkeiten vermerkt.

4.6 Mykotoxikologische Untersuchungen

Alle Arbeiten mit *Aspergillus fumigatus*-Stämmen wurden unter Einhaltung der notwendigen Sicherheitsmaßnahmen in einem Labor der Sicherheitsstufe 2 durchgeführt.

Referenzsubstanzen:

Aspergillus fumigatus-Toxine: Gliotoxin, Verruculogen, Fumitremorgen C und Fumagillin (alle SIGMA).

weitere verwendete Mykotoxine: Mykophenolsäure, Roquefortin C, Monacolin K_L, Aflatoxin B₁ (alle SIGMA)

Lösungsmittel für Stocklösung: Acetonitril

Konzentration der Stocklösungen: 100 bzw. $10 \mu\text{g/ml}$

Hergestellte Standardlösungen wurden bei -20°C aufbewahrt.

Gebrauchsmaterial:

Laborschüttler (JAHNKE & KUNKEL KS 250)

Vakuumentrifuge (CHRIST, RVC 2-25, Osterode)

Kühlfalle (CHRIST, CT 04-50, Osterode)

Gefriertrocknungsanlage (CHRIST, Alpha I-5, Osterode)

Ultraturrax (IKA-Werke, T25-BASIC, Staufen)

Hochleistungsflüssigkeitschromatographie-Tandemmassenspektrometrie:

HPLC-Anlage (PERKIN-ELMER, Series 200)

- Probeninjektor (PERKIN-ELMER, Series 200)

- Säulenofen (PERKIN-ELMER, Series 200)
 - 2 HPLC-Pumpen (PERKIN-ELMER, Series 200)
- Massenspektrometer API 3200 (SCIEX, Toronto, Kanada)
- C₁₈-RP HPLC-Säule „SunFire“™ 5 µm, 10 x 150 mm (WATERS, Nr. 186002563)
- C₁₈-RP HPLC-Säule “SunFire”™ 3,5 µm, 2,1 x 150 mm (WATERS, Nr. 186002535)
- Security Guard Cartridge, Gemini C₁₈ 4 x 2,0 mm (PHENOMENEX, AJO-7596)

Angaben zu den verwendeten Verbrauchsmaterialien und Chemikalien wurden an anderer Stelle in vollständigem Umfang gemacht [27].

Mikroorganismen

Aspergillus fumigatus (Stämme A5, A7, A8, A19; Lehrstuhl für Tierhygiene, TUM)

Neosartorya fischeri (Wehmer) Malloch & Cain (Deutsche Sammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ), DSM No. 3700)

Penicillium simplicissimum (Oudemans) Thom (DSMZ, DSM No. 1097)

4.6.1 Herstellung kommerziell nicht angebotener Mykotoxinstandards

Da sich die Untersuchungen nicht nur auf käuflich erwerbbar *A. fumigatus*-Toxine beschränken sollten, war ein bedeutender Teil des wissenschaftlichen Vorhabens die Herstellung von weiteren Referenzsubstanzen.

Toxinproduktion

Von einer *A. fumigatus*-Kultur (Stamm A19) auf SAB-Agarplatten wurde eine Sporensuspension in PBS-Lösung (Konzentration = 10⁸ Sporen/ml) hergestellt und von dieser 1 ml auf autoklaviertem Reis (100 g Reis + 100 ml Wasser, 121 °C, 15 min) verteilt. Anschließend wurde der Pilz 14 Tage bei ca. 20 °C angezüchtet. Mit dem erhaltenen Ausgangssubstrat wurden Vorversuche durchgeführt, um eine optimale Ausbeute und Reinheit an zusätzlichen Referenzsubstanzen zu erreichen (Abb. 3). Im Vorfeld der Isolierung von bestimmten Mykotoxinen wurden die den jeweiligen gesuchten Substanzen entsprechenden Molekülmassen mittels eines massenspektrometrischen Scans detektiert und bei ausreichender Signalintensität die entsprechenden Fragmente bestimmt. Hierzu wurde ein mit Acetonitril/Wasser (50:50, v/v) verdünntes und filtriertes (0,2 µm) Acetonitril/Wasser-Extrakt (84:16, v/v) einer 14 Tage alten *A. fumigatus*-Reiskultur mit einer 1 ml-Spritze direkt in die Quelle des Tandem-Massenspektrometers injiziert. Der Massenbereich von 100 bis 700 Da wurde in Schritten von 100 Da im Q1-Scan Modus auf zutreffende Massen untersucht. Hierbei wurden möglicherweise auftretende Addukt-, bzw. Abspaltungsprodukt-Massen berücksichtigt. Beide Ionisierungsmöglichkeiten, ESI+ und ESI-, des Massenspektrometers wurden genutzt. Konnte den vermehrt auftretenden Quasimolekülgrößen ein von *Aspergillus fumigatus* gebildetes Mykotoxin zugeordnet werden, wurden die Massenübergänge mit Hilfe der Gerätesoftware automatisch bestimmt. War die Konzentration hierfür zu gering, wurden manuell optimierte Spektren der Fragmentierungsprodukte angefertigt und die erhaltenen Werte in der für die Aufreinigung bestimmten HPLC-MS/MS-Methode gespeichert.

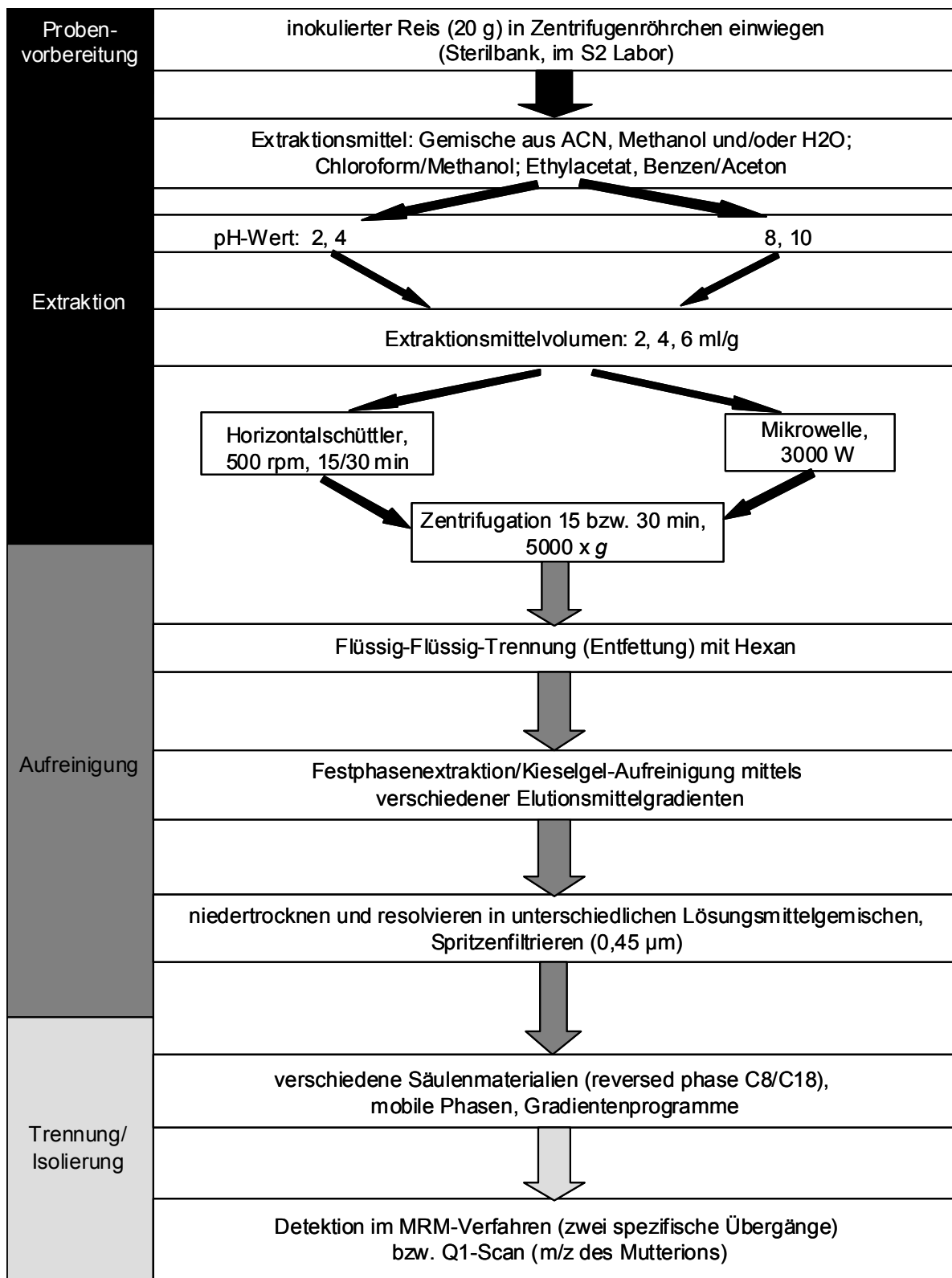


Abb. 3: Maßnahmen zur Isolierung nicht kommerziell verfügbarer *Aspergillus fumigatus*-Toxine

Die Extraktion, Aufreinigung, Trennung und Isolierung der Referenzsubstanzen wurde an anderer Stelle beschrieben [27].

4.7 Voruntersuchungen zur mykotoxikologischen Analyse der Silageproben

Als Basis für die Methodenentwicklung, wie auch die Herstellung von Matrix assistierten Standards, dienten hochwertige Gras- und Maissilagen der Herkunft Versuchsgut Hirschau der TU München und Versuchsstation Grub der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Die Lagerung des Probenmaterials erfolgte lichtgeschützt (-20 °C).

Um den bestmöglichen Nachweis von *A. fumigatus*-Toxinen in Silagen gewährleisten zu können, wurden zahlreiche Vorversuche durchgeführt. Für alle Versuche wurde mit Acetonitril (100 %) verdünntes (1:100) Reisextrakt (Acetonitril/Wasser, 84:16, v/v) verwendet, welchem zusätzlich die Mykotoxine Gliotoxin, Fumagillin, Mykophenolsäure, Roquefortin C und Monacolin K_L zugefügt wurden (je 100 ng/ml). Diese Lösung wird im Folgenden als „Reisextrakt +“ bezeichnet.

Probenmenge

Das maximale Probengewicht von 10 g Silage war aufgrund des teilweise sehr trockenen Probenmaterials (bis zu 50 % Trockenmasse) mit geringer spezifischer Dichte vorgegeben. Die verwendeten 50 ml-Zentrifugenröhrchen waren maximal befüllt. Eine Extraktion größerer Mengen Probenmaterials hätte zu einem deutlichen Anstieg der eingesetzten Chemikalien, sowie des Arbeitsaufwands geführt.

Extraktionsmittel

Zur Optimierung des Extraktionserfolgs wurden unterschiedliche Lösungsmittel und Lösungsmittelgemische auf deren Eignung untersucht (Tab. 2). Die Extraktion von 5 g artifiziell kontaminiertem Probenmaterial erfolgte mit je 20 ml des Lösungsmittels. Der Erfolg der jeweiligen Extraktionsmittel wurde mittels „Reisextrakt +“ als externem Standard semiquantitativ bestimmt.

Aufreinigung

Um eine möglichst effektive Aufreinigung des Extrakts zu erreichen, wurden verschiedene Festphasenextraktionssäulen und eine auf dem Filtrationsprinzip basierende Aufreinigungssäule miteinander verglichen:

strata-X 33 µm, 30 mg/1 ml; Phenomenex

strata 50 µm, Tri-Func., C18-E, 100 mg/ml, Phenomenex

Bond Elut®, Varian

MycoSep® 226 AflaZon+, Romer Labs®

Alternativ wurde ein Verfahren getestet, welches ausschließlich auf den unterschiedlichen Löslichkeiten der extrahierten Stoffe beruht. Hierzu wurde das Extrakt niedertrocknet, in einem Methanol/Wasser-Gemisch (50:50, v/v) resolviert und unlösliche Anteile mittels Spritzenfiltration abgetrennt.

Trennung und Detektion

Die Entwicklung einer HPLC-Trennmethode bedarf der Optimierung und Abstimmung von mehreren Parametern aufeinander. Einerseits muss ein Lösungsmittelgemisch gefunden werden, welches die Retention aller Analyten am verwendeten Material der Trennsäule zulässt, diese jedoch auch rückstandslos wieder vom Säulenmaterial verdrängt, um ein sogenanntes „Bluten“ der Säule zu verhindern. Außerdem sollte die Ionisierung des Analyten im Detektionssystem durch die mobile Phase nicht negativ beeinträchtigt werden.

Andererseits muss ein Säulenmaterial gefunden werden, welches alle untersuchten Analyten gleichmäßig retendiert und eine optimale Trennung dieser bewirkt.

Tab. 2: Versuchsaufbau zur Definition des bestgeeigneten Extraktionsmittels für den Nachweis von *Aspergillus fumigatus*- und anderen Mykotoxinen aus Gras- und Maissilagen

Extraktionsmittel				
MeOH/H ₂ O (50:50)	ACN/MeOH/H ₂ O (25:50:25)	ACN/H ₂ O (84:16)	C ₃ H ₈ O/MeOH (90:10)	Ethylacetat 100 %

je fünf Gramm Silage (Dreifachansatz) wurden artifiziell kontaminiert
(Reisextrakt +)

+ 20 ml Extraktionsmittel

Horizontalschüttler 30 min.

Zentrifuge 30 min., 5000 x g

200 µl abnehmen

+ 600 µl Reinstwasser	niedertrocknen, in 800 µl Acetonitril/Wasser (20:80) lösen
Filtration (Porenweite 0,45 µm)	
HPLC-MS/MS-Analyse, Quantifizierung mit externen Standards (Reisextrakt +)	

Das Material muss des Weiteren kompatibel mit der jeweils verwendeten mobilen Phase sein. Die Vorversuche wurden mit aufbereitetem Reisextrakt (Reisextrakt +) durchgeführt, welches einen Großteil der nachzuweisenden Stoffe in ausreichenden Konzentrationen enthielt. Verglichen wurden folgende Säulenmaterialien:

Synergi, C₁₈ RP, Phenomenex

Atlantis, C₁₈ RP, Waters

Gemini, C₁₈ RP, Phenomenex

Sunfire, C₁₈ RP, Waters

Luna, C₈ RP, Waters

Dabei wurden jeweils folgende Lösungsmittelgemische als mobile Phase verwendet:

Methanol/Wasser rein

Methanol/Wasser + 5 mM Ammoniumformiat

Methanol/Wasser + 0,005 % Ameisensäure

Acetonitril/Wasser rein

Acetonitril/Wasser + 5 mM Ammoniumformiat (nur in der wässrigen Phase)

Acetonitril/Wasser + 0,005 % Ameisensäure

Die Detektion der Analyten mittels Tandem-Massenspektrometrie wurde, nachdem diese aufgereinigt und –konzentriert wurden, unter Verwendung der Gerätesoftware automatisch optimiert. Für jede Substanz wurden die optimalen Parametereinstellungen des Massenspektrometers ermittelt (Quellentemperatur, Ionisationsspannung, Gasflüsse und Potentiale). Hierzu wurde der betreffende Analyt in einem Lösungsmittelgemisch gelöst, welches theoretisch zum Zeitpunkt der Elution der Substanz von der Säule vorlag. Die eingestellte Konzentration betrug ca. 1 µg/ml. Je zwei der besten Massenübergänge (Mutterion/Tochterion) der jeweiligen Moleküle wurden in die Messmethode integriert, einer als sogenannter „Quantifier“ zur Quantifizierung der Substanz, der andere als „Qualifier“, um falsch-positive Messungen nahezu ausschließen zu können.

Um eine Multimethode für alle Analyten zu erhalten, galt es einen Kompromiss zu finden, dessen Einstellungen der Quellenparameter (Temperatur, Spannung, Gasfluss), sowie der verwendeten Kollisionsenergie zur Fragmentierung der Moleküle, die Detektion aller Substanzen in befriedigendem Maße ermöglicht. Hierzu wurden entsprechende Messserien durchgeführt, wobei jeweils nur einer der Quellenparameter schrittweise verändert wurde.

Um Matrix abhängige Unterschiede hinsichtlich der erfassten Signalintensitäten feststellen zu können, wurden in reinen Lösungen und Probenmatrix gelöste Standards gleicher Konzentration verwendet.

4.7.1 Beschreibung der mykotoxikologischen Untersuchungsmethode

Die Ergebnisse der durchgeführten Vorversuche zur optimierten Gewinnung sekundärer *Aspergillus fumigatus*-Stoffwechselmetaboliten sowie zur Analyse des Probenmaterials führten zu folgender Messmethode.

Die Einwaage von 10 g Gras- oder Maissilage erfolgte in ein 50 ml Zentrifugenröhrchen. Zur Extraktion wurden 30 ml eines Acetonitril/Wasser-Gemisches im Verhältnis 84:16 (v/v) hinzugegeben und die Suspension für 30 min geschüttelt (Horizontalschüttler, 500 U/min). Anschließend wurden die Zentrifugenröhrchen für 15 min beschleunigt (ca. 5000 x g), die partikulären Bestandteile abgetrennt und 1,5 ml des Überstands (äquivalent zu 0,25 g Frischmasse) in ein Reagenzglas überführt. Das Lösungsmittel wurde unter Vakuum vollständig verdampft (ca. 2 h bei 50 °C) und der Rückstand in 0,5 ml eines Methanol/Wasser-Gemisches im Verhältnis 50:50 (v/v) gelöst. Nach Behandlung mit Ultraschall wurde das Lösungsmittel in eine Einmalspritze überführt und über einen aufgesetzten Spritzenfilter (Porenweite = 0,45 µm) in ein HPLC-Fläschchen (Crimp Vial) injiziert. Dabei wurden nicht gelöste Bestandteile abgetrennt. Das Crimp Vial mit dem gereinigten Extrakt wurde unverzüglich verschlossen und zur Lagerung in einen Gefrierschrank gegeben.

Für die Trennung der einzelnen Substanzen mittels HPLC-Trennverfahren wurden 15 µl der aufgetauten und geschüttelten (Vortex) Probenlösung durch ein automatisches Probenaufgabesystem in einen Loop des Volumens 100 µl injiziert, wobei ein zusätzliches Probenvolumen von 5 µl, welches der Absicherung dient, gewährt wurde. Der Ventilationsmodus wurde auf partielle Befüllung und Entleerung eingestellt.

Nach der Injektion der Probe in den Hochdruckbereich des HPLC-Systems wurden die Bestandteile mittels eines Gemischs aus Methanol und Wasser, jeweils 5 mM Ammoni-

umformiat enthaltend, mit einem kontinuierlichen Volumenstrom von 200 µl/min zur Trennsäule transportiert. Diese wurde zu deren Schutz mit einer Vorsäule versehen, welche die Fällung von Substanzen auf dem eigentlichen Trennsäulenmaterial verhindern sollte. Der anfänglich hohe Wassergehalt des Fließmittels von 90 % wurde für 3 Minuten beibehalten. Anschließend wurde der Anteil des Methanols stetig erhöht, bis dieser 100 % erreicht hatte. Die mobile Phase wurde für weitere 10 Minuten konstant gehalten, um auch unpolare Substanzen, welche vom C₁₈-Material der Trennsäule stark retentiert wurden, verdrängen zu können und die Anlage vor Schäden zu bewahren. Anschließend wurde das Verhältnis von Methanol zu Wasser innerhalb einer halben Minute auf 10:90 (v/v) gebracht. Während der Equilibrierung des Systems (1 Minute) und der Injektion der nachfolgenden Probenlösung wurde dieses Verhältnis konstant gehalten.

Der Trennung der Substanzen schloss sich deren Detektion mittels Tandem-Massenspektrometrie im positiven Elektrospray-Ionisierungs-Modus an. Hierzu wurden je zwei spezifische Massenpaare/Übergänge der Analyten verwendet. Die Detektion dieser und deren Verhältnis zueinander dienten, gemeinsam mit der zu erwartenden Retentionszeit, zur zweifelsfreien Identifizierung der jeweiligen Substanz. Die Zeit zwischen zwei Messpunkten einer Substanz betrug dabei ca. 1,5 Sekunden, so dass eine zuverlässige Quantifizierung möglich war. Diese erfolgte anhand des Vergleichs der Peakflächen von Probe und in Matrix gelösten, externen Standards.

4.7.2 Untersuchung des Probenmaterials

Mitte Februar 2008 wurde mit der Aufbereitung des Probenmaterials begonnen, so dass Ende März von allen 584 Silageproben aufgereinigte Extrakte, sowie Rohextrakte für eventuell nachfolgende Untersuchungen vorlagen. Die Messung erfolgte nach Abschluss aller Optimierungen von Anfang März bis Ende April. Die manuelle Überprüfung von ca. 20.000 Aufzeichnungen der Massenpaare wurde Anfang Mai abgeschlossen und umgehend mit der Auswertung des Datensatzes begonnen.

4.7.3 Statistische Auswertungen

Die Auswertung der Fragebögen, der Dichte- und Temperaturmessungen und der Analysergebnisse wurden mit dem Programm Excel 2000 (Office 2000, Windows XP, Microsoft) durchgeführt und ein Datensatz mit allen Messergebnissen zusammengestellt. Dieser diente der Verrechnung mit dem Programmpaket SAS 9.1 mit der Prozedur GLM (General linear Model).

5 Ergebnisse

5.1 Instrumente des Silomanagements

Über die Futterkonservierung lässt sich die Versorgung der landwirtschaftlichen Nutztiere im Stall ganzjährig gewährleisten. Unter den Konservierungsverfahren hat die Fermentation (Silagebereitung) die größte Bedeutung erlangt. Bei diesem Verfahren kommt neben der Optimierung des Konservierungsverfahrens der Bestimmung des Erntezeitpunktes eine zentrale Rolle zu, da die Veränderungen im Nährstoffgehalt sich mengenmäßig stärker auswirken als die Reduzierung der Verluste. Da neben der wachsenden Mechanisierung der Erntetechnik der Konservierungserfolg durch die Einlagerungstechnik bestimmt wird, ist ein optimiertes Silomanagement notwendig. Ein Instrument des Silomanagements ist dabei das Controlling am Silo. Damit wird das Risiko der Beeinträchtigung der tierischen

Leistung, der Tiergesundheit, des wirtschaftlichen Erfolges und der Qualitätsbeeinflussung der Lebensmittel tierischen Ursprungs gemindert.

Es lassen sich damit mögliche Fehler frühzeitig erkennen und auch vermeiden. Dies erlaubt im Sinne des Controllings eine bessere Steuerung der Produktion.

Ein weiterer Punkt ist die Probenahme mit Beurteilung der Sensorik (Geruch, Farbe usw.) und Bestimmung der chemischen Gärparameter zur Messung des Siliererfolges und zur Bestimmung der Gärqualität.

Relevante Punkte für das Controlling bei Siloanlagen sind:

- **Bestimmung des Erntetermins**
 - mit Ertragsmessung oder Abschätzung
 - mit TM-Bestimmung
 - mit Abstimmung der Erntetechnik mit der Einlagerungstechnik
- **Führung einer Silokartei mittels Silierprotokoll**
- **Durchführung von Futterwertanalysen (Grün- bzw. Siliergut)**
- **Dichtemessung mit Probenbohrer**
- **Temperaturmessung mittels Wärmebildkamera und Temperatursonde**

Über die Erfassung von Futtermittelverzehr und erfüllter Leistung an Milch oder Fleisch wird die Beurteilung des Siliererfolges abgerundet.

In den weiteren Punkten werden die Ergebnisse des Controllings am Silo dargestellt, eingeordnet und soweit möglich diskutiert. Das Ziel ist die Beurteilung der Situation in der bayerischen Praxis und die Ableitung von Empfehlungen für die Beratung. Die Ergebnisse umfassen die Angaben zu den Betrieben, das Silierprotokoll, das Controlling am Siloanschnitt und die Daten zu den Futteranalysen.

5.2 Angaben zu den ausgewählten Betrieben

In den drei ausgewählten Regionen wurden die beteiligten Betriebe überwiegend aus Arbeitskreisbetrieben zusammengestellt. In Rosenheim wurden ausschließlich und in Schwandorf und Roth überwiegend Betriebe aus Arbeitskreisen ausgewählt. In Roth waren eine Reihe von Schülerbetrieben aus der Landwirtschaftsschule einbezogen. Im Vergleich zu den mittleren Betriebskennwerten der Region ist zu beachten, dass vornehmlich größere entwicklungsfähige Betriebe zusammengefasst wurden (Tab. 3).

Die Milchleistung in diesen Betrieben steigt von Norden (Roth) nach Süden (Rosenheim) an. Dies trifft in gleicher Weise für die mittlere Anzahl der Kühe je Betrieb und den GV-Besatz je ha zu. Die Milchleistung der beprobten Betriebe liegt deutlich über dem Landesdurchschnitt (Tab. 4). Dies war auch ein erklärtes Ziel solche Betriebe auszuwählen und für diese ein System zu entwickeln Verluste durch das Controlling am Silo zu mindern und den Betriebserfolg zu erhöhen. Die ausgewählten Betriebe haben mit im Mittel 50 bis 60 Milchkuhen plus Nachzucht bei Unterstellung der Daten aus der Betriebszweigabrechnung Milch (BZA-Bayern) etwa 50.000 bis 60.000 Euro Vollkosten für die Erzeugung von Gras- und Maissilage. Durch Reduktion der Futtermittelverluste um 1 %-Punkt resultieren daher Einsparungen von ca. 600 Euro je Betrieb und Jahr.

Die beprobten Betriebe sind wie ausgeführt hinsichtlich der Größe, der Leistung und der Einbindung in die Beratung als überdurchschnittlich anzusehen. Unterschiedlich ist die

Futtergrundlage zwischen den Regionen und die Intensität insbesondere der Grünlandbewirtschaftung. Dies äußert sich auch im Flächenbesatz mit Großvieheinheiten (GV), der mit 2,3 GV/ha im Kreis Rosenheim am höchsten ist.

Es wurden gezielt unterschiedliche regionale und betriebliche Bedingungen angestrebt. Die Betriebe erlauben keine Beurteilung der verschiedenen Agrarregionen, da keine Repräsentativität unterstellt werden kann.

Tab. 3: Überblick über die Betriebsdaten der beteiligten Betriebe in den unterschiedlichen Regionen

	LF in ha	AF in ha	GL in ha	GV n	GV/ ha	Milchkühe n	Milchleistung (LKV) in kg/Kuh/Jahr
Rosenheim (n=15)							
Mittelwert	40,8	17,9	22,9	90,9	2,3	56,8	7.840
s	10,9	10,6	7,0	21,8	0,4	11,5	1.042
Min.-Wert	23,9	2,7	10,6	48,6	1,6	29,8	6.557
Max.-Wert	67,9	46,7	38,4	132,0	3,0	79,1	10.165
Schwandorf (n=15)							
Mittelwert	64,4	44,4	20,0	98,1	1,5	51,1	7.651
s	16,8	13,8	6,2	26,2	0,2	12,8	738
Min.-Wert	32,2	19,6	10,4	58,0	1,0	26,0	6.308
Max.-Wert	101,7	75,1	30,6	156,0	1,9	72,0	8.988
Roth (n=15)							
Mittelwert	77,7	44,8	32,3	84,2	1,1	46,3	7.317
s	24,5	16,5	15,0	33,5	0,3	19,2	778
Min.-Wert	28,0	16,5	10,1	36,0	0,6	21,0	5.609
Max.-Wert	117,2	81,8	57,6	166,0	1,7	99,5	8.877

LF = landw. Fläche, AF = Ackerfläche, GL = Grünland, GV = Großvieheinheiten

Ergänzt werden die Praxisbetriebe um die Lehr-, Versuchs- und Fachzentren (LVFZ) der LfL und den Versuchsbetrieb Grub. Die Betriebe der LfL und der Spitalhof haben zwischen 60 und 190 Milchkühe und liegen in der Milchleistung zwischen 8.000 und 9.000 kg Milch je Kuh und Jahr. Die ausgewählten Betriebe umfassen eine relativ große Bandbreite spezialisierter Milchviehbetriebe. Zur Kennzeichnung und Einordnung der Ergebnisse zum Controlling am Silo werden im Weiteren die Angaben zur Silagegewinnung dargestellt. Die Daten sind nicht als repräsentativ für ganz Bayern anzusehen. Sie geben jedoch Hinweise zur aktuellen Situation.

Tab. 4: Vergleich der mittleren Milchleistung der beteiligten Betriebe nach Region mit den Daten aus der Milchleistungsprüfung des LKV in Bayern (2006)

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LKV-Daten bayernweit [19]
Milchkühe / Betrieb	56,8	51,1	46,3	32,1
Milchleistung in kg/Kuh und Jahr	7.840	7.651	7.317	6.788

5.3 Silierprotokoll

5.3.1 Angaben zur Silierung

Die Silierprotokolle wurden durch Mitarbeiter des ITE zusammen mit den Landwirten ausgefüllt und nötigenfalls Ergänzungen oder Plausibilitäten telefonisch nachgehalten. In den folgenden Tabellen (soweit nicht anders angegeben) wurden die Angaben zu allen beprobten Silagen, incl. Sandwichsilagen miteinbezogen. Unter Sandwichsilagen werden Silagen verstanden, in denen Gras- und Maissilagen in Schichten einsiliert wurden. Da nicht bei allen Silagen alle Angaben vorliegen, sind in der letzten Zeile der betreffenden Tabellen die Anzahl der Antworten und die Anzahl der beprobten Silagen angegeben.

5.3.1.1 Erntetermin

Grassilagen

Die Ermittlung des Erntetermins erfolgt in der Praxis über eine Abschätzung des Vegetationsstadiums und des gewünschten Ertrages. Vereinfacht ist die Durchschnittshöhe des Bestandes in Zentimeter der TM-Ertrag in dt/ha. Die Angaben in den Fragebögen zum Erntetermin zielten auf die Verteilung und Beschreibung der beprobten Futtermittel hin. Der erste Schnitt und der 4. Schnitt bzw. 3. Schnitt in Roth sind am stärksten vertreten (Tab. 5).

Bei Grassilagen ist der Schnitttermin im Hinblick auf Energiekonzentrationen von zentraler Bedeutung. Die durch die Witterung vorgegebene Schnittzeitspanne und die Schönwetterperioden bzw. Periodenlänge bestimmen den optimalen Erntetermin.

Tab. 5: Verteilung der beprobten Grassilagen auf die verschiedenen Schnitte (Angaben in %)

Erntetermin	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
1. Schnitt	37	34	37	20
2. Schnitt	11	20	17	25
3. Schnitt	8	17	40	15
4. Schnitt	29	29	6	25
5. Schnitt	13	0	0	15
6. Schnitt	3	0	0	0

Das Vegetationsstadium wurde anhand von botanischen Merkmalen abgefragt. Überwiegend wurde zum Zeitpunkt des Rispenschiebens gemäht. Die hohen Anteile des Schnittzeitpunktes im Schossen zeigen an, dass höhere Energiekonzentrationen angestrebt werden. Jahreszeitliche Schwankungen wurden hier nicht berücksichtigt. Es zeigt sich aber, dass die LVFZ gegenüber den beteiligten Praxisbetrieben frühere Schnitttermine (Schossen gegenüber Rispenschieben) bevorzugen (Tab. 6).

Tab. 6: Verteilung der angegebenen Schnittzeitpunkte der untersuchten Grassilagen (%)

Schnitt	Rosenheim		Schwandorf		Roth		LVFZ	
	1.	2.-6.	1.	2.-6.	1.	2.-6.	1.	2.-6.
Blattstadium	-	8,7	8,3	15,0	-	5,0	-	13,3
Schossen	21,4	21,7	33,3	25,0	-	-	-	46,7
Rispenschieben	50,0	65,2	33,3	45,0	64,3	55,0	66,7	26,7
Beginn der Blüte	21,4	4,3	8,3	15,0	35,7	35,0	33,3	13,3
Blüte	7,1	-	16,7		-	5,0	-	-

Die Dauer des Vorwelkens hat Einfluss auf die Trockenmassegehalte, die verfügbaren Zucker und den Karotingehalt. Dieser nimmt innerhalb eines Tages um mehr als die Hälfte ab [10]. Die Feldperiode wurde überwiegend mit 1-2 Tagen angegeben. Es lag aber auch ein hoher Anteil an Eintagessilagen vor (27-40 %). Standard ist demnach am ersten Tag mähen und am zweiten Tag silieren (Tab. 7).

Tab. 7: Angaben zum Anteil der Dauer der Feldperiode der beprobten Grassilagen

Feldperiode	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
< 1 Tag	32,4 %	27,3 %	40,6 %	26,7 %
< 2 Tage	67,6 %	69,7 %	53,1 %	73,3 %
< 3 Tage	0,0 %	3,0 %	6,3 %	0,0 %
n (n gesamt)	37 (38)	33 (35)	32 (35)	15 (20)

In den beiden Erntejahren 2006 und 2007 zeigt sich, dass die Silierbedingungen durch die Witterung begünstigt wurden. Es war nur vereinzelt Niederschlag während der Feldliegeperiode zu verzeichnen (Tab. 8).

Tab. 8: Angaben zum Anteil von Niederschlag während der Feldliegezeit bei den beprobten Grassilagen

Regen	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
ja	5,6 %	6,3 %	5,9 %	0 %
nein	94,4 %	93,7 %	94,1 %	100 %
n (n gesamt)	36 (38)	32 (35)	34 (35)	16 (20)

Maissilagen

Der Erntetermin von Mais wird schon im Frühjahr bei der Saat durch die Auswahl der Sorte mitbestimmt. Weiter von Bedeutung sind der Saattermin, die Bodenbedingungen und in erster Linie die Sonnenscheinstunden.

Tab. 9: Angaben zum Anteil der erreichten Kornabreife bei den beprobten Maissilagen

Reife	TM %	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
milchig teigförmig	40	14,7 %	9,4 %	8,6 %	11,1 %
teigartig, ohne Saftaustritt	45	8,8 %	6,3 %	14,3 %	11,1 %
Korn teilweise fest	50	8,8 %	25 %	34,3 %	33,3 %
Korn überwiegend fest	55	50,0 %	53,1 %	37,1 %	44,4 %
Korn hart	60	17,7 %	6,3 %	5,7 %	0 %
n (n gesamt)		34 (35)	32 (36)	35 (35)	9 (12)

Der Ertrag einer bestimmten Sorte ist dabei Ausdruck der Leistungsfähigkeit des Standorts in Verbindung mit einer die Nachhaltigkeit und Bodenfruchtbarkeit fördernden Fruchtfolge. Die erzielbaren Erträge von bis zu 200 dt TM/ha sollten mit einem ausgereiften Kolben und einer noch leicht grünen Restpflanze erzielt werden, mit einem ausreichenden Erntezeitfenster und einer TM der Gesamtpflanze von 28 - 35 %. Die Ernte sollte mit einer

theoretischen Häcksellänge von 4 - 7 mm mit ausreichender Zerkleinerung der Maiskörner erfolgen.

Aus der Tab. 9 sind die Angaben der Betriebe zur Abreife des Kornes bei der Ernte zu entnehmen. Die Kornabreife wird, anscheinend Standort bedingt, unterschiedlich eingeschätzt bzw. erreicht, jedoch wird der Zeitpunkt „Korn überwiegend fest“ als Erntezeitpunkt bei Mais am häufigsten erreicht.

Niederschlag war bei der Ernte des Silomaises außer vereinzelt in Schwandorf nicht zu verzeichnen (Tab. 10). Bei der Silomaisernte ist die Wetterlage offenbar leichter einzuschätzen oder das Zeitfenster auf Grund der direkten Ernte ohne Feldliegezeit besser zu bestimmen.

Tab. 10: Angaben zum Anteil von Niederschlag bei der Silomaisernte der beprobten Maissilagen

Regen	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
ja	0 %	5,6 %	0 %	0 %
nein	100 %	94,4 %	100 %	100 %
n (n gesamt)	35 (35)	36 (26)	35 (35)	8 (12)

5.3.1.2 Ernteverfahren/Verdichtung

Grassilagen

Die Schnitthöhe, so deuten Untersuchungen in Kempten an, kann zwischen 5-7 cm gewählt werden. Der Ertrag steigt mit geringerer Schnitthöhe an. Es muss dabei aber beachtet werden, dass je nach Standort Veränderungen im Pflanzenbestand möglich sind. Weiter ist zu beachten, gerade bei den Schnitten im Herbst, dass tiefer Mähen auch mehr Schmutz bedeutet und der Aschegehalt sich damit erhöht. Neben einer dichten Grasnarbe ist die Stoppelhöhe auch für die Durchlüftung und damit Unterstützung des Vorwelkens, insbesondere der Schwade von Vorteil. Die Aufwüchse werden laut Angaben (Tab. 11) auf einer mittleren Höhe von 7 cm abgemäht und entsprechen damit der Empfehlung.

Tab. 11: Angaben zur Schnitthöhe (cm) bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
cm	7,1	7,3	6,5	6,9
s	0,9	1,5	1,1	0,3
n (n gesamt)	31 (38)	26 (35)	32 (35)	16 (20)

Bei den Angaben zum Ernteverfahren ist zu beachten, dass der Ladewagen meist die Eigenmechanisierung darstellt und der Häcksler mehr den überbetrieblichen Einsatz (Tab. 12). Die Ernte erfolgt in Schwandorf und Roth überwiegend mit dem Ladewagen. In den LVFZ überwiegt der Häcksler. Die Betriebe in Rosenheim verwenden je hälftig Ladewagen oder Häcksler.

Tab. 12: Angaben zum Anteil der gewählten Ernteverfahren bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Ladewagen	54,1 %	61,8 %	65,7 %	22,2 %
Häcksler	45,9 %	38,2 %	34,3 %	77,8 %
n (n gesamt)	37 (38)	34 (35)	35 (35)	18 (20)

Aus der Tab. 13 ist die eingestellte Häcksellänge zu ersehen. Die Angaben zur Häcksellänge bei Gras entsprechen im Mittel den Beratungsempfehlungen, es liegen aber erhebliche Streuungen vor (Tab. 13). Beim Ladewagen liegen die angegebenen Schnittlängen höher.

Tab. 13: Angaben zur theoretisch eingestellten Häcksellänge (mm) bei den beprobten Grassilagen bei Einsatz von Ladewagen und Häcksler

Erntetechnik	Rosenheim		Schwandorf		Roth		LVFZ	
	Ladew.	Häcksler	Ladew.	Häcksler	Ladew.	Häcksler	Ladew.	Häcksler
Mittelwert	52,7	41,8	55,2	36,8	57,9	43,3	51,3	47,1
s	11,6	9,0	22,1	12,1	20,7	8,9	11,8	9,6
n (n gesamt)	13	17	14	11	21	12	4	12

Die Angaben zur eingesetzten Verdichtungstechnik zeigt Tab. 14. Die Verdichtungsarbeit ist wichtig für die Gärqualität, insbesondere aber für die Haltbarkeit der Silage nach dem Öffnen des Silos. Die Angaben zu den mittleren Gewichten der eingesetzten Schlepper und Radlader sind aus der Tabelle 15 zu ersehen.

Tab. 14: Angaben zur eingesetzten Verdichtungstechnik bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Schlepper	31,6 %	57,1 %	62,9 %	61,1 %
Radlader	68,4 %	42,9 %	37,1 %	38,9 %
n (n gesamt)	38 (38)	35 (35)	35 (35)	18 (20)

Dabei zeigt sich, dass die Gewichte beider Walzgeräte bei den LVFZ keine Differenzierung zuließen. Sonst aber die Radlader das höhere Gewicht aufzeigen, wie dies ursprünglich vermutet wurde. Auch hier ist der Einsatz von Radladern zur Walzarbeit verstärkt durch Lohnunternehmer oder Maschinenringe und der Schlepper mehr bei der Eigenmechanisierung zu sehen.

Wünschenswert wäre die Ertragsmessung am Häcksler bzw. Ladewagen evtl. auch mit einer TM-Abschätzung. Die Bestimmung des Futterwertes im Siliergut gibt eine schnelle Grundlage für eine sichere Rationsgestaltung. Diese wird durch die Führung einer Silokartei abgesichert. Mit der Ertragsabschätzung, besser Ertragsmessung, lässt sich auch der Siliermitteleinsatz optimieren, da nur so eine exakte Dosierung ermöglicht wird.

Tab. 15: Angaben zum Gewicht der zur Verdichtung eingesetzten Schlepper und Radlader der beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Schleppergewicht in t	6,3	8,6	4,9	9,1
s	2,2	3,6	1,6	2,6
Radladergewicht in t	15,2	12,2	12,3	10,3
s	4,2	1,6	3,5	2,4
n (n gesamt)	37 (38)	35 (35)	35 (35)	18 (20)

Maissilagen

Die angegebene Schnitthöhe bei Mais liegt generell über der Empfehlung von mindestens 15 cm (Tab. 16). Einmal kann durch die Schnitthöhe die Energiekonzentration in der Silage verändert werden. Zum anderen kann ein geringerer Aschegehalt angenommen werden, je höher geschnitten wird. Zuletzt deuten Untersuchungen auch eine geringere Fusariumtoxibelastung mit höherer Schnitthöhe an [11]. Im Erntejahr 2001 führte die Anhebung der Schnitthöhe von 20 cm auf 40 cm zu einer Reduzierung von DON im Erntegut um etwa 40 %.

Tab. 16: Angaben zur gewählten Schnitthöhe bei den beprobten Maissilagen (cm)

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Mittelwert	35,6	28,4	23,9	30,0
s	10,9	8,7	7,8	11,0
n (n gesamt)	27 (35)	33 (36)	33 (35)	8 (12)

Tab. 17: Angaben zur eingestellten theoretischen Häcksellänge bei den beprobten Maissilagen (mm)

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Mittelwert	9,3	9,6	10,0	8,1
s	4,5	6,0	3,9	3,0
n (n gesamt)	28 (35)	29 (36)	31 (35)	8 (12)

Die mittlere theoretische Häcksellänge bei Mais schwankt in den Angaben zwischen 8-10 mm (Tab. 17) Zwischen den Betrieben bestehen allerdings große Unterschiede wie die ausgewiesene Standardabweichung zeigt. Dies gilt insbesondere für die Betriebe aus dem Bereich Schwandorf.

Tab. 18: Angaben zur eingesetzten Verdichtungstechnik bei den beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Schlepper	14,3 %	41,7 %	51,4 %	44,4 %
Radlader	85,7 %	58,3 %	48,6 %	55,6 %
n (n gesamt)	35 (35)	36 (36)	35 (35)	9 (12)

Bei Mais, der überwiegend im Lohn gehäckselt wird, überwiegen bei der Verdichtung die Radlader. Auf Grund der unterschiedlichen Flächen und Erntemengen resultieren dennoch erhebliche Unterschiede in der kalkulierten Anfuhrleistung (Tab. 23). Erklären lassen sich diese mit einer unterschiedlichen Mechanisierung.

Die Angaben zu den Gewichten der eingesetzten Walzfahrzeuge entsprechen sich in etwa bei Mais und Gras (Tab. 15 und Tab. 19), da offensichtlich die gleichen Fahrzeuge eingesetzt wurden.

Tab. 19: Angaben zum Gewicht der zur Verdichtung eingesetzten Schlepper und Radlader der beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Schleppergewicht in t	5,7	8,6	4,9	9,2
s	2,0	3,2	1,4	3,1
Radladergewicht in t	14,7	12,4	12,6	10,6
s	3,8	1,5	3,5	2,9
n (n gesamt)	34 (35)	36 (36)	35 (35)	9 (12)

Um die geforderten Verdichtungen im Silo zu erzielen, werden folgende Empfehlungen gegeben. Die Walzleistung sollte das 2 - 3fache der Ernteleistung sein. Jede Stelle im Silo sollte 2 - 3mal überfahren werden. Die Schichtdicken sollten 20-30 cm betragen.

Die optimale Walzgeschwindigkeit liegt zwischen 2 – 3 km/h. Das Gewicht des Walzschleppers oder Radladers sollte auf die Reifenbreite abgestimmt werden, die schmalen Reifen sind dabei wirksamer als die breiten. Die Walzarbeit beeinflusst über die realisierte Dichte die Höhe der möglichen Verluste am geöffneten Silo.

Wenn Fremdmechanisierung in Anspruch genommen wird, ist es meist der Häcksler, die Walzarbeit wird vielfach selbst erledigt. Meist bestimmt deshalb die Erntemaschine die Bergeleistungen mit über 200 t Siliergut/h und letztlich die Qualität der Verdichtungsarbeit. Um nicht zu lange Zwischenlagerzeiten oder zu geringe Walzleistung in Kauf zu nehmen, sollte auch das gleichzeitige Befüllen von 2 Siloeinheiten überlegt werden.

5.3.1.3 Silierdauer

Grassilagen

Die angegebene mittlere Zeit zum Einsilieren schwankt zwischen 8 Stunden in Rosenheim und 15 Stunden in Roth. Dies lässt den Schluss zu, dass insbesondere in Roth häufig 2 Arbeitstage für ein Silo aufgewendet werden (Tab. 20).

Tab. 20: Angaben zur Silierdauer bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Silierdauer in h	7,9	9,7	14,9	7,4
s	7,6	9,0	13,3	2,2
n (n gesamt)	38 (38)	35 (35)	35 (35)	16 (20)

Dabei weisen die LVFZ neben der geringsten Dauer auch die geringsten Streuungen auf. Die Silierdauer steht in Übereinstimmung mit der Anfuhrleistung in Tab. 23. Ursächlich sind Unterschiede in der Organisation der Ernte.

Maissilagen

Bei den beprobten Maissilagen liegt die mittlere Silierdauer in allen Regionen etwa gleich (siehe Tab. 18). Erklären lässt sich dies durch den Einsatz des Häckslers.

Tab. 21: Angaben zur Silierdauer bei den beprobten Maissilos

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Silierdauer in h	7,5	7,9	9,2	8,0
s	5,4	7,8	4,1	3,0
n (n gesamt)	35 (35)	36 (36)	33 (35)	9 (12)

5.3.1.4 Anfuhrleistung

Zur Beurteilung des Silierverfahrens wurden ergänzend die Anfuhrleistungen am Silo kalkuliert. Im Weiteren werden das Vorgehen und die Ergebnisse für die Gras- und Maissilagen dargestellt.

Grassilagen

Die Anfuhrleistung wurde aus dem Volumen des Silos, der Silierdauer und der Dichte aus der Dichtebestimmung ermittelt (Tab. 22). Sie zeigt die höchste in Rosenheim und in den LVFZ auf und die niedrigste in Roth. Zwischen den Betrieben und Silos ist eine starke Streuung festzustellen, die auf unterschiedliche Verfahren zurückzuführen ist.

Tab. 22: Berechnete Anfuhrleistung bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Anfuhrleistung, t / h	39,2	23,7	15,4	38,5
s	26,7	15,8	13,3	23,4
n (n gesamt)	38 (38)	34 (35)	35 (35)	10 (20)

Maissilagen

Die Anfuhrleistung bei Mais ist höher als bei Gras. Dies ist auf den Häckslereinsatz im Lohn zurückzuführen. Auf Grund der unterschiedlichen Flächen und Erntemengen resultieren dennoch erhebliche Unterschiede in der Anfuhrleistung (Tab. 23). Erklären lassen sich diese mit einer unterschiedlichen Mechanisierung und Organisation.

Tab. 23: Berechnete Anfuhrleistung bei den beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Anfuhrleistung, t / h	50,0	42,1	29,2	53,0
s	29,1	29,6	21,8	25,6
n (n gesamt)	35 (35)	36 (36)	33 (35)	6 (12)

5.3.1.5 Siliermitteleinsatz

Grassilagen

Der Anteil Silos mit Siliermitteleinsatz entspricht bei Gras den Daten aus der LKV Abfrage. Es liegen allerdings deutliche regionale Unterschiede vor. In Rosenheim werden homofermentative Milchsäurebakterien (MSB) eingesetzt aber auch „Effektive Mikroorganismen“ (EM), die bei den anderen Standorten keine Rolle spielen. Die chemischen Siliermittel werden in geringem Umfang an allen Standorten außer den LVFZ eingesetzt (Tab. 24). Dies deutet zumindest darauf hin, dass Siliermittel immer noch nur bei schwierigen Bedingungen eingesetzt werden, nicht aber als strategisches Hilfsmittel.

Tab. 24: Angaben zum Anteil des Siliermitteleinsatzes bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
kein SM	73,7 %	94,1 %	82,9 %	75,0 %
Harnstoff	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
chem. SM	5,3 %	5,9 %	2,9 %	0,0 %
MSB homoferm.	13,2 %	0,0 %	11,4 %	25,0 %
MSB heteroferm.	0,0 %	0,0 %	2,9 %	0,0 %
EM	7,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
n (n gesamt)	38 (38)	34 (35)	35 (35)	14 (20)

SM = Siliermittel; MSB = Milchsäurebakterien; EM = „effektive Mikroorganismen“

Maissilagen

Bei Silomais werden, wenn überhaupt, in erster Linie chemische Siliermittel zur Verbesserung der aeroben Stabilität eingesetzt (Tab. 25). In Rosenheim finden hierzu auch EM Verwendung.

Tab. 25: Angaben zum Anteil des Siliermitteleinsatzes bei den beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
kein SM	62,9 %	91,7 %	97,1 %	87,5 %
Harnstoff	0,0 %	0,0 %	2,9 %	0,0 %
chem. SM	14,3 %	8,3 %	0,0 %	0,0 %
MSB homoferm.	8,6 %	0,0 %	0,0 %	12,5 %
MSB heteroferm.	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
EM	14,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
n (n gesamt)	35 (35)	36 (36)	35 (35)	8 (12)

SM = Siliermittel; MSB = Milchsäurebakterien; EM = „effektive Mikroorganismen“

Von der Officialberatung [9] wird der Einsatz von Siliermitteln mit dem DLG Gütezeichen empfohlen, da hier die Verleihungsprüfung und die jährliche Überwachung zu einer größeren Anwendungssicherheit führt.

5.3.2 Angaben zur Silomiete

Im Weiteren werden die Angaben zu den auf den Betrieben genutzten Silos aufgeführt. Dies betrifft den Bau, das Volumen sowie das Vorgehen beim Abdecken und Beschweren der Silos. Unterschieden wird in Gras- und Maissilagen sowie in sogenannte Sandwichsilagen in denen Gras und Mais übereinander siliert werden.

5.3.2.1 Siloart

Grassilagen

Die Angaben zur Silobauart soll Informationen ermöglichen, die den alten Streit über schräge Seitenwände oder gerade, entschärfen. Von der Verteilung her zeigt sich, dass in Rosenheim überwiegend das Traunsteinersilo, also die schräge Wand und in Schwandorf und Roth die gerade Wand, bevorzugt werden. Behelfssilos haben kaum Bedeutung (Tab. 26).

Tab. 26: Angaben zum Anteil der Siloart bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Traunsteiner Silo	71,1 %	23,5 %	11,4 %	44,4 %
Flachsilo mit Seitenwänden	29,0 %	70,6 %	82,9 %	38,9 %
Behelfssilo	0,0 %	5,9 %	5,7 %	16,7 %
n (n gesamt)	38 (38)	34 (35)	35 (35)	18 (20)

Maissilagen

Die Tab. 27 zeigt deutlich, dass sich bei den Maissilos eine gleichartige Verteilung der Siloarten wie bei den Grassilos ergibt.

Tab. 27: Angaben zum Anteil der Siloart bei den beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Traunsteiner Silo	62,9 %	19,4 %	11,4 %	33,3 %
Flachsilo mit Seitenwänden	31,4 %	80,6 %	85,7 %	55,6 %
Behelfssilo	5,7 %	0,0 %	2,9 %	11,1 %
n (n gesamt)	35 (35)	36 (36)	35 (35)	9 (12)

Sandwichsilagen

Die möglichen Vorteile von Sandwich-Silagen aus Gras- und Maissilage werden in etwa 12 – 44 % der Fälle genutzt, vor allem in Roth (Tab. 28). Aus Sicht der Futterhygiene könnte diese Form der Silagebereitung gerade bei Problemen mit der Nacherwärmung genutzt werden, da nur ein Silo im Anschnitt sein muss, was einen schnelleren Vorschub ermöglicht. Die Nachteile der möglicherweise weniger exakten Futterplanung sind dagegen aufzurechnen.

Tab. 28: Angaben zum Anteil der beprobten Sandwich-Silagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Anteil Sandwich-Silagen	12,4 %	33,8 %	44,3 %	12,5 %
Anzahl Silos	73	70	70	32

5.3.2.2 Silovolumen

Grassilagen

Die Abstimmung der Einlagerungstechnik mit der Schlagkraft der Erntetechnik fordert Silobreiten von 6 – 7 m, damit Parallelbetrieb möglich und gleichzeitig Abladen und Walzen zu gewährleisten ist. Aus den Tabellen 29 und 30 sind die Angaben zur mittleren Silobreite und dem Volumen zu ersehen. Zwischen den Regionen bestehen kaum Unterschiede. Die Silos der Lehr-, Versuchs- und Fachzentren sind etwas breiter und daher auch etwas größer im Volumen.

Tab. 29: Angaben zu den Silobreiten der beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
n	38	34	35	17
Silobreite [m]	6,1	5,9	6,2	7,9
s	0,9	1,0	1,3	2,0

Tab. 30: Angaben zu den Silovolumen der beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Volumen, m ³	320	350	387	410
s	87	175	178	267
n (n gesamt)	38 (38)	34 (34)	35 (35)	16 (18)

Maissilagen

Die Angaben zur Breite der Silos sind bei den Maissilagen etwas höher als bei den Grassilagen. Merklich größer ist das Volumen der Maissilos (Tab. 31 und Tab. 32).

Tab. 31: Angaben zu den Silobreiten der beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
n	35	34	35	9
Silobreite [m]	6,3	6,4	6,6	8,4
s	1,0	2,0	1,8	2,3

Tab. 32: Angaben zu den Silovolumen der beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Volumen, m ³	399	424	453	534
s	168	221	203	250
n (n gesamt)	35 (35)	36 (36)	35 (35)	7 (12)

5.3.2.3 Angaben zur Abdeckung

Grassilagen

Die luftdichte Abdeckung ist von zentraler Bedeutung. Weitgehend Standard ist der Einsatz einer Unterziehfolie (Tab. 33).

Tab. 33: Angaben zum Einsatz von Folien bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Rand- + normale Folie	7,9 %	6,0 %	3,3 %	5,6 %
Rand- + Unterzieh- + normale Folie	29,0 %	21,2 %	26,7 %	44,4 %
Rand- + 3 weitere Folien	2,6 %	0,0 %	3,3 %	0,0 %
Unterzieh- + normale Folie	44,7 %	66,7 %	53,3 %	50 %
andere Varianten	15,8 %	6,1 %	13,4 %	0,0 %
n (n gesamt)	38 (38)	33 (35)	30 (35)	18 (20)

Maissilagen

Bei den Maissilagen ist auffällig, dass die Betriebe in Rosenheim fast durchgängig eine Randfolie einsetzen (Tab. 34).

Tab. 34: Angaben zum Einsatz von Folien bei den beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Rand- + normale Folie	2,9 %	9,7 %	3,2 %	0,0 %
Rand- + Unterzieh- + normale Folie	62,9 %	22,6 %	22,6 %	44,4 %
Rand- + 3 weitere Folien	11,4 %	0,0 %	3,2 %	0,0 %
Unterzieh- + normale Folie	22,8 %	54,8 %	51,6 %	55,6 %
andere Varianten	0,0 %	12,9 %	19,4 %	0,0 %
n (n gesamt)	35 (35)	31 (36)	31 (35)	9 (12)

5.3.2.4 Beschwerung

Grassilagen

Zur Beschwerung der Folien werden in erster Linie Silosäcke eingesetzt. Regionale Unterschiede bestehen in der Verwendung von Reifen (Tab. 35).

Tab. 35: Angaben zur Beschwerung der Folien bei den beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Reifen	0,0 %	3,0 %	5,7 %	0,0 %
Silosäcke	8,1 %	24,2 %	20,0 %	27,8 %
Reifen + Silosäcke	13,5 %	30,3 %	31,4 %	5,6 %
Reifen + Silosäcke + Netz	10,8 %	18,2 %	17,1 %	16,7 %
Silosäcke + Netz	59,5 %	15,2 %	25,8 %	38,9 %
sonstiges	8,1 %	9,1 %	0,0 %	11,1 %
n (n gesamt)	37 (38)	33 (35)	35 (35)	18 (20)

Maissilagen

Bei den Maissilagen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den Grassilagen (Tab. 36). Zur Beschwerung der Folien werden von den beprobten Betrieben in erster Linie Silosäcke eingesetzt. In unterschiedlichem Maß wird auf Netze zurückgegriffen.

Tab. 36: Angaben zur Beschwerung der Folien bei den beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Reifen	0,0 %	5,6 %	2,9 %	0,0 %
Silosäcke	5,7 %	19,4 %	28,6 %	11,1 %
Reifen + Silosäcke	11,4 %	27,8 %	28,6 %	11,1 %
Reifen + Silosäcke + Netz	8,6 %	11,1 %	14,3 %	33,3 %
Silosäcke + Netz	68,6 %	27,8 %	20,0 %	44,4 %
sonstiges	5,7 %	8,3 %	5,7 %	0,0 %
n (n gesamt)	35 (35)	36 (36)	35 (35)	9 (12)

Innerhalb einiger Jahre hat sich die Abdeckung mit Silosäcken und Netz durchgesetzt und die Autoreifen erfreulicherweise weitgehend verdrängt.

5.3.2.5 Zeitraum bis zur Abdeckung

Grassilagen

Aus der Tab. 37 sind die Angaben zum Zeitraum vom Ende der Ernte bis zur Abdeckung der beprobten Grassilagen zu entnehmen. Die erste Kategorie bezeichnet eine sofortige Abdeckung nach dem Silieren, die nächste stellt einen Zeitraum von einer bis zu fünf Stunden dar und in der Kategorie 3 sind die Silos enthalten, bei denen die Abdeckung über fünf Stunden nach dem Silierende erfolgte. Es zeigt sich, dass in den beprobten Betrieben normal sofort abgedeckt wird, wenn auch einige erst nach einigen Stunden bzw. mehr als 5 Stunden abdecken. Der Zeitraum bis zum Abdecken sollte möglichst kurz sein, damit das gebildete CO₂ nicht abfließen kann.

Tab. 37: Angaben zum Zeitraum vom Ende der Ernte bis zur Abdeckung der beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
sofort	89,5 %	80,0 %	88,6 %	88,2 %
< 5 h	2,6 %	10,0 %	5,7 %	0,0 %
> 5 h	7,9 %	10,0 %	5,0 %	11,8 %
n (n gesamt)	38 (38)	30 (35)	35 (35)	17 (20)

Maissilagen

Aus der Tab. 38 sind die Angaben zur Abdeckung der beprobten Maissilagen zu entnehmen. Wie bei den Grassilagen wird der überwiegende Teil der Silos sofort abgedeckt.

Tab. 38: Angaben zum Zeitraum vom Ende der Ernte bis zur Abdeckung der beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
sofort	85,3 %	75,0%	88,6 %	77,8 %
< 5 h	2,9 %	22,2 %	2,9 %	11,1 %
> 5 h	11,8 %	2,8 %	8,6 %	11,1 %
n (n gesamt)	34 (35)	36 (36)	35 (35)	9 (12)

5.3.3 Entnahme der Silage

5.3.3.1 Lagerdauer bis zur Beprobung

Grassilagen

Aus der Tab. 39 ist die mittlere Lagerdauer der Silagen beim Controlling am Silo zu entnehmen. In Schwandorf, Roth und an den LVFZ waren dies im Mittel über 200 Tage. Für die Grassilagen der Betriebe aus Rosenheim beträgt die mittlere Lagerdauer 148 Tage. Die Mehrzahl der Silagen war somit voll durchsilieret und die Zeit war ausreichend damit eventuell erhöhte Temperaturen im Siliergut ausgekühlt sind.

Tab. 39: Angaben zur Lagerdauer der beprobten Grassilagen bei der Probenahme

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Lagerdauer, Tage	148	213	204	200
s	119	132	131	108
n (n gesamt)	36 (38)	32 (35)	34 (35)	14 (20)

Maissilagen

Bei den beprobten Maissilagen ist die Differenzierung in der Lagerdauer stärker. Die Gebiete Rosenheim und Schwandorf liegen niedriger. Dies ist bei der Beurteilung der Controlling-Ergebnisse zu beachten (Tab. 40).

Tab. 40: Angaben zur Lagerdauer der beprobten Maissilagen bei der Probenahme

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Lagerdauer, Tage	105	166	197	215
s	81	122	110	156
n (n gesamt)	33 (35)	33 (36)	34 (35)	8 (12)

Der Zeitpunkt an dem das Silo geöffnet wird bestimmt zum Teil die aerobe Stabilität. Je länger ein Silo geschlossen bleibt, das heißt je ausgereifter die Silage ist, umso geringer ist das Risiko der Nacherwärmung. Dies zeigt sich in Laborversuchen. In der Praxis tritt dieser Einfluss nicht signifikant hervor. Dies liegt unter anderem an der normalerweise im Mittel ausreichenden Lagerdauer. Empfohlen werden Wartezeiten von mehr als 6 Wochen

vor Öffnung des Silos. In Laborversuchen ist es gerade die kurze Gärdauer von wenigen Tagen, die die aerobe Stabilität (ASTA) senken.

5.3.3.2 Vorschub

Grassilagen

In den Angaben zum Vorschub zeigt sich bei den Grassilagen im Mittel ein Wert von 1,5 m je Woche. Die Standardabweichung zeigt jedoch, dass hier erhebliche Unterschiede zwischen den Betrieben bzw. Silos bestehen (Tab. 41).

Tab. 41: Angaben zum realisierten Vorschub bei der Entnahme der beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Vorschub, m/Woche	1,47	1,47	1,37	1,60
s	0,69	0,45	0,75	0,61
n (n gesamt)	37 (38)	33 (34)	35 (35)	16 (18)

Maissilagen

Bei den Maissilagen ist der angegebene Vorschub in den untersuchten Praxisbetrieben mit 1,2 m je Woche niedriger als bei den Grassilagen. Anders ist dies bei den LVFZ, die teils einen hohen Vorschub realisieren. Der insgesamt niedrigere Vorschub bei den Maissilagen ist bei der Interpretation der Ergebnisse zum Controlling zu beachten (Tab. 42).

Tab. 42: Angabe zum realisierten Vorschub bei der Entnahme der beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Vorschub, m/Woche	1,18	1,25	1,31	1,80
s	0,46	0,38	0,76	1,04
n (n gesamt)	35 (35)	35 (36)	35 (35)	8 (12)

5.3.3.3 Angaben zur Entnahmetechnik

Bei der Entnahmetechnik wurde nicht zwischen Gras- und Maissilagen unterschieden, da die Betriebe in der Regel nur über eine Entnahmetechnik verfügen (Tab. 43). Es sind alle abgefragten Entnahmetechniken vertreten. In der Region Rosenheim überwiegt die Greifschaukel. Die Fräse hat hohe Anteile in den LVFZ und den Betrieben aus dem Kreis Roth.

Tab. 43: Angaben zur Entnahmetechnik in den beprobten Betrieben

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
n	17	15	17	6
Blockschneider	5,9 %	13,3 %	11,8 %	16,7 %
Schneidzange	5,9 %	20,0 %	17,6 %	0,0 %
Greifschaufel	52,9 %	20,0 %	17,6 %	16,7 %
Reißkamm	11,8 %	13,3 %	0,0 %	0,0 %
Frontladerschaufel	0,0 %	0,0 %	11,8 %	0,0 %
Fräse	23,5 %	33,3 %	41,2 %	66,7 %

5.3.3.4 Schimmelbildung

Beim Controlling am Siloanschnitt wurde der sichtbare Schimmel beurteilt. Hierbei standen zur Beurteilung der Schimmelbildung die Kategorien keine, seitlich, oben und nesterweise zur Verfügung. Bei der Schimmelbildung wurde somit abgefragt, wo das Schimmelnest gebildet wurde, nicht aber, dass das ganze Silo als verschimmelt anzusehen war. Übereinstimmend mit vorliegenden Erfahrungen zeigt sich, wenn es zur Schimmelbildung kommt, dass dies nesterweise geschieht und dass die sensiblen Stellen seitlich bzw. seitlich oben zu finden sind. Dies scheint unabhängig von der Siloform zu sein.

Grassilagen

Aus der Tab. 44 ist ersichtlich, dass in den im Raum Rosenheim beprobten Grassilagen mit 42 % der Betriebe weniger häufig Schimmel beobachtet wurde. Da in Schwandorf und Roth mehr Flachsilos mit senkrechter Wand und in Rosenheim mehr Traunsteiner Silos sind, könnte man auch etwas weniger Schimmel der Siloform zuschreiben. Zu beachten sind hierbei auch die Verdichtung, der Vorschub und alle weiteren Punkte, die Nacherwärmung und Schimmelbildung beeinflussen können.

Tab. 44: Anteil der Schimmelbildung an der Anschnittfläche der bonitierten Grassilagen

Bonitur:	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
kein Schimmel	41,7 %	26,7 %	29,4 %	31,3 %
seitlich Schimmel	25,0 %	30,0 %	35,3 %	25,0 %
oben Schimmel	5,6 %	6,7 %	2,9 %	12,5 %
seitlich und oben Schimmel	25,0 %	26,7 %	23,5 %	12,5 %
nesterweise Schimmel	2,8 %	10,0 %	8,8 %	18,8 %
n (n gesamt)	36 (38)	30 (34)	34 (35)	16 (18)

Maissilagen

Im Vergleich zu den Grassilagen zeigen die Maissilagen häufiger Schimmel. Ein Unterschied ist zwischen den einbezogenen Regionen nicht ersichtlich (Tab. 45).

Tab. 45: Anteil der Schimmelbildung an der Anschnittfläche der bonitierten Maissilagen

Bonitur:	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
kein Schimmel	17,6 %	17,6 %	14,7 %	12,5 %
seitlich Schimmel	29,4 %	44,1 %	44,1 %	12,5 %
oben Schimmel	8,8 %	0	14,7 %	25,0 %
seitlich und oben Schimmel	17,6 %	26,5 %	11,8 %	12,5 %
nesterweise Schimmel	26,5 %	11,8 %	14,7 %	37,5 %
n (n gesamt)	34 (35)	34 (36)	34 (35)	8 (12)

5.3.3.5 Angaben zur Hygiene am Silo

Grassilagen

Zur Einordnung der generellen Situation an den Silos wurde die Hygiene bonitiert. Der überwiegende Teil der beprobten Grassilagen verfügte über eine saubere bzw. mit vereinzelt Resten behaftete Siloplatte. Zwischen Mais- und Grassilagen ist kein Unterschied zu beobachten (Tab. 46 und Tab. 47).

Tab. 46: Bonitur zur Hygiene am Silo bei den beprobten Grassilagen

Bonitur:	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
saubere, gekehrte Siloplatte	29,7 %	23,5 %	36,4 %	65,0 %
vereinzelt Reste auf der Siloplatte	64,9 %	61,8 %	54,6 %	30,0 %
größere Reste auf der Siloplatte	5,4 %	14,7 %	9,1 %	5,0 %
n (n gesamt)	37 (38)	30 (34)	33 (35)	18 (18)

Die Sauberkeit der Siloplatte ist ausschlaggebend für die mögliche Belastung des Niederschlagswassers, das künftig mehr Beachtung finden wird.

Maissilagen

Tab. 47: Bonitur zur Hygiene am Silo bei den beprobten Maissilagen

Bonitur:	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
saubere, gekehrte Siloplatte	33,3 %	17,1 %	50,0 %	44,4 %
vereinzelt Reste auf der Siloplatte	60,6 %	68,6 %	43,8 %	55,6 %
größere Reste auf der Siloplatte	6,1 %	14,3 %	6,3 %	0,0 %
n (n gesamt)	33 (35)	34 (36)	32 (35)	9 (12)

Der erhobene Hygienestatus am Silo spiegelt eventuell nur eingeschränkt die Realität wider, da die Besuche angemeldet waren. Unabhängig davon zeigen die Ergebnisse im Hinblick auf die Siloabwässer, dass der Hygiene große Bedeutung beigemessen wird.

5.4 Messergebnisse am Silo

5.4.1 Temperaturmessung

Die Temperaturmessung wurde mit Thermometer (siehe Poster im Anhang 4) vorgenommen, um das Thermometer nicht zu beschädigen wurde vorgebohrt. Die Messung wurde entsprechend den Vorgaben des Messprotokolls (siehe Anhang 3) durchgeführt. Somit ist auch die Vergleichbarkeit mit Ergebnissen von Spiekers [5] und Beeker [12] gewährleistet. Es wurden sechs Messstellen am Anschnitt des Silos ausgewählt (oben links, Mitte, rechts und unten links, Mitte, rechts). Die Ergebnisse sind in den Tab. 48 bis Tab. 53 aufgelistet. Die mittleren Temperaturen in den 127 Grassilagesilos zeigt Tab. 48. Die Mittelwerte schwanken zwischen 16,2 °C links unten und 20,3 °C rechts oben. Sie sind in 40 cm Einstichtiefe höher als bei 100 cm. Bei der Trennung des Datensatzes in Sommer (n= 97) und Winter (n=30) zeigt sich eine geringere Streuung der Werte als bei der gemeinsamen Auswertung. Die mittlere Temperatur lag im Sommer bei der Außenluft bei 21,8 °C und im Silo Mitte unten bei 40 cm bei 18,5 und bei 100 cm bei 16,8 °C. Im Winter wurde eine Außenlufttemperatur von 7,3 °C gemessen und im Silo bei 40 cm Mitte unten 15,6 und bei 100 cm 15,4 °C. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Spiekers [5] und Beeker [12].

Die mittleren Temperaturen in den 118 Maissilagesilos (Tab. 51) schwankten von 20 °C links oben bei 40 cm bis 15,3 Mitte unten bei 100 cm, mit einer Außenlufttemperatur von 18,6 °C. Auch hier zeigt die Trennung der Datensätze in Sommer und Winter überwiegend geringere Streuungen auf. Die mittlere Temperatur schwankte bei Mais im Sommer von 22,3 °C links oben bis 15,0 Mitte unten. Bei einer ähnlichen Außenlufttemperatur wie bei der Grassilage von 21,9 °C lag die Temperatur in den Maissilagesilos mit 15,0 °C um 1,8 °K unter der Temperatur bei Grassilage am Messpunkt Mitte unten. Die Unterschiede sind möglicherweise auf die größeren Volumen der Maissilos im Vergleich mit den Grassilos zurückzuführen.

Aus den vorliegenden Daten zeigt sich eine merkbare Differenzierung in den Temperaturen an der Anschnittfläche zwischen den beprobten Betrieben und in Abhängigkeit von Jahreszeit, Einstichtiefe und Einstichort. Für ausreichend lang gelagerte Silagen ohne optische und weitere sensorische Veränderungen bestätigt sich als grobe Norm die 15 °C im Silokern als „typische“ Temperatur. Abweichungen nach oben deuten auf Nacherwärmungen hin.

Tab. 48: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Grassilagen über alle Beprobungszeiträume hinweg

Gesamt	n	Aussen- temperatur	Links Oben		Links Unten		Mitte Oben		Mitte Unten		Rechts Oben		Rechts Unten	
			40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm
Mittelwert	127	18,4	20,0	18,9	17,3	16,2	19,3	18,7	17,8	16,5	20,3	19	17,7	16,6
s		7,5	6,8	6,3	4,7	4,4	6,4	6,3	4,0	3,9	7,3	6,5	4,8	4,4

Tab. 49: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Grassilagen während den Beprobungen im Sommer 2006 und 2007

Sommer	n	Aussen- temperatur	Links Oben		Links Unten		Mitte Oben		Mitte Unten		Rechts Oben		Rechts Unten	
			40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm
Mittelwert	97	21,8	22,2	21,0	19,2	17,8	21,4	20,5	18,5	16,8	22,6	21,2	19,6	18,1
s		4,3	5,2	4,5	3,3	3,3	5,4	5,5	4,1	4,2	5,4	4,8	3,6	3,5

Tab. 50: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Grassilagen während den Beprobungen im Winter 2006/2007

Winter	n	Aussen- temperatur	Links Oben		Links Unten		Mitte Oben		Mitte Unten		Rechts Oben		Rechts Unten	
			40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm
Mittelwert	30	7,3	12,3	11,5	11,6	11,5	12,6	12,6	15,6	15,4	12,0	11,2	12,0	12,0
s		3,7	6,2	5,9	3,2	3,7	4,4	4,8	2,9	3,0	7,3	5,7	2,9	3,4

Tab. 51: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Maissilagen über alle Beprobungszeiträume hinweg

	n	Aussen- temperatur	Links Oben		Links Unten		Mitte Oben		Mitte Unten		Rechts Oben		Rechts Unten	
			40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm
Mittelwert	118	18,6	20,0	18,6	16,8	16,0	19,3	18,6	16,3	15,3	19,9	18,6	16,6	15,8
s		7,6	6,3	5,9	4,2	4,1	5,1	5,0	3,0	3,2	5,9	5,3	4,3	4,2

Tab. 52: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Maissilagen während den Beprobungen im Sommer 2006 und 2007

Sommer	n	Aussen- temperatur	Links Oben		Links Unten		Mitte Oben		Mitte Unten		Rechts Oben		Rechts Unten	
			40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm
Mittelwert	92	21,9	22,3	21,0	18,2	17,3	21,2	20,4	16,5	15,0	22,1	20,7	18,3	17,1
s		4,6	4,2	3,8	3,1	3,4	3,4	3,5	2,8	2,9	3,6	3,2	3,4	3,5

Tab. 53: Mittlere Temperaturen (°C) bei den beprobten Maissilagen während der Beprobung im Winter 2006/2007

Winter	n	Aussen- temperatur	Links Oben		Links Unten		Mitte Oben		Mitte Unten		Rechts Oben		Rechts Unten	
			40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm	40 cm	100 cm
Mittelwert	26	6,9	11,7	9,8	11,9	11,7	12,7	12,1	15,5	16,3	11,9	10,9	11,3	11,4
s		3,4	5,6	2,8	3,6	3,1	4,6	4,2	3,6	3,9	5,7	4,1	2,6	3,4

5.4.2 Dichtemessung

Die Mittelwerte der Dichtemessung sind in Tab. 54 für alle Probenahmeorte am Siloanschnitt aufgelistet. Sie zeigen die mittlere Dichte in kg TM je m³ auf und dies an drei Stellen in der Silomitte und an zwei Stellen am rechten Rand, nach Landkreisen und den LVFZ. Zudem sind in Klammern die Anzahl der Silos angegeben und die Streuung (s).

Grassilagen

Die Dichte in der oberen Schicht sinkt von 201 kg auf 142 kg von Rosenheim über Schwandorf nach Roth. Die LVFZ liegen mit 176 kg zwischen Rosenheim und Schwandorf. Dies gilt auch für die mittlere Schicht, die 241 kg, 201 kg und 185 kg TM/m³ enthält. Auch hier liegen die LVFZ zwischen Rosenheim und Schwandorf. Die untere Schicht hat durchgängig die höchste Dichte mit 232 kg, 218 kg, 231 kg und 236 kg TM/m³.

Tab. 54: Ergebnisse der Dichtemessungen am Anschnitt bei den Grassilagen nach Landkreisen

Silobereich	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
	Dichte kg TM/m ³			
Oben	201	173	142	176
(n) s	(34) 43	(23) 47	(17) 34	(17) 41
Mitte	241	201	185	230
(n) s	(22) 54	(18) 31	(16) 45	(8) 76
Unten	232	218	231	236
(n) s	(34) 46	(22) 35	(34) 46	(17) 50
Seite/Mitte ¹	227	195	146	242
(n) s	(13) 57	(8) 49	(10) 32	(7) 71
Seite/Oben ²	199	170	145	184
(n) s	(21) 39	(16) 40	(10) 33	(10) 54

1: Sommer 2006; 2: ab Winter 2007, (n) Anzahl Silos

Die Sandwich-Silagen wurden nicht in diese Auswertung einbezogen, um die Unterschiede zwischen Gras- und Maissilage besser hervorzuheben.

Die Ergebnisse der Dichtemessung für die Grassilagen im Vergleich zu Literaturergebnissen [15] sind in Tab. 55 zusammengestellt. Diese zeigen deutlich die Abnahme der Dichte von 229 über 214 bis 173 kg TM/m³ von unten nach oben. Zudem weisen diese eine geringere Dichte am Rand als in der Mitte auf. Die obere Probenahmestelle wurde erst nach der ersten Probenahme an der Seite Mitte ausgewählt.

Tab. 55: Ergebnisse der Dichtemessungen am Anschnitt bei den Grassilagen gesamt im Vergleich zur Literatur [15], Dichte kg TM/m³

Silobereich:	Silomitte	Silorand	Silomitte	Silorand
			[15]	[15]
Oben	173	174	175	146
(n) s	(91) 44	(57) 43		
Mitte	214	202	203	175
(n) s	(64) 46	(38) 53		
Unten	229	--	211	185
(n) s	(107) 45			

(n) Anzahl Silos

Maissilagen

Die Dichtebestimmung in den Maissilos nach Landkreisen (Tab. 56 und Tab. 57) zeigt ähnliche Ergebnisse wie bei den Grassilos auf, aber auf einem etwas höheren Niveau, da sich Silomais auf Grund der geringeren Häcksellänge und dem Kornanteil (bei entsprechender Walzkapazität) höher verdichten lässt. So werden oben 219 kg, Mitte 249 kg und unten 261 kg TM/m³ erreicht, gegenüber Gras mit 173, 214 und 229 kg TM/m³.

Tab. 56: Ergebnisse der Dichtemessungen am Anschnitt (kg TM/m³) bei den beprobten Maissilagen

Silobereich:	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
Oben	233	213	206	225
(n) s	(33) 50	(34) 30	(31) 30	(12) 32
Mitte	258	240	229	271
(n) s	(27) 26	(29) 27	(23) 30	(10) 15
Unten	273	253	243	274
(n) s	(33) 39	(34) 28	(31) 45	(12) 39
Seite/Mitte ¹	248	234	216	231
(n) s	(15) 29	(10) 17	(13) 28	(4) 45
Seite/Oben ²	224	203	192	215
(n) s	(20) 42	(22) 36	(20) 36	(8) 41

1: Sommer 2006; 2: ab Winter 2007, (n) Anzahl Silos

Tab. 57: Ergebnisse der Dichtemessung der beprobten Maissilagen (gesamt) im Vergleich zur Literatur [15]

Silobereich	Silomitte	Silorand	Silomitte	Silorand
Dichte kg TM/m ³			[15]	[15]
Oben	219	208	175	146
(n) s	(110) 48	(70) 41		
Mitte	249	232	203	175
(n) s	(89) 29	(42) 38		
Unten	261	--	211	185
(n) s	(110) 41			

(n) Anzahl Silos

Aus den Auswertungen zur Verdichtung bei Gras- und Maissilage geht klar hervor, dass erhebliche Unterschiede zwischen den Silos und Betrieben bestehen. Durchgängig zeigt sich eine Abnahme der Verdichtung von unten nach oben. Die größten Probleme hinsichtlich Nacherwärmung und Schimmelbildung sind daher in der oberen Schicht und den Randbereichen der Silos zu erwarten. Dies deckt sich mit den Beobachtungen zur Temperaturmessung und der Schimmelbildung.

Das Niveau der gemessenen Verdichtungen ist im Vergleich zu den Zielgrößen [9] und anderen Arbeiten relativ hoch. Dies trifft insbesondere für Maissilage der Betriebe der Region Rosenheim und den LVFZ zu. Bei der Einordnung und weiteren Diskussion der Ergebnisse ist dies zu berücksichtigen.

5.4.3 Analysen-Ergebnisse der Silageproben

Im Weiteren werden die Analyseergebnisse der beprobten Silagen dargestellt. Die Darstellung erfolgt getrennt für Gras- und Maissilagen.

Grassilagen

Aus den Tab. 58 und Tab. 59 gehen die mittleren Analyseergebnisse für Grassilagen differenziert nach erstem Schnitt und Folgeschnitten hervor. Zum Vergleich sind die mittleren Ergebnisse aus Bayern aus Einsendungen an das LKV-Labor, Grub aus 2006 zu ersehen. Beim ersten Schnitt liegen die Betriebe aus Rosenheim im Energiegehalt etwas höher als der Schnitt der Einsendungen in Bayern und die Betriebe aus Schwandorf und Roth etwas darunter. Dies entspricht der üblichen Differenzierung zwischen dem Voralpengebiet und Nordbayern. Gegenüber früheren Untersuchungen [17] liegen niedrigere Rohfaser-Gehalte vor.

Bei den Folgeschnitten liegen die beprobten Silagen etwas niedriger im NEL-Gehalt als die mittleren Werte aus Bayern. Die Rangierung zwischen den Regionen entspricht der beim ersten Schnitt. Hauptursache für die Unterschiede im Energiegehalt sind die Differenzen im Rohfasergehalt. Dies erklärt sich aus Unterschieden im Pflanzenbestand und in den Ernteterminen bzw. der Nutzungsintensität. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Futterwerte der beprobten Grassilagen im für Bayern typischen Bereich liegen. Ursächlich

für die Differenzen zwischen Regionen und Betrieben sind Abweichungen im Rohfasergehalt (Tab. 60).

Tab. 58: Rohnährstoffgehalte der beprobten Grassilagen (1. Schnitt) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (LKV-Labor, Grub, 2006)

Gras 1. Schnitt	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ	Ø Bayern
n =	14	12	13	4	3.561
TM [%]	34,4	35,9	31,3	33,5	35,7
XA [g/kg TM]	105	94	102	93	104
XP [g/kg TM]	170	156	155	165	153
XF [g/kg TM]	229	268	269	256	253
NEL [MJ/kg TM]	6,31	6,11	6,08	6,27	6,18

Tab. 59: Rohnährstoffgehalte der beprobten Grassilagen (2. und Folgeschnitte) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (LKV-Labor, Grub, 2006)

Gras Folgeschnitte	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ	Ø Bayern
n =	24	23	21	16	4.294
TM [%]	36,4	32,4	38,8	33,0	36,1
XA [g/kg TM]	121	121	116	113	122
XP [g/kg TM]	186	171	163	171	180
XF [g/kg TM]	227	246	258	233	223
NEL [MJ/kg TM]	5,99	5,74	5,65	5,92	5,99

Tab. 60: Rohfasergehalte der beprobten Grassilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
n	38	35	34	20
Rohfasergehalt [g/kg TM]	228	254	262	238
s	26	37	29	23

Maissilagen

Die Ergebnisse der beprobten Maissilagen sind aus der Tab. 61 bis Tab. 63 ersichtlich. Im Erntejahr 2006 waren die Energiegehalte insgesamt höher. Zwischen den Regionen sind die Effekte jedoch unterschiedlich. Die Betriebe aus Rosenheim liegen in beiden Jahren über dem bayerischen Mittelwert. Bei Schwandorf und Roth befinden sich die Werte im Bereich des bayerischen Mittels bei Schwankungen zwischen den Jahren.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die beprobten Maissilagen vom Futterwert eher über dem bayerischen Schnitt liegen. Durchgängig hohe Werte sind für die Betriebe aus dem Gebiet Rosenheim sowie den LVFZ zu verzeichnen.

Tab. 61: Rohrnährstoffgehalte der beprobten Maissilagen (Erntejahr 2005) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (Einsendungen an das LKV-Labor, Grub)

Mais 2005	Rosenheim	Schwandorf	Roth	Ø Bayern
n =	15	16	15	3.992
TM [%]	34,6	32,7	32,0	32,9
XA [g/kg TM]	36,0	42,0	39,8	40,0
XP [g/kg TM]	78	81	80	83
XF [g/kg TM]	188	198	189	202
NEL [MJ/kg TM]	6,68	6,43	6,62	6,47

Tab. 62: Rohrnährstoffgehalte der beprobten Maissilagen (Erntejahr 2006) im Vergleich zum bayer. Durchschnitt (Einsendungen an das LKV-Labor, Grub)

Mais 2006	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ	Ø Bayern
n =	20	20	20	9	3.892
TM [%]	33,9	32,1	32,2	35,3	32,9
XA g/kg TM	37	39	43	36	39
XP g/kg TM	76	82	83	77	85
XF g/kg TM	179	177	196	159	194
NEL [MJ/kg TM]	6,71	6,71	6,51	6,93	6,54

Tab. 63: Rohfasergehalt der beprobten Maissilagen

	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
n =	35	36	35	12
Rohfasergehalt g/kg TM	183	187	193	167
s	13	20	24	27
n (n gesamt)	35 (35)	35 (36)	35 (35)	12 (12)

5.4.4 Gärqualität und aerobe Stabilität

Tab. 64: Gärparameterergebnisse und aerobe Stabilität der beprobten Grassilagen

Gärparameter		Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
n		38	35	35	20
TM	%	35,7	33,6	36,0	33,1
s		4,8	7,3	9,2	6,5
TM korrigiert	%	37,8	34,6	36,9	34,1
s		6,9	8,4	8,4	6,4
pH-Wert		4,40	4,52	4,61	4,31
s		0,26	0,29	0,32	0,21
NH ₃ -N	% FM	0,06	0,06	0,07	0,05
s		0,02	0,015	0,017	0,01
NH ₃ -N	% Ges.N.	5,9	7,5	7,8	5,9
s		1,6	2,4	3,9	2,0
Milchsäure	% FM	2,35	2,08	1,69	2,50
s		0,69	0,76	0,76	0,72
Essigsäure	% FM	0,70	0,58	0,45	0,61
s		0,31	0,26	0,20	0,30
Buttersäure	% FM	0,04	0,22	0,31	0,10
s		0,16	0,26	0,27	0,20
Propionsäure	% FM	0,009	0,023	0,020	0,0064
s		0,021	0,034	0,033	0,014
Gesamtsäure	% FM	3,10	2,91	2,47	3,19
s		0,72	0,73	0,83	0,77
Alkohol	% FM	0,159	0,185	0,142	0,159
s		0,070	0,074	0,077	0,076
aerobe Stabilität	Tage	12,3	11,4	12,0	10,7
s		2,76	3,30	2,34	2,39
pH aus*		4,56	4,61	4,95	4,82
s		0,46	0,47	0,70	0,73
DLG-Punkte		93	71	66	88
s		13	33	29	20

* pH-Wert nach Abschluss der Messung zur aeroben Stabilität

Aus Tab. 64 und Tab. 65 sind die Ergebnisse der Silagen zur Gärqualität und zur aeroben Stabilität ersichtlich. Aufgeführt sind die TM-Gehalte nach der Ofentrocknung und nach der Korrektur um die dabei flüchtigen Substanzen.

Grassilagen

Die pH-Werte der Grassilagen liegen im Mittel bei etwa 4,5. Etwas höher sind die Werte bei den Proben der Betriebe aus Roth. Die niedrigsten Werte zeigen die Proben der LVFZ und der Region Rosenheim. Einher geht dies mit höheren Gehalten an Milchsäure und niedrigeren Gehalten an Buttersäure. Insgesamt zeigt sich für diese Proben somit eine bessere Gärqualität. Deutlich wird dies an den DLG-Punkten. Für die Betriebe aus den Regionen Schwandorf und Roth ergeben sich mit im Mittel 71 bzw. 66 erheblich niedrigere Werte als in Rosenheim und den LVFZ mit im Mittel 90 Punkten. Ursächlich sind in erster Linie Abzüge für Buttersäure.

Die aerobe Stabilität der untersuchten Grassilagen ist insgesamt hoch. Zu beachten ist hierbei, dass die Silagen vor der Bestimmung der aeroben Stabilität tiefgefroren wurden. Eine Reduktion der mikrobiellen Aktivität (Hefebesatz) nach der Auslagerung ist daher nicht auszuschließen.

Maissilagen

Bei den untersuchten Maissilagen zeigt sich insgesamt eine gute und weitgehend typische Gärqualität. Die Silagen sind frei von Buttersäure und haben im Mittel einen pH-Wert von 3,8. Die aerobe Stabilität der Silagen liegt im Mittel bei etwa 9 Tagen. Allerdings ist eine merkliche Streuung zwischen den Betrieben ersichtlich. Dies gilt insbesondere für die Proben aus dem Bereich Rosenheim.

Tab. 65: Gärparameterergebnisse und aerobe Stabilität der beprobten Maissilagen

Gärparameter		Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ
n		35	36	35	12
TM	%	34,2	32,4	32,1	34,9
s		2,4	2,9	3,4	3,6
TM korrigiert	%	35,6	34,0	33,5	35,8
s		2,8	3,2	3,1	3,6
pH-Wert		3,83	3,79	3,73	3,79
s		0,11	0,09	0,16	0,08
NH ₃ -N	% FM	0,031	0,034	0,031	0,030
s		0,01	0,01	0,01	0,01
NH ₃ -N	% Ges.N.	7,3	7,9	7,3	6,5
s		2,0	1,7	1,8	1,0
Milchsäure	% FM	1,84	2,04	2,17	1,95
s		0,39	0,36	0,33	0,26
Essigsäure	% FM	0,60	0,48	0,51	0,47
s		0,26	0,27	0,17	0,10
Buttersäure	% FM	0,0	0,01	0,0	0,0
s		0,0	0,03	0,0	0,0
Propionsäure	% FM	0,005	0,003	0,003	0,0
s		0,014	0,018	0,007	0,0
Gesamtsäure	% FM	2,45	2,53	2,69	2,42
s		0,28	0,31	0,35	0,26
Alkohol	% FM	0,29	0,40	0,36	0,29
s		0,11	0,16	0,20	0,08
aerobe Stabilität	Tage	9,2	9,1	8,8	9,4
s		4,1	2,6	2,3	2,9
pH aus*		4,42	4,36	4,70	4,40
s		0,60	0,64	0,88	0,52
DLG-Punkte		99	98	99	100
s		5	8	3	-

* pH-Wert nach Abschluss der Messungen zur aeroben Stabilität

5.5 Diskussion mit weiteren Auswertungen

5.5.1 Temperaturmessungen

Die Temperaturmessungen am Anschnitt erlauben eine Aussage über die aerobe Stabilität der Silage. Nacherwärmungen sollen daher über die Messung der Temperatur im Rahmen des Controllings am Silo erkannt werden. Hierbei ist eine Trennung von erhöhten Temperaturen auf Grund hoher Temperaturen bei der Einsilierung oder der Außentemperatur von der eigentlichen Nacherwärmung erforderlich. Die Messung der Temperatur am Anschnitt erfolgte mit der Wärmebildkamera bzw. der Messsonde in verschiedenen Tiefen. Im Weiteren werden die beiden Meßmethoden und deren Anwendbarkeit und Aussagekraft getrennt diskutiert.

5.5.1.1 Aussagefähigkeit von Wärmebildern

Wärmebilder eines Silos können immer nur die am Anschnitt vorhandene Temperatur, also die Oberflächentemperatur der Anschnittfläche, farblich abgesetzt darstellen. Folglich können Wärmenester bzw. erwärmte Zonen im Silo nur auf einem Wärmebild erkannt werden, wenn sich das Erwärmungsgeschehen bereits direkt am Anschnitt, oder nicht zu tief im Inneren des Silos befindet. Zudem haben auch äußere Rahmenbedingungen wie Jahreszeit und Sonneneinstrahlung während der Betrachtung mit der Wärmebildkamera starken Einfluss auf die Temperatur an der Oberfläche des Anschnitts, und somit auch auf die Aussagekraft eines Wärmebildes.

Zur Verdeutlichung sind im Bild 2 verschiedene Wärmegeschehen aufgeführt.

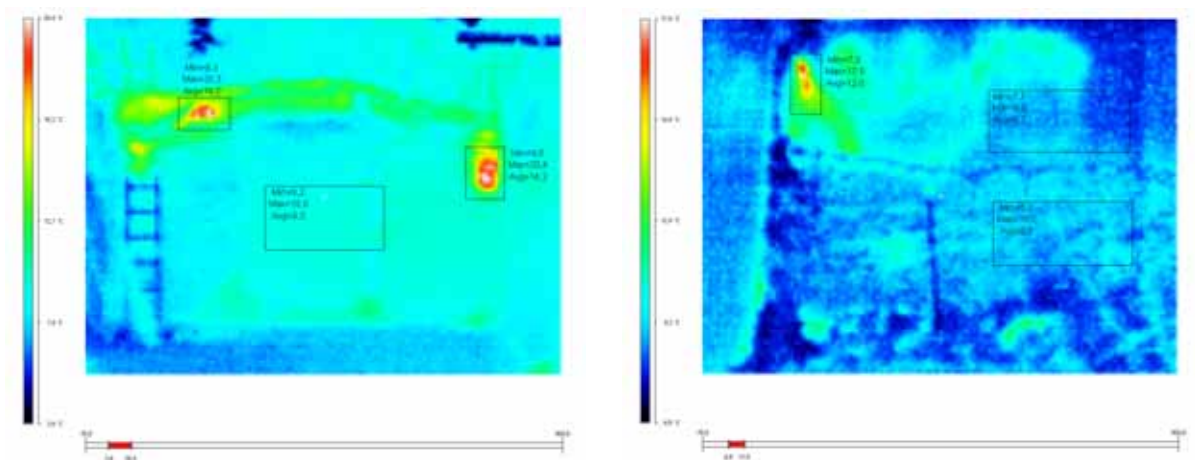


Bild 2: Winterzeit ohne Sonneneinstrahlung; links zwei Wärmenester (Max. = 20,3; 20,4 °C); rechts ein Wärmenest (Max. = 17,5 °C)

Links sind zwei Erwärmungen (Max. = 20,3; 20,4 °C) zu verdeutlichen und im Bild rechts eine Erwärmung (Max. = 17,5 °C). Beide Bilder wurden in der Winterzeit ohne Sonneneinstrahlung aufgenommen. Auf den Bildern sind die erwärmten Zonen durch den farblichen Unterschied zu erkennen.

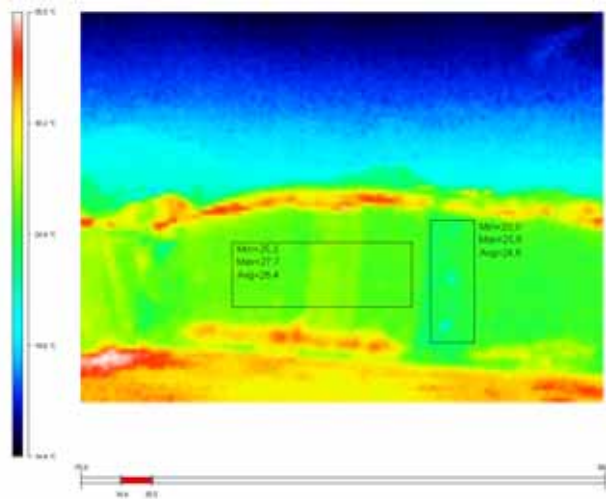


Bild 3: Wärmebildaufnahme am Silo im Sommer

Bild 3 dagegen wurde im Sommer mit Sonneneinstrahlung aufgenommen und zeigt, dem ersten Anschein nach, ein unauffälliges Silos ohne Wärmegeschehen an. Betrachtet man bei diesem Bild die gemessene Temperatur von durchschnittlich 24 – 26 °C, so wird deutlich, dass sich ein Erwärmungsgeschehen hier (bei Aufnahme des gesamten Silos) nicht klar durch Farbdifferenzen anzeigen lässt. Die rel. hohen Temperaturen am Anschnitt sind auf den Einfluss der Umgebungstemperatur (Sommer) und die Dauer der Sonneneinstrahlung zurückzuführen, denn das Bild 3 wurde nachmittags nach einem Tag mit intensiver und langer Sonneneinstrahlung aufgenommen.

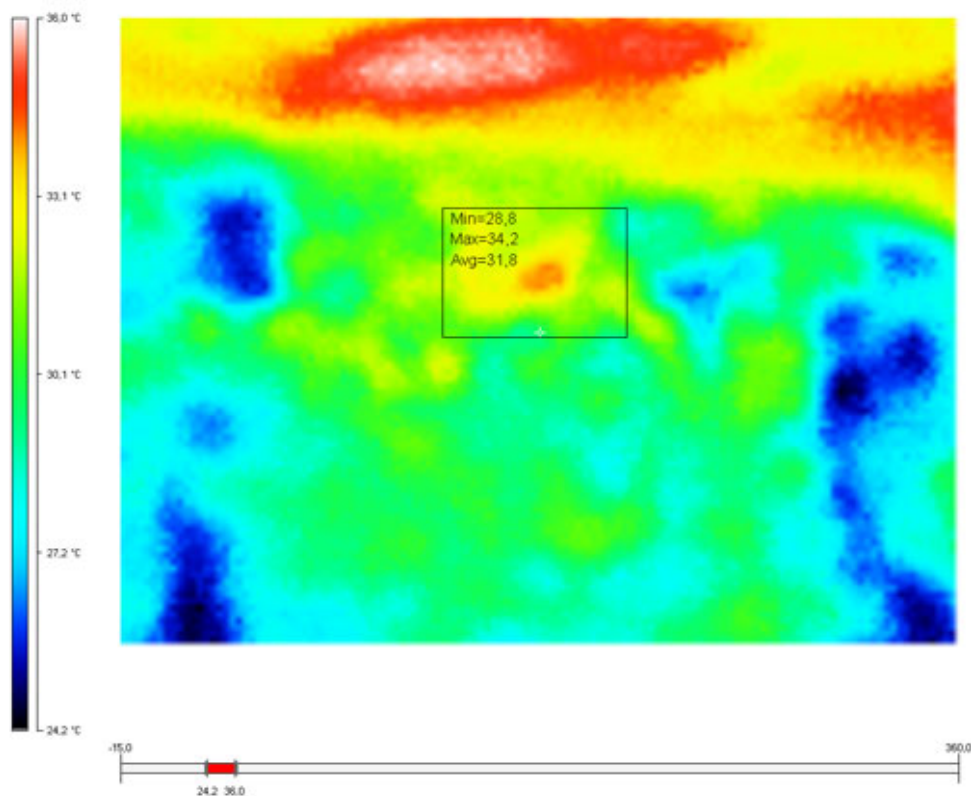


Bild 4: Wärmenest in der Nahaufnahme

Dadurch wurde die Anschnittfläche von außen erwärmt. Um in dieser Situation ein Erwärmungsgeschehen der Silage mit Hilfe der Wärmebildkamera aufzufinden, bedarf es etwas Übung und genauerer Untersuchung der exponierten Stellen im Silo, also vorwiegend der oberen Schicht und in Nähe der Siloränder in der Nahaufnahme. Dies wurde auch bei diesem Silo durchgeführt und es konnte ein Wärmenest gefunden werden, das in Bild4 dargestellt ist.

Zum Abschluss kann gesagt werden, dass die Wärmebildkamera behilflich sein kann, um Erwärmungsnester bzw. -zonen im Silo aufzudecken. Vor allem erlaubt die Kamera bei guten Voraussetzungen eine einfache und schnelle Kontrolle/Beurteilung der Temperaturgeschehen am Silo in der aktuellen Situation. Auch die Entwicklung einer bereits vorhandenen Erwärmung kann auf diesem Weg einfach verfolgt und dokumentiert werden. Soll eine Aussage über die Ursache von Erwärmungsgeschehen oder über die Eindringtiefe der Erwärmung erfolgen, sollten zusätzliche Messungen (Temperatur mit Messsonde von mind. 1 m Messtiefe; evtl. auch Dichte mit entsprechendem Bohrgerät) durchgeführt werden.

Bei der Anwendung der Wärmekamera ist deshalb darauf zu achten, dass alle Einflussparameter mit in die Beurteilung einbezogen werden und bei ungünstigen äußeren Verhältnissen eine genauere Betrachtung erfolgen muss. Der Vorteil der Wärmebildkamera liegt in der schnellen Aussage. Für ein erstes Screening an der Anschnittfläche ist sie daher geeignet.

5.5.1.2 Anwendung der Messsonde

Mit der Messsonde erhält der Anwender konkrete Temperaturen an verschiedenen Stellen und bei unterschiedlichen Einstichtiefen. Die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich Nacherwärmung gilt es zu verifizieren. Hierzu wurden die Temperaturdifferenzen zwischen verschiedenen Messpunkten näher betrachtet. Für die Beratung auf dem Betrieb gilt es mögliche Schwachstellen am Silo mit hoher Sicherheit anzusprechen.

Für die Einteilung der Temperaturdifferenzen zwischen einzelnen Messpunkten wurden die Temperaturmessungen in der oberen Schicht und die Messungen der unteren Schicht getrennt voneinander betrachtet. Es wurden nur Messungen, die in der selben Einstichtiefe ermittelt wurden, miteinander verglichen. Das heißt, dass in der oberen Schicht die Messpunkte *Links*, *Mitte* und *Rechts* in 40 cm Einstichtiefe miteinander verglichen wurden und die Messpunkte *Links*, *Mitte* und *Rechts* in 100 cm Einstichtiefe. In gleicher Weise wurde in der unteren Schicht verfahren.

In die Klasse 3 wurden alle Grassilagen aufgenommen, die an mindestens einem Messpunkt eine Temperaturdifferenz von mind. 5 K im Vergleich aufwiesen. Zeigte sich an mindestens einem Messpunkt ein Temperaturunterschied im Bereich von 3-5 K, wurde diese Silage der Klasse 2 zugeordnet (s. Tab. 66).

Tab. 66: Anteile der beprobten Grassilagen mit definierten Temperaturdifferenzen bei Messung oben und unten in 40 und 100 cm Einstichtiefe

Klasse	Temperatur-	Oben 40 cm	Oben 100 cm	Unten 40 cm	Unten 100 cm
	Differenz in K	%	%	%	%
1	< 3,0	41	46	46	43
2	3,0 - 5,0	24	20	24	26
3	> 5,0	31	29	20	20

Bei 49 % der Silagen, die in der oberen Schicht eine Temperaturdifferenz von mehr als 5,0 K aufwiesen, konnte bei der Beprobung konkret ein Erwärmungsgeschehen festgestellt und eine „Wärme-Probe“ entnommen werden. Die Betrachtung in der unteren Schicht ergab, dass hier in 38 % der Silagen ein Erwärmungsgeschehen gefunden wurde.

Tab. 67: Anteile der beprobten Maissilagen mit definierten Temperaturdifferenzen bei Messung oben und unten in 40 und 100 cm Einstichtiefe

Klasse	Temperatur-	Oben 40 cm	Oben 100 cm	Unten 40 cm	Unten 100 cm
	Differenz in K	%	%	%	%
1	< 3,0	41	47	46	42
2	3,0 - 5,0	29	28	25	23
3	> 5,0	30	24	25	31

Die Ergebnisse der beprobten Maissilagen sind aus der Tab. 67 ersichtlich. Es zeigen sich in etwa gleiche Anteile in den verschiedenen Klassen. Die Auswertungen bestätigen, dass über Unterschiede zwischen verschiedenen Einstichstellen eine Differenzierung der Silagen möglich ist. Temperaturdifferenzen von mehr als 5 K treten im oberen Bereich in etwa 1/3 der Silagen auf. Ein Hinweis auf Nacherwärmung ist hier gegeben.

Fasst man die Temperaturmessergebnisse und die Messergebnisse der Wärmebildkamera zusammen, dann lässt sich ein Zusammenhang für die ausgewählten Maissilos mit Wärmenest, Temperaturmessung im Wärmenest, Kameramessung am Anschnitt und Außenluft vor dem Silo wie in der nachfolgenden Abbildung (Abb. 4) herstellen. Die Daten entstammen einer Sonderauswertung bei der auch die Temperaturen in etwa 20 cm Einstichtiefe gemessen wurden.

Dabei sind die Temperaturen [°C] über der Silotiefe [cm/d] aufgetragen. Es wurden die mittleren Temperaturen aus der Temperaturmessung aller Silos bei 100 cm und bei 40 cm für den Winter und den Sommer eingetragen. Dazu wurden die mittleren Temperaturen der Wärmenester eingetragen. Hinzu wurden die Temperaturen über die Wärmebildkamera vom Anschnitt der Silos am Wärmenest gefügt und die mittleren Außenlufttemperaturen eingetragen.

Aus diesem Liniendiagramm lässt sich nun ableiten, dass bei 40 cm Tiefe kaum noch eine Erwärmung festzustellen ist. Die Unterschiede zwischen Sommer und Winter sind zu vernachlässigen. Die Temperatur im Wärmenest weisen im Sommer und im Winter größere Differenzen auf. Daraus ist zu entnehmen, dass generell der Vorschub in Silos mit Erwärmungsgeschehen auf mindestens 40 cm/Tag erhöht werden sollte und dies unabhängig von Sommer oder Winter.

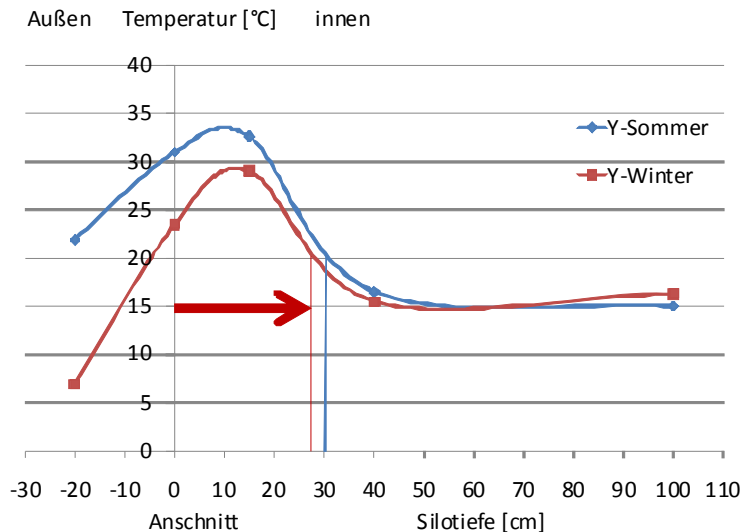


Abb. 4: Mittelwerte der Temperatur [°C] im Silo im Winter und im Sommer
Ableitung des notwendigen Vorschubs [cm/d] bei Nacherwärmung in Maissilage

5.5.2 Dichtemessungen

Die Dichtlagerung der Silagen ist maßgebend für den möglichen Eintritt von Sauerstoff. Problematisch ist der Aufwand für die Messung und die Aussagefähigkeit der Messung in der Praxis. Zur Beurteilung der vorliegenden Ergebnisse werden zunächst die methodischen Vorarbeiten dargestellt und im zweiten Schritt die Ergebnisse diskutiert.

5.5.2.1 Vorarbeiten

Vor der Durchführung des Controllings wurde ein Vergleich zwischen der Dichtemessung mit dem Bohrer und der Dichtemessung mit herausgeschnittenen Blöcken durchgeführt. Es wurden 6 Vergleichspaare vermessen. Die Ergebnisse sind aus der Abbildung 5 ersichtlich.

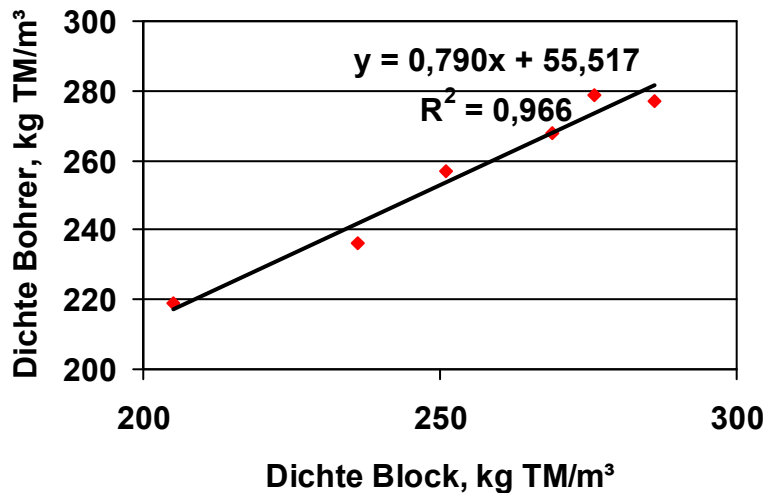


Abb. 5: Vergleich Dichtemessung Bohrer und Siloblock ($n = 6$)

Abb. 5 zeigt mit einem R^2 von 0,97 eine gute Übereinstimmung beider Messmethoden. Andere Autoren [15] erreichten ein R^2 von 0,86 allerdings mit sehr viel mehr Vergleichspaaren. Der von [15] verwendete Bohrer wurde in einer Diplomarbeit in einem einfachen Vergleich eingesetzt [13] und zeigte im Vergleich zu den „Gruber“ Bohrer größere Abweichungen auf, so dass dieser für die Dichtebestimmung verwendet wurde.

Da die Dichtebestimmung mittels Siloblock sehr aufwändig ist und keine Differenzierung am Anschnitt erlaubt, wurde mit mehreren Probebohrungen am Anschnitt die Dichte erfasst.

5.5.2.2 Dichtebestimmung mit Bohrer in der Praxis

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Verdichtungsarbeit im Silo, den Fermentationsverlusten und den TM-Verlusten bei der Auslagerung. Letztere nehmen beachtliche Ausmaße an, wenn sich die Silage wieder erwärmt, insbesondere bei geringer Haltbarkeit der Silagen. Die Dichte im Silo bestimmt dabei einmal wie leicht Sauerstoff vom Anschnitt her ins Silo eindringt und natürlich wie tief. Andererseits findet bei geringer Dichte ein leichteres Abfließen des CO_2 im Silo statt, das dann bei nicht sachgerechter Abdeckung zu einem verstärkten O_2 -Eintrag ins Silo führt. Die Kenntnis der Verdichtung im Silo führt daher zu einer besseren Prognose zur Stabilität der Silage. Durch Ein- und Auswaage des Siliergutes und der Silage ließe sich die Dichte im Silo unter Einbeziehung der Abmessungen des Silos und des Füllungsgrades exakt bestimmen. Es ist einleuchtend, dass dies in den wenigsten Fällen möglich ist. Die Sollwerte der Verdichtung [9] liegen für Mais bei einem TM-Gehalt von 28 % bei 225 kg TM/m^3 und bei 33 % TM bei 265 kg TM/m^3 . In der Praxis lässt sich die Dichte im Silo nicht so exakt bestimmen und beurteilen, da die Verdichtung im Kern vielfach höher ist als am Rand. Es wurden und werden daher Methoden entwickelt, um die Dichte am Anschnitt des Silos zu bestimmen und daraus einmal Hinweise zur Entnahme der Silage zu gewinnen und andererseits Informationen für die Optimierung der nächsten Befüllung daraus abzuleiten.

Ziel wird es sein, die Unterschiede in der Dichte der Bohrstockproben so gering wie möglich zu halten und als Beurteilungskriterium der Walzarbeit heranzuziehen. Durch die Kombination von Bohrstockprobe und Siloprotokoll lassen sich auch Bergeverfahren und Walzarbeit im Silo optimieren, um so die Häufigkeit der Nacherwärmung zu reduzieren.

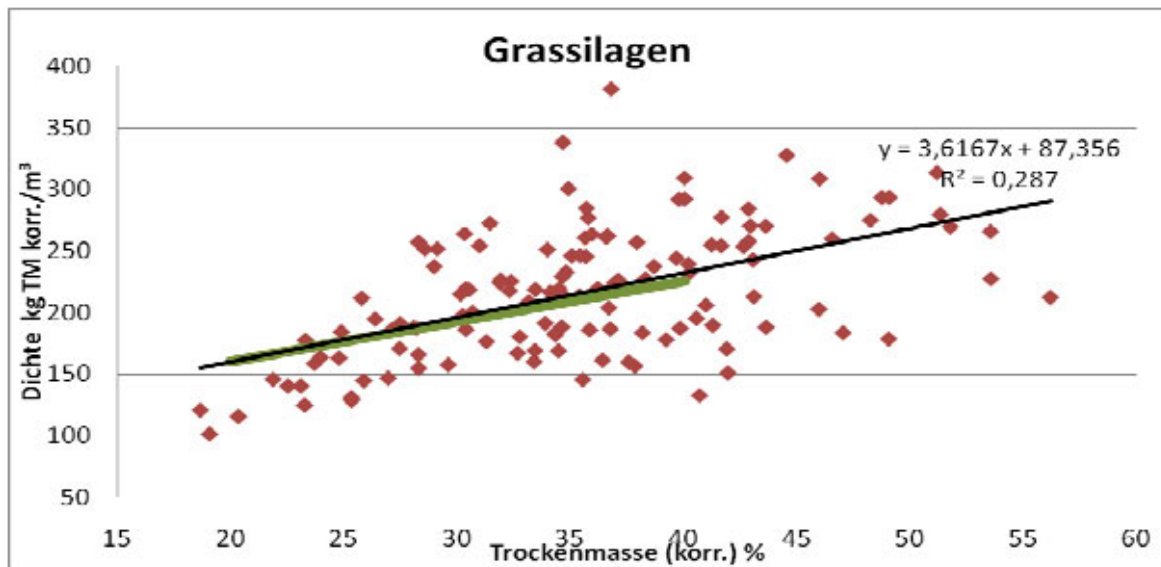


Abb. 6: Abhängigkeit der Dichte von der Trockenmasse bei Grassilagen ($n = 127$; Zielgröße laut Praxishandbuch [9] zum Vergleich)

In (Abb. 6) wurde die Dichte der Grassilagen in Abhängigkeit von der TM dargestellt. Sie zeigt ein Bestimmtheitsmaß von 0,3 auf. Die Streuungen sind ähnlich wie bei anderen Autoren [15], [16]. Es zeigt sich aber eine gute Übereinstimmung mit der Solllinie zwischen 20 und 40 % TM. Die Trendlinie hat eine ähnliche Steigung. Je %-Punkt TM steigt die Dichte um rund 3 kg TM/m^3 an.

In früheren Untersuchungen [18] wird die Steigerung der Dichte um 5 kg je \% -Punkt auch mit einem geringeren TM-Verlust von $0,2 \text{ \%}$ -Punkten und einer höheren Intensität der Walzarbeit begründet.

Bei den Maissilagen liegt das Bestimmtheitsmaß der Regression höher, bei $R^2 = 0,35$. Die Streuungen sind etwas geringer, was bei Maissilagen auch zu erwarten war. Die Steigung der Solllinie ist größer als die der Trendlinie. Je %-Punkt mehr an Trockenmasse steigt die Dichte im Trend um 5 kg TM/m^3 gegenüber einem Sollwert von etwa 7 kg . Die Werte liegen im Mittel unter den Zielwerten [9].

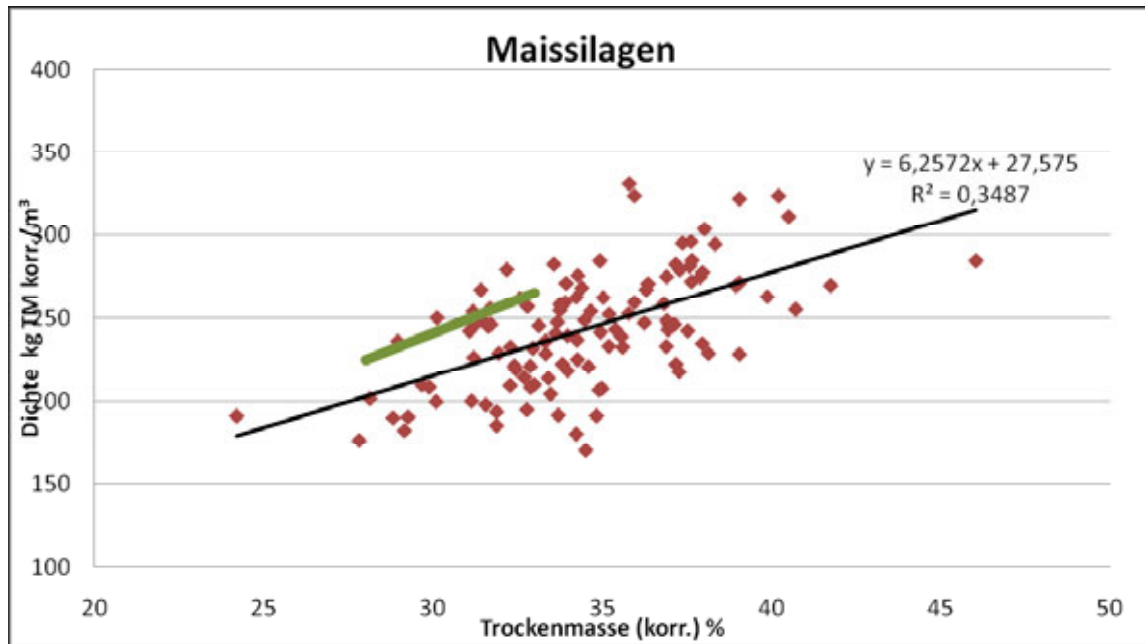


Abb. 7: Abhängigkeit der Dichte von der Trockenmasse bei Maissilagen ($n = 118$); Zielgröße laut Praxishandbuch [9] zum Vergleich

5.5.2.3 Beurteilung der Dichten

Für das betriebliche Controlling ist die Bewertung der Daten beim Einzelbetrieb maßgebend. Es ist festzulegen, welche Messergebnisse am Anschnitt hierfür am besten geeignet sind.

Um die Frage zu beantworten wie viel Betriebe in der Norm liegen, müsste zunächst eine Norm definiert werden.

Unseres Erachtens sind die Ergebnisse des Messpunkts „Unten“ in der Silomitte die geeignetste Basis für die Definition einer Dichte-Norm. Dafür spricht, dass sich dieser Messpunkt in allen Silos in annähernd gleicher Höhe (ca. 50 cm vom Boden) befindet und mit wenigen Ausnahmen an allen beprobten Silos gemessen wurde. Dagegen sprechen könnte allerdings der Einfluss der Silostockhöhe und damit der Einfluss des über dem Messpunkt liegenden Gewichts. Der Messpunkt „Mitte“ sollte nicht als Datengrundlage dienen, da nur in Silos, die eine Silostockhöhe von mind. 1,50 m aufwiesen eine Mitte-Bohrung gemessen wurde und sich die Entnahmestellen von Silo zu Silo stärker abweichen, da die Silostockhöhen von 1,50 m bis zu 3,20 m variieren. Die Dichte in der oberen Schicht wurde zwar an einer definierten Position gemessen, weist aber aufgrund äußerer Umstände eine größere Unsicherheit auf, da sich die Messstelle mehrfach auch oberhalb der Silowände befand. Dies trifft auch auf die Seitenbohrung zu.

Unter Annahme der Datengrundlage, basierend auf die Messwerte des Messpunkts „Unten“, und einer max. Mess-Toleranz von 5 %, ergeben sich folgende Norm-Werte:

	Mittlerer Messwert	Toleranzbereich ± 5 %
Grassilage	229 kg TM/m ³	218 – 240 kg TM/m ³
Maissilage	260 kg TM/m ³	247 – 273 kg TM/m ³

Demnach ergibt sich, dass 50 von 90 Grassilos in der Norm liegen. Bei Maissilos sind es 70 von 110.

Der mittlere Messwert für die Dichte bei den Grassilagen beträgt 229 kg TM/m³. Dies liegt etwas über dem Zielwert von etwa 220 kg TM/m³ bei 35 % TM [9].

Wie aus den Tab. 54 bis Tab. 57 ersichtlich, liegt die Verdichtung in den oberen Bereichen der Silagen jedoch erheblich niedriger. Das Ziel sollte eine ähnliche Verdichtung im oberen wie im unteren Bereich der Silage sein.

Bei den beprobten Maissilagen liegt auch der Wert im unteren Bereich der Silos im Mittel unter den Vorgaben. Die Zielgröße für minimalen Sauerstoffeintrag beträgt bei 33 % TM 265 kg TM/m³ [9]. Damit nicht alle Silos außerhalb der Norm liegen ist hier eine Toleranz sinnvoll. Aus den vorliegenden Untersuchungen bietet sich ein Wert von etwa 250 kg TM je m³ an. Zu beachten ist jedoch auch hier, dass die Dichten von Unten nach Oben abnehmen.

Zu Überprüfen ist inwieweit sich die Norm-Werte verändern unter Berücksichtigung der Silostockhöhe. Sinnvoll wäre weiterhin die Norm-Werte in Abhängigkeit des TM-Gehaltes anzugeben.

Orientierungsbereich nach Gehalt an Trockenmasse

Für die praktische Anwendung sollte die Beurteilung der beim Controlling gemessenen Dichte in Abhängigkeit vom Gehalt an Trockenmasse erfolgen. Der ausgewiesene Orientierungsbereich sollte bei guter fachlicher Praxis realisierbar sein und einen möglichst niedrigen Eintrag an Sauerstoff gewährleisten. Für den ersten Punkt können die Daten aus der vorliegenden Untersuchung dienen. Die in den Abb. 6 und Abb. 7 dargestellten Regressionsgleichungen geben den Zusammenhang zwischen Trockenmasse und möglicher Verdichtung an. Der „minimale“ Sauerstoffeintrag wird bei den Vorgaben der DLG (2006) erreicht.

Aus beiden Größen wurde pragmatisch ein vorläufiger Orientierungsbereich (Tab. 68 und Tab. 69) abgeleitet. Befindet sich die ermittelte Dichte in diesem Bereich ist von einer ausreichenden Verdichtung entsprechend der gegenwärtig möglichen Praxis auszugehen.

5.5.3 Einschätzung der Ergebnisse der aeroben Stabilität

Alle Proben, von denen die aerobe Stabilität bestimmt wurde, sind in gleicher Art und Weise von der Probennahme bis hin zur Analyse behandelt worden (=Standard der Silierversuche zum Zeitpunkt des Projektbeginns). D.h., sie wurden alle:

- in gleicher Weise transportiert,
- sofort nach dem Transport bei –22 °C eingefroren,
- zur Analyse langsam im Kühlraum über 3 Tage hinweg aufgetaut,

- am Analysetag in Dosen für die Temperaturmessung abgefüllt; dabei stets 100 g TM/Dose eingefüllt.
- im Anschluss daran, in den Temperaturraum bei 20 °C an die Temperatur-Messanlagen angeschlossen, die Temperatur wurde alle 6 Stunden aufgezeichnet,
- bei Erreichen einer Temperatur von Raumtemperatur plus 3 °C über 24 h hinweg, wurde die jeweilige Probe aus dem Temperaturversuch entnommen und bei -22 °C eingefroren
- maximal wurden die Proben über einen Zeitraum von 14 Tagen im Temperaturraum belassen und die Temperaturen aufgezeichnet.

Die relativ hohe aerobe Stabilität der Silagen (s. Tab. 64 und Tab. 65) lässt sich wahrscheinlich durch den Prozess des Gefrierens erklären, der, so scheint es, die Populationen der Mikroorganismen, die für die Erwärmung von Silage ursächlich sind, so weit zurückdrängt/schädigt, dass sich die Erwärmung verschiebt.

5.5.4 Handlungsempfehlungen bei Nacherwärmung

Sinn des Controllings am Silo ist die Beurteilung der Situation und die Ableitung von Empfehlungen. Eine besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Nacherwärmung.

Um zu einer Empfehlung bei Erwärmungsgeschehen zu gelangen, ist zuvor zu klären, ob es sich dabei um ein in sich abgeschlossenes Erwärmungsnest, das nur kurzzeitig vorhanden ist, handelt, oder ob es Erwärmungszonen sind, die fortwährend andauern.

Bei einem einmaligen Erwärmungsnest ist die betroffene Silage zu verwerfen, um evtl. gesundheitliche Risiken für die Tiere und damit unnötige Kosten zu vermeiden. Weitere Recherchen könnten evtl. Beschädigungen der Abdeckfolie umfassen.

Erwärmungszonen bzw. komplett warme Silos hingegen deuten eher darauf hin, dass sich im Silomanagement (von der Silagebereitung bis hin zu Silageentnahme) noch Mängel befinden. Hier sollte zunächst nach der oder den Ursachen gesucht und Maßnahmen zur Eindämmung des Problems getroffen werden. Abzuklären sind Verdichtung, Vorschub, Entnahme etc. Maßnahmen könnten z.B. sein:

- Erhöhung des Vorschubs, wenn möglich;
- Abräumen der Silage, die über die Silowände hinausreicht mit anschließendem Umsilieren
- Umsilieren generell, in Verbindung mit dem Einsatz entsprechender Siliermittel;

für die Zukunft:

- Abstimmung der Futtermenge vom Feld mit dem Fassungsvermögen der Silos und evtl. Lösungen für Übergangszeiten, wenn z. B. bei Futterknappheit der Fall eintritt, dass der 1. Schnitt Grassilage vor Beendigung des Gärprozesses geöffnet werden müsste;
- Optimierung der Silagekette etc.

5.5.5 Beurteilung von Messergebnissen – Weiterentwicklung des Controllings

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse und Auswertungen sowie den Beiträgen in der Literatur kann ein Schema zur Beurteilung der Messwerte und Analyseergebnisse abgeleitet werden.

Bei der Einordnung der Temperaturmessungen ist deutlich herauszustellen, dass bei Zutreffen eines Punktes dies lediglich ein HINWEIS auf Nacherwärmung darstellt, außer die 20 °C sind deutlich und offensichtlich an einer Messstelle, im Vergleich zu anderen, überschritten.

Bei der Dichte sollte eine weitere Staffelung in Abhängigkeit des TM-Gehalts erfolgen (s. Kapitel 5.5.2.3). Außerdem sollte definiert werden, um welche Dichte es sich handelt. Ist die durchschnittliche Dichte im gesamten Silo, oder an einer bestimmten Messstelle gemeint? Die unter [9] angeführten Dichten sind Optimalwerte. Für die Beurteilung der Werte in der Praxis sollten bis zum Erreichen dieser Werte modifizierte Normwerte Verwendung finden.

Beurteilung von Messwerten und Analysenergebnissen:

1. Temperaturmessungen mit der Messsonde
 - Temperaturwerte oberhalb von 20 °C deuten auf Nacherwärmung hin; Abprüfung ob durch „Restwärme“ bei der Einlagerung bedingt.
 - Temperaturdifferenzen von über 5 K zwischen zwei Messpunkten weisen ebenfalls auf ein Nacherwärmungsgeschehen hin;
 - Temperaturdifferenzen von über 3 K zwischen den Messwerten in 40 und 100 cm Messtiefe sind ebenso ein Hinweis auf Nacherwärmung;
2. Dichte

Folgende Orientierungswerte sollten bei der Dichte erreicht werden, um das Risiko einer Nacherwärmung und Schimmelbildung so gering wie möglich zu halten:

Tab. 68: Ableitung eines Orientierungsbereichs zur Beurteilung der Dichte bei Grassilagen (kg TM/m³)

TM %	DLG (2006) Zielwert	Regression aus Abb. 6	Orientierungsbereich
20	160	159	155 – 165
25		177	170 – 180
30		195	190 – 200
35		213	205 – 215
40	225	231	220 – 230
45		249	240 – 250
50		267	255 – 270
55		285	275 - 290

Tab. 69: Ableitung eines Orientierungsbereichs zur Beurteilung der Dichte bei Maissilage (kg TM/m³)

TM %	DLG 2006 Zielwert	Regression aus Abb. 7	Orientierungsbereich
27		198	200 – 215
28	225	204	210 – 225
29		211	220 – 230
30		217	230 – 240
31		223	235 – 245
32		230	240 – 255
33	265	236	250 – 265
34		242	255 – 270
35		249	260 – 275
36		255	265 – 280
37		261	270 – 285
38		267	275 – 290
39		274	280 – 295
40		280	285 - 300

3. offensichtliche Veränderungen am Anschnitt

Offensichtliche Veränderungen am Silo-Anschnitt sind:

- starke Verfärbungen der Silage,
- erhebliche Geruchsveränderungen und
- Schimmelbildung.

Diese Veränderungen sind Hinweise auf Erwärmungsgeschehen bzw. Schimmelbildung oder aber auch eines unerwünschten Gärverlaufs und sollten näher betrachtet werden.

4. Analysenergebnisse

Der Futterwert lässt sich durch Analysen von Futterproben bestimmen. Analyseergebnisse, die sich im Bereich der Orientierungswerte der DLG [9] für gute Gras- und Maissilagen befinden, sind anzustreben. Bei Nacherwärmungen ist ein Abbau der Gärsäuren mit einem Anstieg des pH-Werts zu beobachten.

5.5.6 Zukünftige Vereinfachungen

Das Controlling am Silo (CAS) bietet eine sehr gute Möglichkeit Optimierungsansätze im Silagemanagement aufzuzeigen und somit eine Verbesserung der Grobfutterqualität zu

erreichen. Die Erfordernisse und die Möglichkeiten sind aber einzelbetrieblich sehr unterschiedlich und sollten daher in jedem Fall einzeln betrachtet werden.

Bei offensichtlichen Problemen einer Silage / Überprüfung von Arbeitsleistungen (z.B. Lohnunternehmer etc.) zur Ermittlung evtl. Regressansprüche wäre eine Vereinfachung des CAS wenig sinnvoll. In diesen Fällen ist daher das komplette CAS (Temperatur, Dichte u. Silierprotokoll) erforderlich (s. auch Kapitel 6).

Ansonsten könnte eine Vereinfachung darin bestehen, dass man sich bei den Temperaturmessungen auf 3-4 Messstellen beschränkt; z.B. auf *Links*, (*Mitte*) und *Rechts* in der oberen Schicht plus *Mitte-Kern*. Bei der Dichte wäre es evtl. möglich sich auf die Messstelle *Unten* einzugrenzen, um den Wert dann auch mit Norm-Werten abgleichen zu können. Zugleich könnte an dieser Stelle auch eine Normal-Probe gezogen werden, wenn mit Standards verglichen werden soll.

5.5.7 Varianzanalyse

Um Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Gäranalytik und den weiteren Daten zu ermitteln, wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Bei der Vielzahl der Parameter musste hingenommen werden, dass einige Datensätze nicht ganz vollständig waren. In diesem Fall verringerte sich die Anzahl der verwendeten Datensätze. Es wird als Vorteil angesehen, dass mit dem Programm GLM zur Erklärung der Streuung einer abhängigen Variablen [16], wie in Tab. 70 zum Beispiel der **pH-Wert**, fixe Faktoren wie zum Beispiel Schnitt u. a. herangezogen werden können. Die quantitativen Variablen wie TM-Gehalt oder Rohfasergehalt werden konstant gehalten. Bei den Grassilagen zeigt sich, dass Schnitthöhe und Erntetechnik den pH-Wert signifikant beeinflussen. Plausibel könnte dies mit dem Keimgehalt oder dem Aschegehalt zusammenhängen. Der **Ammoniakgehalt** (NH₃-N in % FM) reagiert in den Auswertungen auf nahezu zwei Drittel der aufgelisteten fixen Faktoren und unterstreicht damit seine Bedeutung als Beurteilungskriterium für den Gärprozess. Zusammengefasst zeigt der Bezug des NH₃-N auf den Anteil am Gesamt N nur im Trend einen Zusammenhang mit dem Schnittzeitpunkt, der Schnitthöhe, dem Verdichtungsgewicht und der Gärdauer auf. Der Abbau an Eiweiß ist mit ein Anzeichen für die Beurteilung des Fermentationverlaufes. Die nicht gesicherten Aussagen führten aber dazu, dass dieser Parameter im Beurteilungsschlüssel der DLG nicht mehr berücksichtigt wurde. Im Einzelfall kann er aber noch gute Hilfe bei der Beurteilung von Fehlgärungen leisten. Die **Gärsäuren** wie die Milchsäure zeigen signifikante Zusammenhänge zu dem Schnitt, dem Schnittzeitpunkt, der Erntetechnik der Verdichtungstechnik, dem Verdichtungsgewicht und vor allem dem Vorschub. Die Gärsäuren zusammengefasst zeigen noch einen signifikanten Zusammenhang zu den drei fixen Faktoren Erntetechnik, Verdichtungstechnik und Vorschub. Dies steht im Trend bei der **aeroben Stabilität** ebenso mit den fixen Faktoren Verdichtungstechnik und Verdichtungsgewicht wie im signifikanten Zusammenhang zu den Faktoren Entnahmetechnik und Abdeckung. Zum Alkoholgehalt und zum pH-Wert nach dem Temperaturversuch (pH-aus) liegen keine Signifikanzen aus der Varianzanalyse vor.

Insgesamt ist aber bei dieser Auswertung zunächst nur der Bezug zu dem vorliegenden Datenmaterial zu sehen und eine Verallgemeinerung darf ähnlich wie bei [16] nicht zu einer Überinterpretation führen.

Die varianzanalytische Auswertung der Gärparameter der Maissilagen zeigt einen signifikanten Zusammenhang des erreichten **pH-Wertes** zu den fixen Faktoren Entnahmetechnik und Abdeckung und einen Trend zur Kornabreife, Verdichtungstechnik und Verdichtungsgewicht. Bei den **Gärsäuren** zeigte lediglich die Essig- und Buttersäure einen signi-

signifikanter Einfluss der Schnitthöhe auf den Alkoholgehalt festgestellt werden. Die übrigen fixen Faktoren und abhängigen Variablen zeigten keine Signifikanzen (Tab. 71).

Werden die **Rohnährstoffe** bei den Grassilagen (Tab. 72) als abhängige Variable genommen zeigen sich signifikante Zusammenhänge zu den fixen Faktoren Schnitt, Schnittzeitpunkt, Feldperiode und Regen während der Silierperiode. Bei den Maissilagen zeigt lediglich die Schnitthöhe beim Trockenmassegehalt einen signifikanten Zusammenhang auf. (Tab. 73).

Tab. 70: Gärparameter von Grassilagen und die Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM)

<u>Gras</u>	pH-Wert	NH ₃ -N % FM	NH ₃ -N % Ges.N.	Milchsäure % FM	Essigsäure % FM	Buttersäure % FM	Ges.säure % FM	Alkohol % FM	aerobe Stab. Tage	pH-aus
Kenngröße	P - Werte									
Schnitt	0,24	0,05	0,22	0,04	0,22	0,13	0,11	0,18	0,13	0,18
Schnittzeitpunkt	0,42	0,04	0,08	0,04	0,21	0,09	0,15	0,19	0,17	0,08
Feldperiode	0,67	0,06	0,23	0,12	0,97	0,60	0,29	0,94	0,20	0,13
Regen	0,56	0,29	0,003	0,09	0,38	0,35	0,48	0,48	0,27	0,79
Schnitthöhe	0,02	0,42	0,07	0,15	0,78	0,71	0,25	0,39	0,76	0,67
Erntetechnik	0,03	0,02	0,94	0,02	0,03	0,04	0,03	0,23	0,23	0,82
Häcksellänge	0,24	0,01	0,14	0,41	0,76	0,11	0,27	0,78	0,22	0,19
Verd.technik	0,18	0,41	0,14	0,03	0,05	0,07	0,05	0,25	0,06	0,85
Verd.gewicht	0,18	0,09	0,08	0,04	0,66	0,39	0,10	0,31	0,10	0,27
Anf.leistung TM	0,56	0,45	0,20	0,13	0,68	0,51	0,40	0,10	0,30	0,51
Silierm.einsatz	0,25	0,03	0,39	0,42	0,40	0,19	0,71	0,19	0,28	0,58
Gärdauer	0,76	0,21	0,08	0,52	0,19	0,03	0,50	0,65	0,20	0,24
Vorschub	0,55	0,02	0,61	0,01	0,31	0,24	0,04	0,51	0,58	0,78
Entnahmetechnik	0,39	0,03	0,10	0,07	0,18	0,08	0,21	0,59	0,05	0,57
Sandwichsilage	0,25	0,92	0,32	0,17	0,29	0,81	0,21	0,90	0,21	0,84
Abdeckung	0,13	0,02	0,13	0,12	0,26	0,58	0,17	0,50	0,05	0,20
Beschwerung	0,38	0,07	0,10	0,07	0,70	0,27	0,15	0,41	0,13	0,36

Tab. 71: Gärparameter von Maissilagen und Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM)

Mais	pH-Wert	NH ₃ -N % FM	NH ₃ -N % Ges.N.	Milchsäure % FM	Essigsäure % FM	Buttersäure % FM	Ges.säure % FM	Alkohol % FM	aerobe Stab. Tage	pH-aus
Kenngröße	P - Wert									
Kornabreife	0,06	0,12	0,32	0,81	0,08	0,1	0,63	0,80	0,90	0,16
Regen	0,72	0,54	0,41	0,75	0,05	0,31	0,28	0,42	0,41	0,39
Schnitthöhe	0,47	0,83	0,95	0,11	0,002	0,51	0,69	0,05	0,80	0,83
Häcksellänge	0,28	0,82	0,21	0,98	0,52	0,29	0,77	0,73	0,67	0,57
Verd.technik	0,06	0,98	0,33	0,66	0,56	0,68	0,48	0,58	0,41	0,98
Verd.gewicht	0,09	0,78	0,31	0,40	0,56	0,96	0,55	0,66	0,83	0,94
Anf.leistung TM	0,26	0,86	0,61	0,81	0,43	0,16	0,69	0,24	0,98	0,19
Silerm.einsatz	0,11	0,49	0,55	0,08	0,03	0,18	0,46	0,21	0,75	0,84
Gärdauer	0,31	0,21	0,19	0,08	0,98	0,03	0,07	0,53	0,99	0,33
Vorschub	0,81	0,84	0,64	0,39	0,31	0,97	0,24	0,36	0,58	0,36
Entnahmetechnik	0,0002	0,29	0,66	0,57	0,37	0,08	0,50	0,31	0,90	0,97
Abdeckung	0,0004	0,34	0,76	0,36	0,82	0,17	0,37	0,13	0,88	0,91
Beschwerung	0,48	0,15	0,27	0,36	0,35	0,48	0,40	0,61	0,33	0,66

Daten: Durchschnittswerte pro Silo mit Sandwich-Silagen

Signifikanzniveau:

Tendenz bei $P < 0,1$; * bei $P < 0,05$; ** bei $P < 0,01$; *** bei $P < 0,001$

Tab. 72: Rohnährstoffgehalte von Grassilagen und Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM)

<u>Gras</u>	TM %	XP % TM	XF % TM	Nfe % TM	NEL MJ/kg TM
Kenngröße	P - Wert				
Schnitt	0,01	0,01	0,01	0,0003	0,003
Schnittzeitpunkt	0,10	0,08	0,02	0,14	0,01
Feldperiode	0,02	0,09	0,03	0,006	0,01
Regen	0,002	0,08	0,02	0,004	0,01

Tab. 73: Rohnährstoffgehalte von Maissilagen und Varianzanalyse der Fragebogenergebnisse (SASS Proc GLM)

<u>Mais</u>	TM %	XP % TM	XF % TM	Nfe % TM	NEL MJ/kg TM
Kenngröße	P - Werte				
Kornabreife	0,88	0,91	0,35	0,51	0,66
Regen	0,44	0,98	0,47	0,63	0,06
Schnitthöhe	0,04	0,27	0,07	0,08	0,16

Daten: Durchschnittswerte pro Silo mit Sandwich-Silagen

Signifikanzniveau: Tendenz bei $P < 0,1$; * bei $P < 0,05$, ** bei $P < 0,01$; *** bei $P < 0,001$.

Bei der Grassilage zeigt sich im Besonderen der signifikante Zusammenhang von Rohfaser, Schnitt, Schnittzeitpunkt und Feldperiode auf. Für das Datenmaterial Grassilage wurde die Trockenmasse über dem Rohfasergehalt aufgetragen (Abb. 8). Zudem wurden die Beratungsempfehlungen zum Schnittzeitpunkt und zum Rohfasergehalt zwischen 22 und 27 % und zum TM-Gehalt zwischen 30 und 40 % TM eingezeichnet. Es zeigt sich, wie bei [16], dass etwa ein Drittel der Proben im Optimum d. h. im Empfehlungsbereich liegen, so dass noch weiterer Beratungsbedarf gesehen wird.

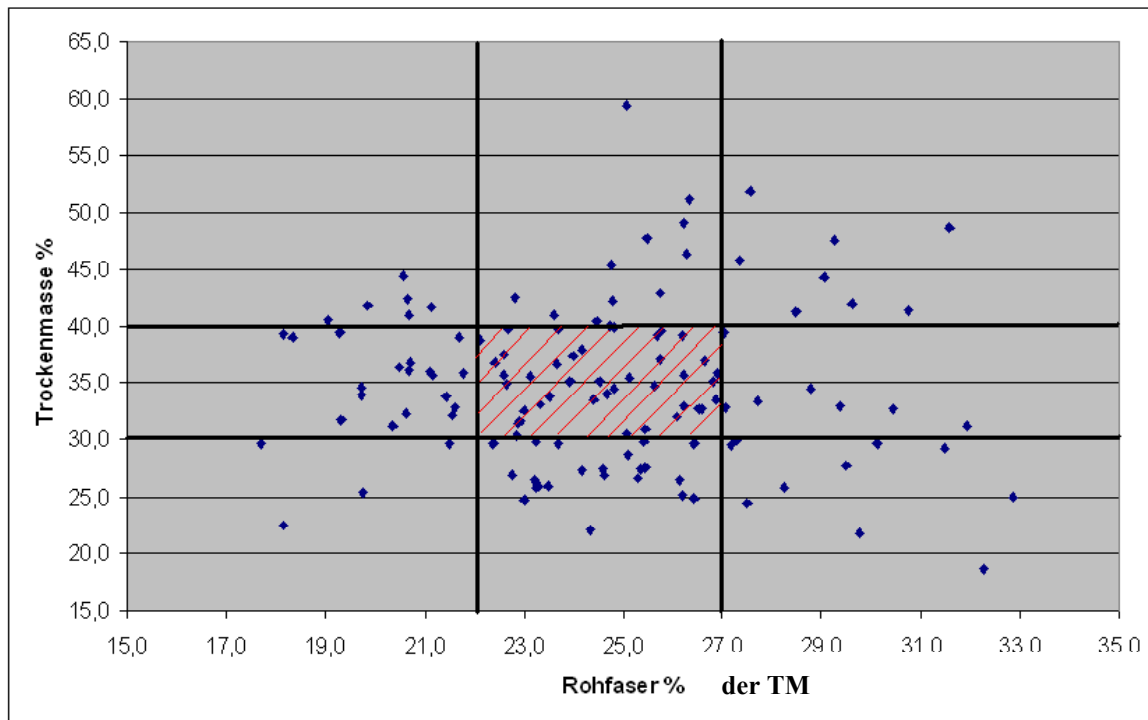


Abb. 8: Darstellung der Rohfasergehalte der beprobten Grassilagen in Relation zum Gehalt an Trockenmasse; schraffiert ist der Zielbereich

5.6 Mykologische Untersuchungen

Es wurden insgesamt 584 Silageproben mykologisch untersucht. Dabei unterschieden sich sensorisch unauffällige Proben ($n = 244$) erwartungsgemäß deutlich von erwärmten ($n = 127$) und verpilzten ($n = 213$), hinsichtlich des Vorkommens von Schimmel- und Sprosspilzen.

Die Schimmelpilzbefunde in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten sind in Tab. 74, sowie Abb. 10 und Abb. 11 zusammenfassend dargestellt. In 52 % des gesamten Probenmaterials konnten Schimmelpilze nachgewiesen werden. Die Zuordnung der Befunde zu den einzelnen Qualitätsstufen (normal, erwärmt und verpilzt) ergab höhere Prävalenzraten bei Proben aus Wärme- oder Schimmelnestern, als bei Proben aus „unauffälligen“ Silagen (normal).

In den meisten „unauffälligen“ Gras- (84,1 %) und Maissilagen (89,8 %) konnten keine Schimmelpilze nachgewiesen werden. Auch Proben mit positivem Schimmelpilznachweis enthielten nur selten mehr als 1.000 KBE/g Futtermittel. Berücksichtigt man die Herkunft der Silagen, so fällt auf, dass „unauffällige“ Silagen aus dem Gebiet Rosenheim häufiger Schimmelpilze (22,5 %) enthielten, als dies für die Regionen Roth (12,9 %) und Schwandorf (10,8 %) der Fall war (Abb. 9). Unauffällige Grassilagen (17,4 %) waren insgesamt häufiger mit Schimmelpilzen kontaminiert als vergleichbare Maissilagen (11,0 %).

Sensorisch veränderte Gras- und vor allem Maissilagen wiesen deutlich höhere Schimmelpilzkeimzahlen auf als „normale“ Silage. Die durchschnittlichen Schimmelpilzkeimzahlen in verpilzten Silagen überstiegen dabei deutlich jene in erwärmten Gärfuttermitteln (Abb. 10 und Abb. 11). „Warme“ Grassilagen enthielten im Mittel 4,8 KBE_{log}/g, Maissilagen 5,4 KBE_{log}/g (Median = 2,18 bzw. 2,54 KBE_{log}/g). Demgegenüber wiesen „verpilzte“ Grassilagen eine durchschnittliche Schimmelpilzkeimzahl von 6,6 KBE_{log}/g, Maissilagen von 7,5 KBE_{log}/g auf (Median = 5,6 bzw. 7,0 KBE_{log}/g).

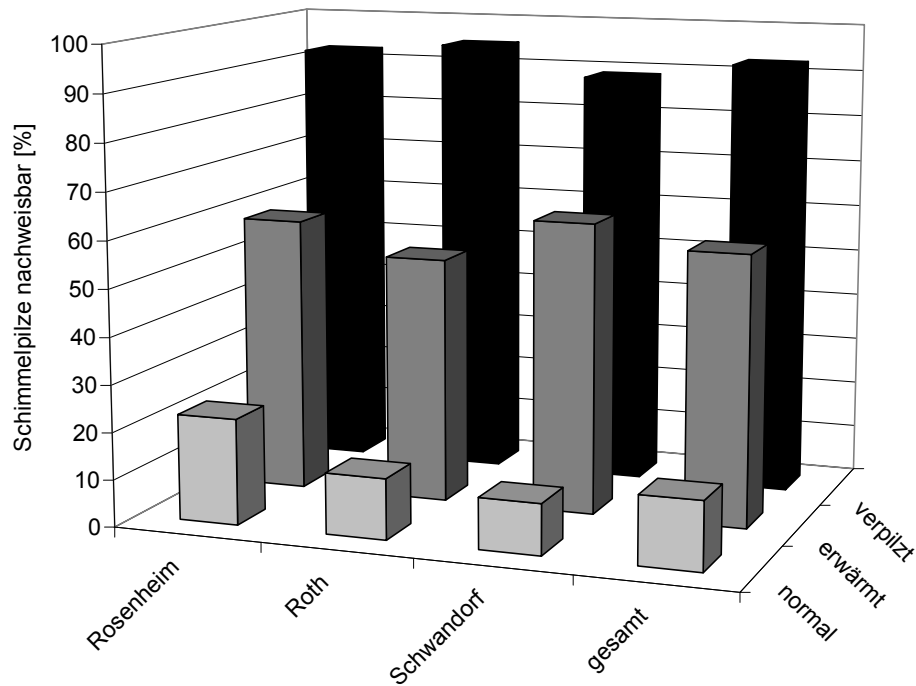


Abb. 9: Häufigkeit von Schimmelpilzen in Silagen unterschiedlicher Qualitäten und verschiedener Herkünfte (n = 584)

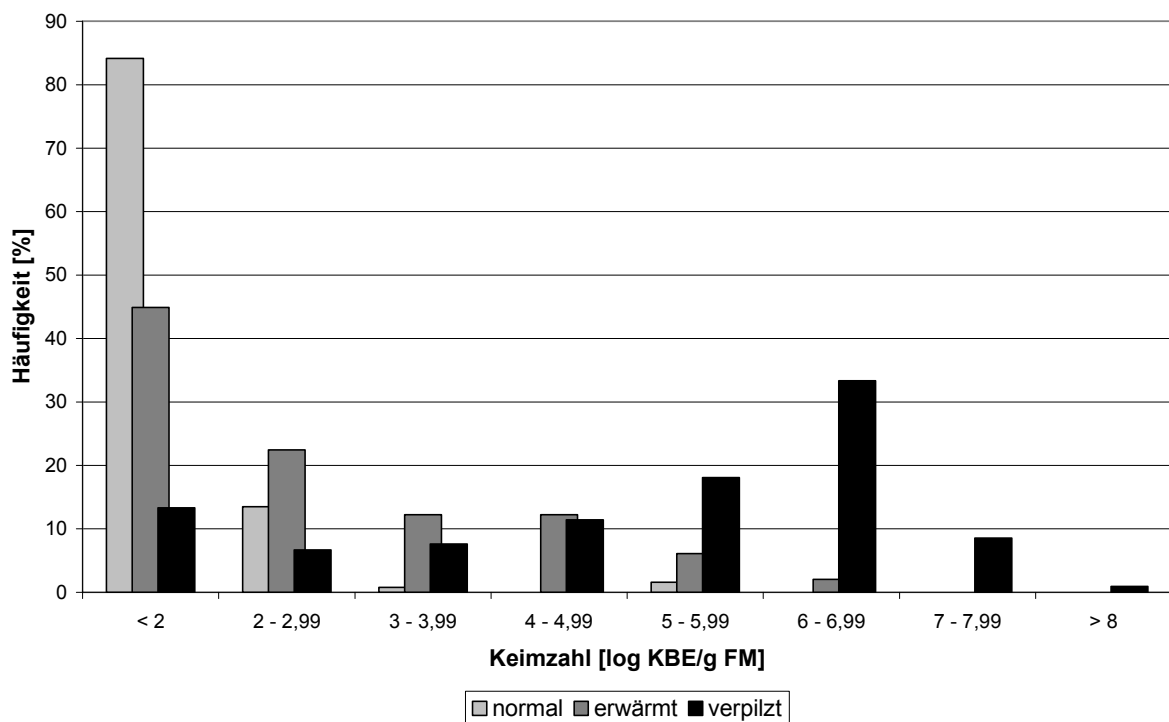


Abb. 10: Verteilung der Schimmelpilzkeimzahlen in Grassilagen unterschiedlicher Qualitäten (n = 280)

Erwärmte Grassilagen (32,7 %) wiesen seltener Keimgehalte $\geq 10^3$ KBE/g als Maissilagen (43,6 %) auf. Die maximale Schimmelpilzkeimzahl erwärmter Silagen ($7,0 \text{ KBE}_{10\text{g/g}}$) wurde bei einer Maissilage festgestellt. In verpilztem Probenmaterial wurden vermehrt Keimgehalte von $\geq 10^7$ KBE/g gefunden. Für Maissilagen war dies zu 55,6 %, für Grassilagen zu 9,6 % der Fall. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass in einer verpilzten Maissilage ein höchster Schimmelpilzgehalt von 5×10^8 KBE/g Futtermittel ermittelt wurde.

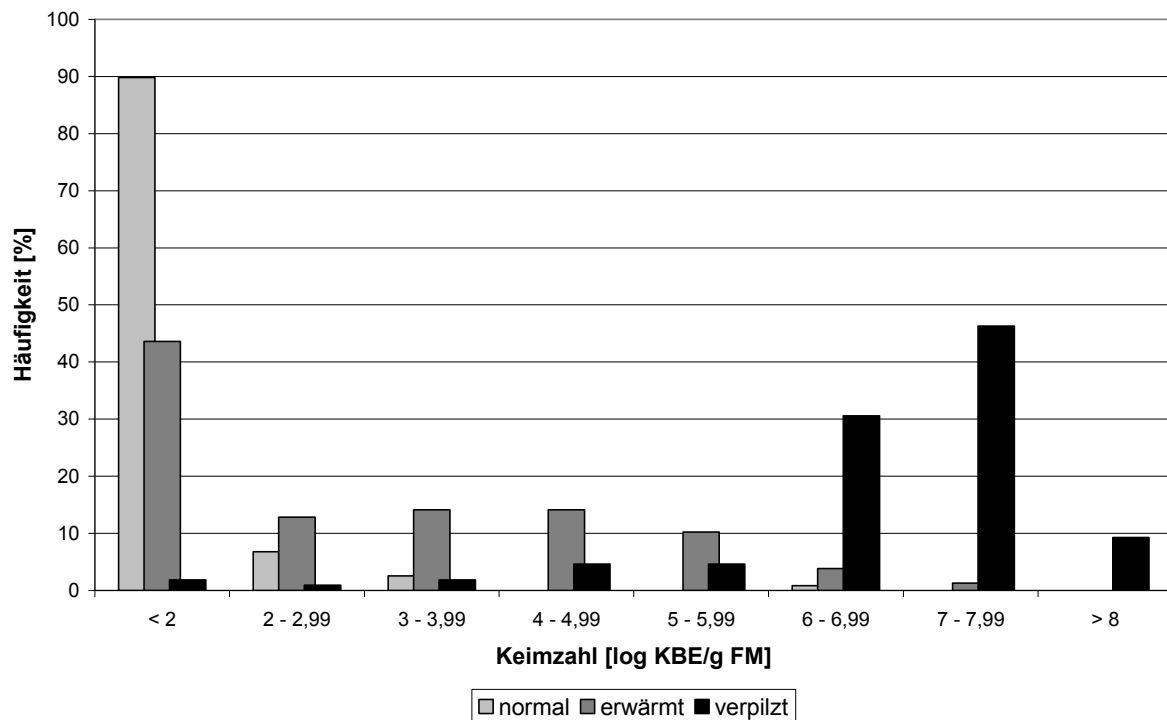


Abb. 11: Verteilung der Schimmelpilzkeimzahlen in Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten ($n = 304$)

Tab. 74: Verteilung der Schimmelpilzgesamtkeimzahlen in Mais- und Grassilagen in Abhängigkeit von der sensorischen Einordnung

Silageart/ Qualität	Probenanzahl		Schimmelpilzkeimzahlen [KBE _{log} /g Futtermittel]							Bereich [KBE _{log} /g]
	gesamt	positiv	2,00 - 2,99	3,00 - 3,99	4,00 - 4,99	5,00 - 5,99	6,00 - 6,99	7,00 - 7,99	≥ 8,00	
	n	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
Grassilagen										
Normal	126	20 (15,9)	17 (13,5)	1 (0,8)	-	2 (1,6)	-	-	-	2,0 - 5,6
Erwärmt	49	27 (55,1)	11 (22,4)	6 (12,2)	6 (12,2)	3 (6,1)	1 (2,0)	-	-	2,0 - 6,2
Verpilzt	105	91 (86,7)	7 (6,7)	8 (7,6)	12 (11,4)	19 (18,1)	35 (33,3)	9 (8,6)	1 (1,0)	2,0 - 6,6
Gesamt	280	138 (49,3)	35 (12,5)	15 (5,4)	18 (6,4)	24 (8,6)	36 (12,9)	9 (3,2)	1 (0,4)	2,0 - 6,6
Maissilagen										
Normal	118	12 (10,2)	8 (6,8)	3 (2,5)	-	-	1 (0,8)	-	-	2,0 - 6,5
Erwärmt	78	44 (56,4)	10 (12,8)	11 (14,1)	11 (14,1)	8 (10,3)	3 (3,8)	1 (1,3)	-	2,0 - 7,0
Verpilzt	108	106 (98,1)	1 (0,9)	2 (1,9)	5 (4,6)	5 (4,6)	33 (30,6)	50 (46,3)	10 (9,3)	3,0 - 8,7
Gesamt	304	162 (53,3)	19 (6,3)	16 (5,3)	16 (5,3)	13 (4,3)	37 (12,2)	51 (16,8)	10 (3,3)	2,0 - 8,7
Gras- und Maissilagen										
Normal	244	32 (13,1)	25 (10,2)	4 (1,6)	-	2 (0,8)	1 (0,4)	-	-	2,0 - 6,5
Erwärmt	127	71 (55,9)	21 (16,5)	17 (13,4)	17 (13,4)	11 (8,7)	4 (3,1)	1 (0,8)	-	2,0 - 7,0
Verpilzt	213	197 (92,5)	8 (3,8)	10 (4,7)	17 (8,0)	24 (11,3)	68 (31,9)	59 (27,7)	11 (5,2)	2,0 - 8,7
Gesamt	584	300 (51,4)	54 (9,2)	31 (5,3)	34 (5,8)	37 (6,3)	73 (12,5)	60 (10,3)	11 (1,9)	2,0 - 8,7

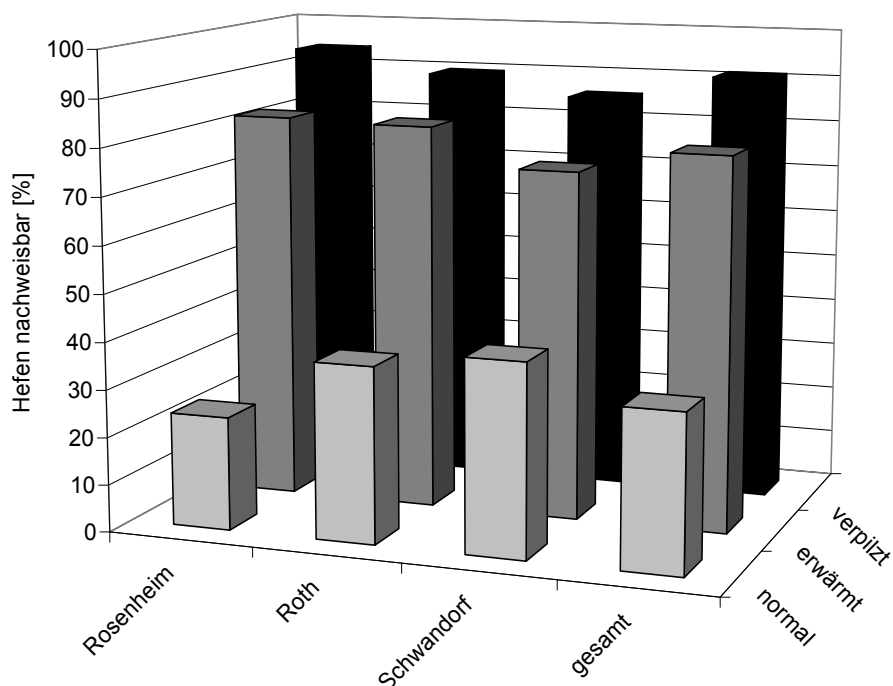


Abb. 12: Häufigkeit von Hefen in Silagen unterschiedlicher Qualitäten und verschiedener Herkünfte ($n = 584$)

Für Sprosspilze ergab sich ein vergleichbares Bild. Hefen wurden jedoch insgesamt häufiger als Schimmelpilze nachgewiesen (64 % bzw. 52 %). Insbesondere in „erwärmten“ Gärfutterproben waren Hefen (78,7 %) häufiger zu finden als Schimmelpilze (55,9 %).

Unauffälliges Probenmaterial aus dem Gebiet Rosenheim (23,9 %) war seltener mit Sprosspilzen belastet als dies für die Gebiete Roth (37,1 %) und Schwandorf (40,5 %) der Fall war (Abb. 12). In unauffälligen Grassilagen waren deutlich seltener Hefen nachzuweisen (19,8 %), als in Maissilagen (47,5 %) der gleichen Qualitätsstufe. Ein Großteil dieser Grassilagen (95,2 %) enthielt weniger als 10.000 KBE/g Futtermittel. Dies war nur für 71,2 % der Maissilagen der Fall (Tab. 75). Der durchschnittliche Keimgehalt betrug bei unauffälligen Grassilagen 4,4 $\text{KBE}_{10^6}/\text{g}$, bei Maissilagen 5,6 $\text{KBE}_{10^6}/\text{g}$.

Aus 91,0 % der verpilzten und 78,7 % der erwärmten Silagen wurden Sprosspilze isoliert. Bei Maissilage bestand kein Unterschied bezüglich des Vorkommens von Hefen zwischen erwärmten (88,5 %) und verpilzten (92,6 %) Proben. Verpilzte Grassilagen (88,6 %) wiesen dagegen signifikant häufiger Hefen auf, als erwärmtes Probenmaterial (63,3 %, $p < 0,01$).

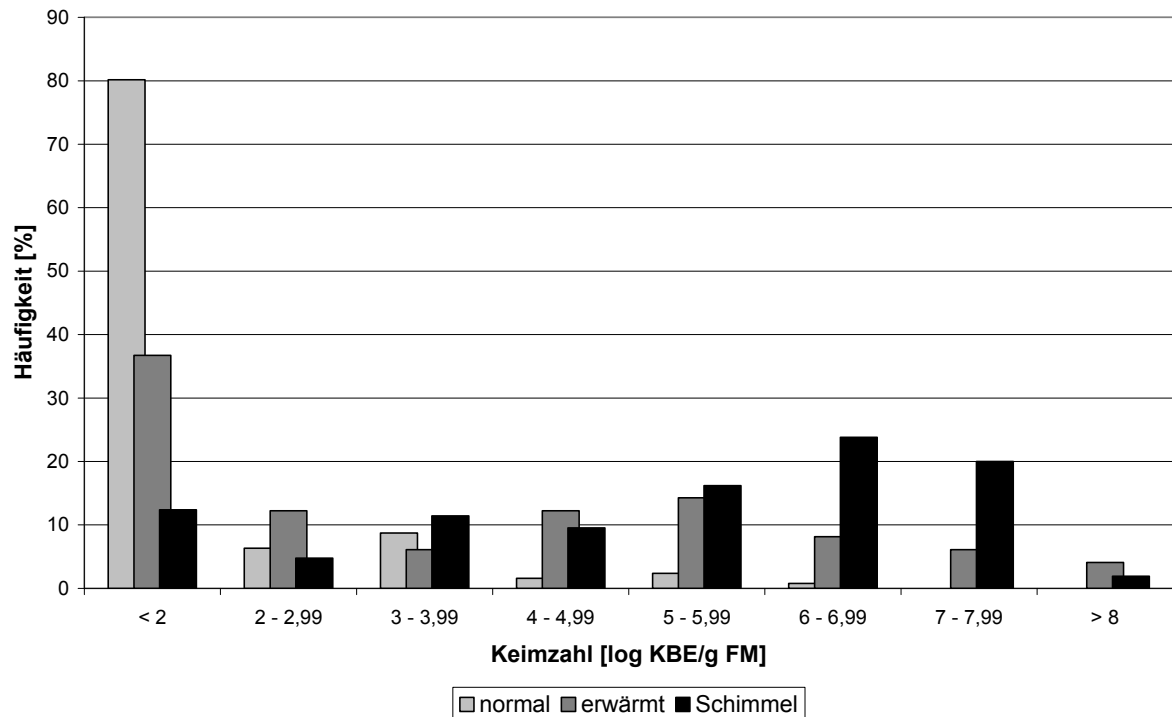


Abb. 13: Verteilung der Hefekeimzahlen in Grassilagen unterschiedlicher Qualitäten (n = 280)

Die durchschnittlichen Keimzahlen erwärmter und verpilzter Grassilagen betragen 6,9 bzw. 7,0 $\text{KBE}_{\log}/\text{g}$ (Median = 3,0 bzw. 5,7 $\text{KBE}_{\log}/\text{g}$), die von Maissilagen 7,2 bzw. 7,5 $\text{KBE}_{\log}/\text{g}$ (Median = 5,4 bzw. 6,5 $\text{KBE}_{\log}/\text{g}$).

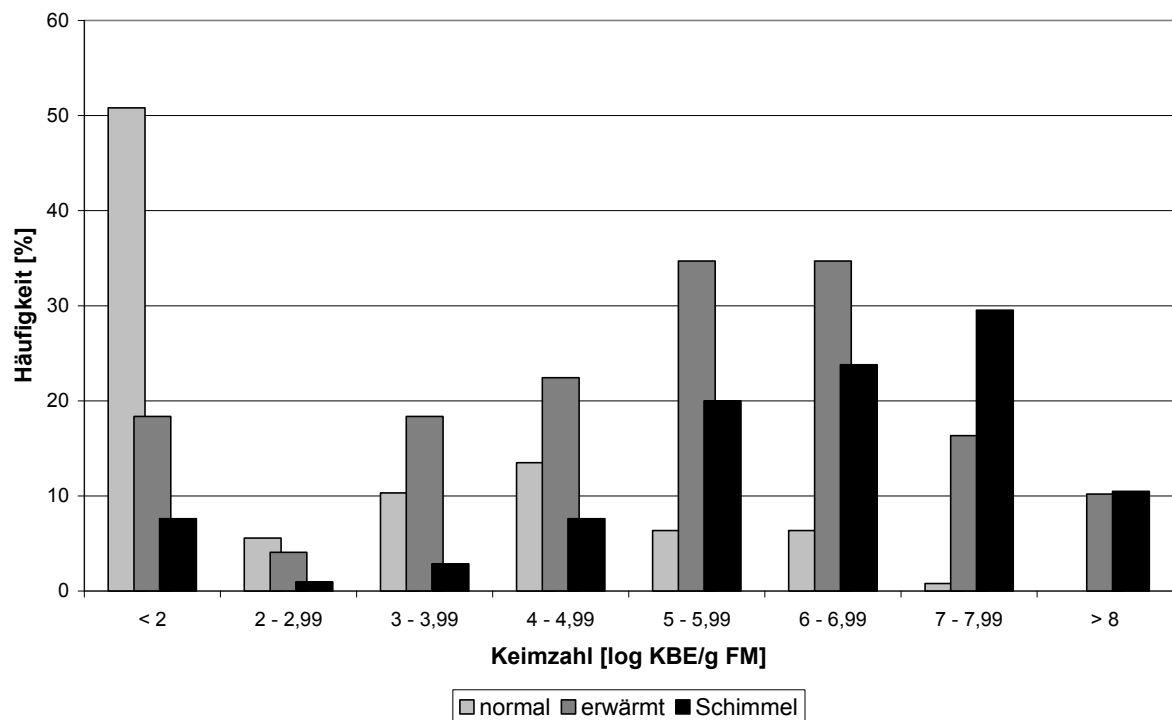


Abb. 14: Verteilung der Hefekeimzahlen in Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten (n = 304)

Tab. 75: Verteilung der Hefegesamtkeimzahlen in Mais- und Grassilagen in Abhängigkeit von der sensorischen Einordnung

Silageart/ Qualität	Probenanzahl		Hefekeimzahlen [KBE _{log} /g Futtermittel]							Bereich [KBE _{log} /g]
	gesamt	positiv	2,00 - 2,99	3,00 - 3,99	4,00 - 4,99	5,00 - 5,99	6,00 - 6,99	7,00 - 7,99	≥ 8,00	
	n	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
Grassilagen										
normal	126	25 (19,8)	8 (6,3)	11 (8,7)	2 (1,6)	3 (2,4)	1 (0,8)	-	-	2,0 - 6,3
erwärmt	49	31 (63,3)	6 (12,2)	3 (6,1)	6 (12,2)	7 (14,3)	4 (8,2)	3 (6,1)	2 (4,1)	2,0 - 8,0
verpilzt	105	93 (88,6)	6 (5,7)	12 (11,4)	10 (9,5)	17 (16,2)	25 (23,8)	21 (20,0)	2 (1,9)	2,2 - 8,0
gesamt	280	149 (53,2)	20 (7,1)	26 (9,3)	18 (6,4)	27 (9,6)	30 (10,7)	24 (8,6)	4 (1,4)	2,0 - 8,0
Maissilagen										
normal	118	56 (47,5)	9 (7,6)	13 (11,0)	17 (14,4)	8 (6,8)	8 (6,8)	1 (0,8)	-	2,0 - 7,4
erwärmt	78	69 (88,5)	2 (2,6)	9 (11,5)	11 (14,1)	17 (21,8)	17 (21,8)	8 (10,3)	5 (6,4)	2,0 - 8,5
verpilzt	108	100 (92,6)	1 (0,9)	3 (2,8)	8 (7,4)	21 (19,4)	25 (23,1)	31 (28,7)	11 (10,2)	3,0 - 8,7
gesamt	304	225 (74,0)	12 (3,9)	25 (8,2)	36 (11,8)	46 (15,1)	50 (16,4)	40 (13,2)	16 (5,3)	2,0 - 8,7
Gras- und Maissilagen										
normal	244	81 (33,2)	17 (7,0)	24 (9,8)	19 (7,8)	11 (4,5)	9 (3,7)	1 (0,4)	-	2,0 - 7,4
erwärmt	127	100 (78,7)	8 (6,3)	12 (9,4)	17 (13,4)	24 (18,9)	21 (16,5)	11 (8,7)	7 (5,5)	2,0 - 8,5
verpilzt	213	193 (90,6)	7 (3,3)	15 (7,0)	18 (8,5)	38 (17,8)	50 (23,5)	52 (24,4)	13 (6,1)	2,2 - 8,7
gesamt	584	374 (64,0)	32 (5,5)	51 (8,7)	54 (9,2)	73 (12,5)	80 (13,7)	64 (11,0)	20 (3,4)	2,0 - 8,7

Betrachtet man die in Gras- und Maissilagen dominanten Schimmelpilzgattungen *Aspergillus*, *Penicillium*, *Monascus* und die Familie der *Mucoraceae*, zeigen sich Gemeinsamkeiten, aber auch einige Unterschiede zwischen den Silagearten (Abb. 15 und Abb. 16).

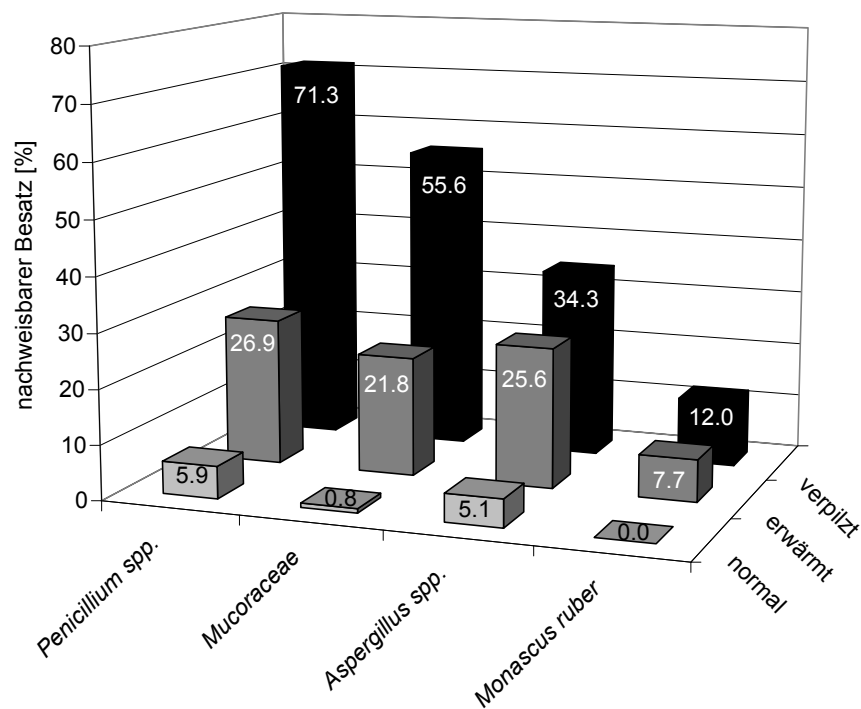


Abb. 15: Häufigkeiten dominierender Schimmelpilzfamilien bzw. -gattungen in Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten

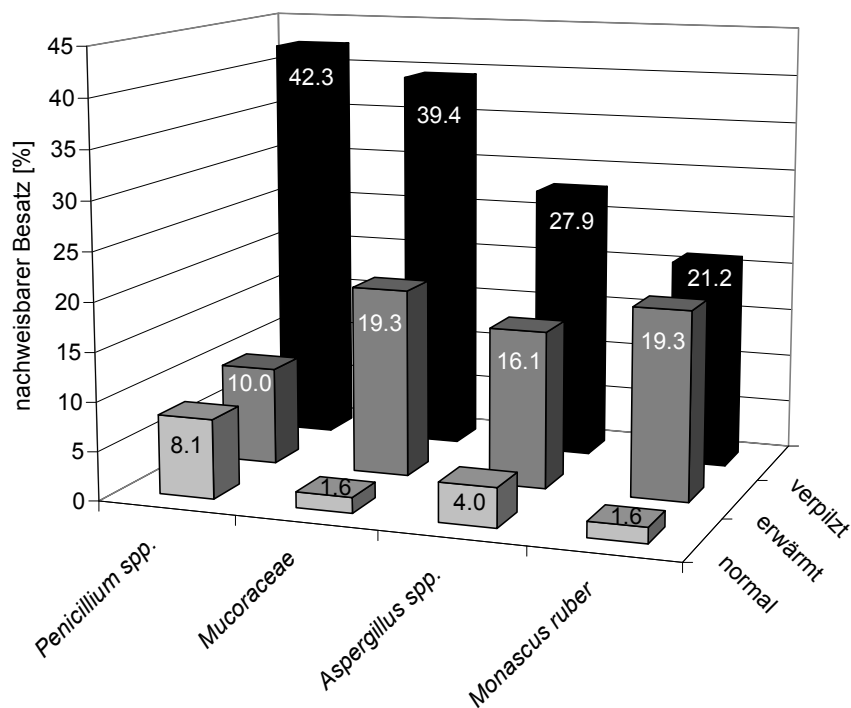


Abb. 16: Häufigkeit dominierender Schimmelpilzfamilien bzw. -gattungen in Grassilagen unterschiedlicher Qualitäten

Insgesamt wurden aus sensorisch „unauffälligem“ Probematerial – wenn Schimmelpilze gefunden wurden - vor allem *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten isoliert; andere Schimmelpilze wie *Monascus ruber* oder Vertreter der Mucoraceen kamen deutlich seltener vor.

In erwärmten Gras- und Maissilagen konnte dieses Keimspektrum häufiger nachgewiesen werden als in als „normal“ eingestuften. Allerdings traten hier neben *Penicillium* und *Aspergillus* spp. auch vermehrt Mucoraceen auf. Bei Grassilagen dieser Qualitätsstufe fällt das häufige Vorkommen von *Monascus ruber* auf.

Erwartungsgemäß am häufigsten waren die genannten Schimmelpilzgattungen und -familien in „verpilzten“ Gras- und Maissilagen anzutreffen, wobei jedoch substratabhängige Unterschiede festzustellen sind. So wurden Vertreter der Gattung *Penicillium* (meist *P. roqueforti*) signifikant häufiger aus Maissilage (71,3 %) als aus Grassilage (42,3 %) isoliert ($p < 0,001$). Vergleichbares gilt für Mucoraceen, die in 39,4 % der Grassilagen und 55,6 % der Maissilagen nachweisbar waren. Umgekehrt verhält es sich mit *Monascus ruber*. Diese Pilzspezies kam häufiger in Gras- (21,2 %) als in Maissilagen (12,0 %) vor, während für *Aspergillus* spp. keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden konnten (27,9 % Maissilage versus 34,2 % Grassilage)

Es fällt auf, dass *Aspergillus*-Arten in „unauffällig“ bzw. „erwärmt“ bonitierten Silagen mit am häufigsten vorkommen. Im als „verpilzt“ eingestuften Material waren dagegen *Penicillium* und *Mucoraceae* die vorherrschenden Schimmelpilze. Allerdings konnte aus nahezu jeder dritten Probe dieser Qualitätsstufe *Aspergillus fumigatus* angezüchtet werden.

Bei der Differenzierung der Pilzisolat ergab sich das in Tab. 76 dargestellte Bild. Insgesamt wurden 19 verschiedene Schimmelpilzgattungen im untersuchten Probenmaterial nachgewiesen (Tab. 76). Die Gattungen *Rhizopus*, *Mucor* und *Absidia* wurden in der Familie der *Mucoraceae* zusammengefasst. Die Arten *Penicillium roqueforti*, *Aspergillus fumigatus* und *Monascus ruber* stellten dabei die dominanten Vertreter der jeweiligen Gattung dar. Weitere Schimmelpilze der Gattungen *Scedsporium*, *Geotrichum*, *Byssochlamys* oder *Peacilomyces*, *Fusarium* und *Trichoderma* wurden deutlich seltener aus dem Probenmaterial isoliert. Darüber hinaus nachgewiesene Schimmelpilzgattungen bzw. -Spezies bildeten die Ausnahme.

Tab. 76: Vorkommen und Häufigkeit aus Gras- und Maissilagen isolierter Schimmelpilz-Familien, -Gattungen und -Arten

Schimmelpilz-Familie, -Gattung, -Art	positive Proben n (%)		
	Grassilage	Maissilage	gesamt
<i>Aspergillus</i> spp.	38 (13,6)	63 (20,7)	101 (17,3)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	31 (11,1)	60 (19,7)	91 (15,6)
<i>Aspergillus niger</i>	2 (0,7)	(0,0)	2 (0,3)
<i>Aspergillus terreus</i>	1 (0,4)	2 (0,7)	3 (0,5)
<i>Aspergillus flavus</i>	(0,0)	1 (0,3)	1 (0,2)
<i>Neosartorya fischeri</i>	1 (0,4)	(0,0)	1 (0,2)
<i>Eurotium</i> spp.	2 (0,7)	(0,0)	2 (0,3)
<i>Penicillium</i> spp.	64 (22,9)	105 (34,5)	169 (28,9)
<i>Penicillium roqueforti</i>	36 (12,9)	69 (22,7)	105 (18,0)
<i>Mucoraceae</i>	54 (19,3)	78 (25,7)	132 (22,6)
<i>Monascus ruber</i>	33 (11,8)	19 (6,3)	52 (8,9)
<i>Scedosporium</i> spp.	18 (6,4)	18 (5,9)	36 (6,2)
<i>Geotrichum candidum</i>	18 (6,4)	15 (4,9)	33 (5,7)
<i>Byssochlamys</i> spp.	20 (7,1)	7 (2,3)	27 (4,6)
<i>Paecilomyces</i> spp.	3 (1,1)	2 (0,7)	5 (0,9)
<i>Fusarium</i> spp.	13 (4,6)	5 (1,6)	18 (3,1)
<i>Trichoderma</i> spp.	6 (2,1)	10 (3,3)	16 (2,7)
<i>Scorulariopsis</i> spp.	7 (2,5)	(0,0)	7 (1,2)
<i>Wallemia</i> sp.	1 (0,4)	6 (2,0)	7 (1,2)
<i>Cladosporium</i> spp.	1 (0,4)	3 (1,0)	4 (0,7)
<i>Alternaria</i> sp.	1 (0,4)	(0,0)	1 (0,2)
<i>Acremonium</i> sp.	1 (0,4)	(0,0)	1 (0,2)

Die Art *A. fumigatus* im Speziellen, wurde in 15,6 % des Probenmaterials nachgewiesen, wobei die höchste Keimzahl von $2,0 \times 10^8$ KBE/g bei einer als verpilzt eingestuften Maissilage ermittelt wurde (Tab. 77). Berücksichtigt man die Qualität der Silagen, so war festzustellen, dass diese Spezies verstärkt in verschimmelten Gras- und Maissilagen bzw. erwärmten Bereichen von Maissilos präsent war, wobei der Unterschied zwischen beiden signifikant ist. In unauffälligem Probenmaterial war *A. fumigatus* nur vereinzelt nachzuweisen (4,1 % positive Befunde).

Tab. 77: Vorkommen von *Aspergillus fumigatus* in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher sensorischer Qualitäten (n=584)

Silagenart	Qualität	Probenzahl n	<i>A. fumigatus</i> n (%)	max. KBE _{log} /g
Grassilage	Normal	126	4 (3,2)	2,30
	Erwärmt	49	4 (8,2)	3,90
	Verpilzt	105	23 (21,9)	5,30
	Gesamt	280	31 (11,1)	5,30
Maissilage	Normal	118	6 (5,1)	3,00
	Erwärmt	78	19 (24,4)	6,54
	Verpilzt	108	35 (32,4)	8,30
	Gesamt	304	60 (19,7)	8,30
Gesamt		584	91 (15,6)	8,30

Vergleicht man die Silagearten hinsichtlich des gleichzeitigen Nachweises verschiedener Schimmelpilzgattungen, zeigen sich vor allem für verpilztes Probenmaterial Unterschiede zwischen Gras- und Maissilagen. Verschimmelte Maissilage enthielt zu fast drei Vierteln (72 %) mehr als eine Schimmelpilzgattung, Grassilagen derselben Klasse zur Hälfte (51 %). In den anderen Qualitätsklassen unterschieden sich Gras- und Maissilagen dagegen kaum (Abb. 17 und Abb. 18).

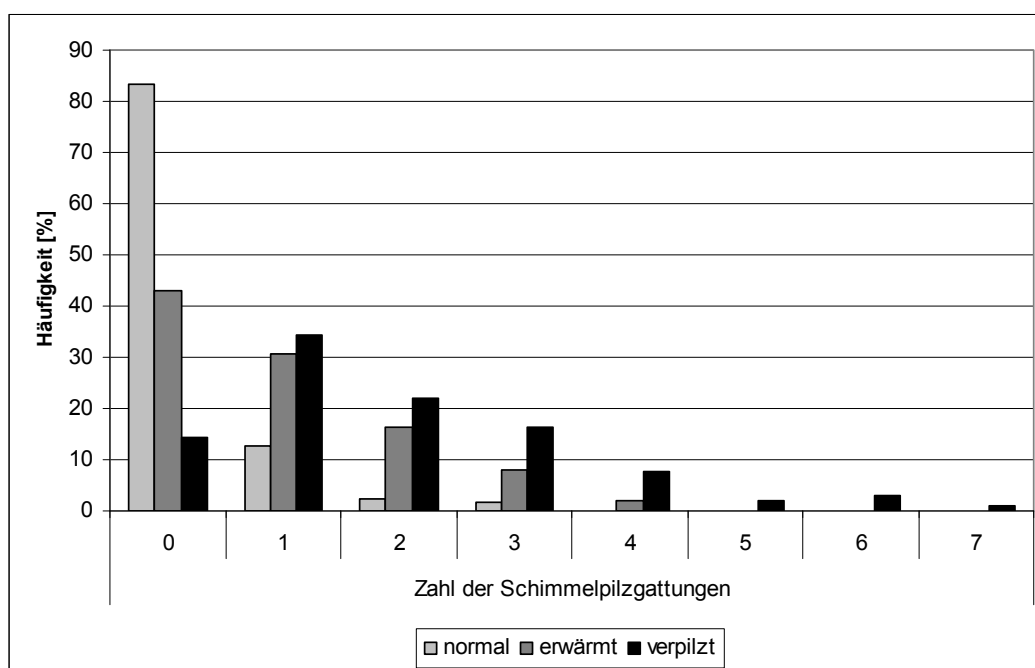


Abb. 17: Relative Häufigkeit des gleichzeitigen Nachweises mehrerer Schimmelpilzgattungen in Grassilagen unterschiedlicher sensorischer Qualitäten

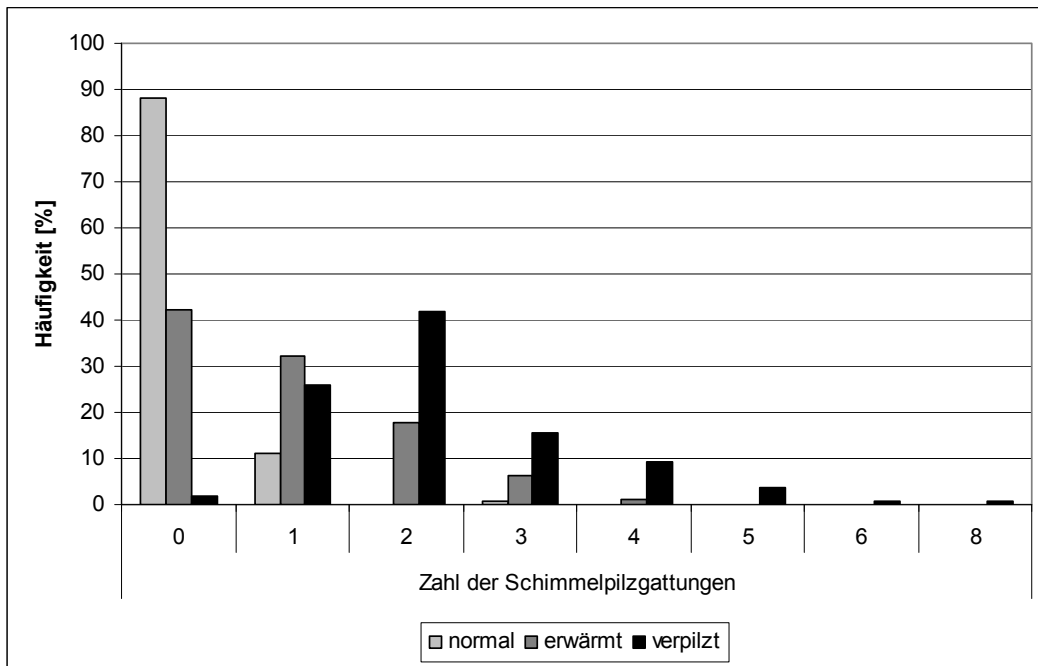


Abb. 18: Relative Häufigkeit des gleichzeitigen Nachweises mehrerer Schimmelpilzgattungen in Maissilagen unterschiedlicher sensorischer Qualitäten

5.7 Mykotoxikologische Untersuchungen

5.7.1 Herstellung von Referenzsubstanzen

Zur Herstellung von Referenzsubstanzen wurde eine *A. fumigatus*-Kultur angelegt und mykotoxikologisch untersucht. Neben den käuflich erwerbbaaren Substanzen Gliotoxin, Verruculogen, Fumagillin und Fumitremorgen C wurden zusätzlich weitere 30 Substanzen aufgrund ihrer spezifischer Massenübergänge identifiziert und isoliert (vgl. Tab. 78). Von sieben Verbindungen wurden ausreichende Mengen gewonnen, die eine quantitative Analyse ermöglichen. Zusätzlich standen Mykophenolsäure, Roquefortin und Monacolin K als weitere Silage relevante Referenzsubstanzen zur Verfügung, so dass die Silageproben auf insgesamt auf 37 Pilzstoffwechselprodukte untersucht werden konnten.

Tab. 78: Referenzsubstanzen

Erworbene, quantitativ nachweisbare <i>A. fumigatus</i> -Stoffwechselprodukte	Selbst isolierte, qualitativ nachweisbare <i>A. fumigatus</i> -Stoffwechselprodukte
Gliotoxin Fumitremorgen C (FTC) Fumagillin Verruculogen	Demethoxy-FTC Dihydroxy-FTC Festuclavin Fumigaclavin/Isofumigaclavin A Fumiquinazolin A
Selbst isolierte, quantitativ nachweisbare <i>A. fumigatus</i> -Stoffwechselprodukte	Fumiquinazolin B Fumiquinazolin C Fumiquinazolin E Fumiquinazolin F Fumiquinazolin G Helvolsäure Pseurotin A Sphingofungin A Sphingofungin D Sterigmatocystin Synerazol
Weitere, erworbene, quantitativ nachweisbare Mykotoxine	Tryprostatin A Tryptoquivalin D Tryptoquivalin E Tryptoquivalin F Tryptoquivalin G Tryptoquivalin I Tryptoquivalin N
Mykophenolsäure Roquefortin Monacolin K	

5.7.2 Biologische Wirksamkeiten von Trypacidin

Trypacidin stellte den am häufigsten detektierten Stoffwechselmetaboliten dar (Tab. 80). In 204 der untersuchten Silagen wurden zumindest geringe Mengen an Trypacidin detektiert. Die höchste Konzentration der Substanz betrug 13,2 mg/kg Futtermittel. Da nur wenig über die biologischen Wirksamkeiten dieser Substanz bekannt ist, wurde versucht, mittels zellbiologischer Methoden orientierende Erkenntnisse zur Zytotoxizität und Clastogenität zu erhalten.

Trypacidin bewirkte ab einer Konzentration von 3,1 µg/ml eine hochsignifikante Hemmung ($p < 0,001$) der MTT-Spaltungsaktivität von V79-Zellen (chinesische Hamsterlungenzellen). Zum Vergleich, Gliotoxin zeigte eine vergleichbare Wirkung bereits bei einer 20fach geringeren Konzentration. Daher ist die zytotoxische Wirksamkeit von Trypacidin als eher schwach einzuschätzen (Abb. 19).

Die Auswertung des Mikronukleus-Tests mit V79-Zellen belegte selbst bei einer Konzentration von nur 0,8 µg/ml eine schwache, jedoch statistisch signifikante ($p < 0,05$), genotoxische Wirksamkeit von Trypacidin (Tab. 79).

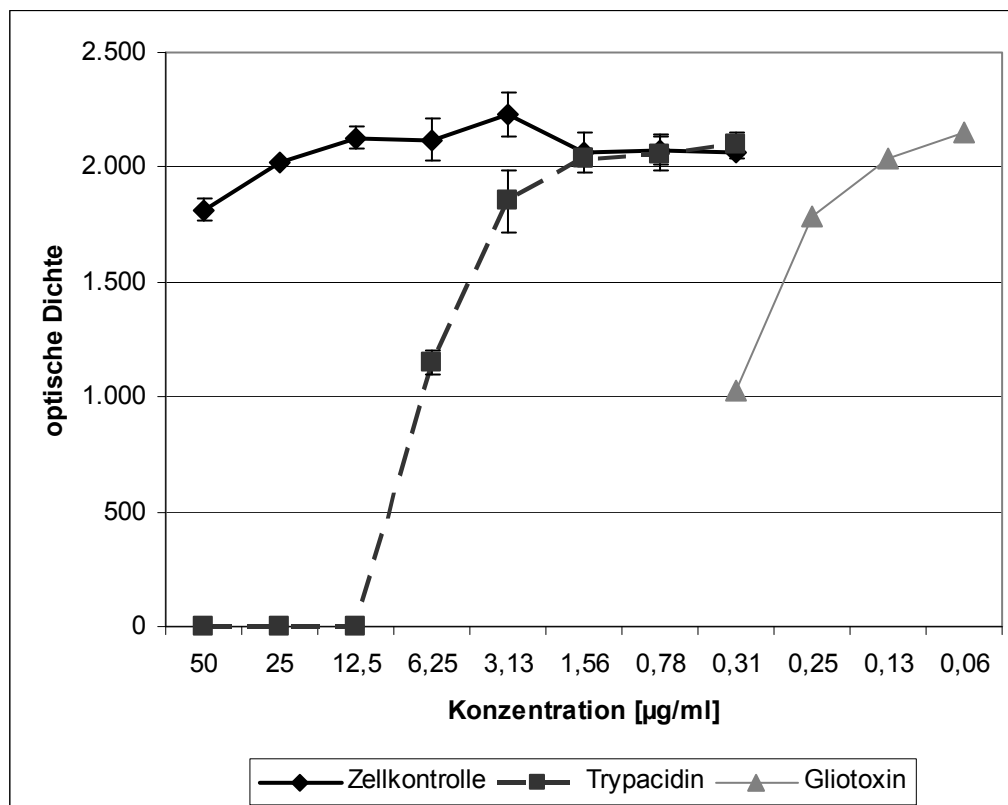


Abb. 19: Einfluss von Trypacidin und Gliotoxin auf die MTT-Spaltungsaktivität von V79-Hamsterlungenzellen

Tab. 79: Induktion der Mikronukleus (MN)-Bildung bei V79 Hamsterlungenzellen durch Aflatoxin B₁ und Trypacidin

	Konzentration µg/ml	Anzahl der Zellen mit 1-5 MN/1000 Zellen					Anzahl der Zellen mit MN/1000 Zellen
		1	2	3	4	5	
Zellkontrolle		17	8				25
Zellkontrolle mit S-9-Mix		14	2	4			20
Aflatoxin B ₁	0,025	76	9	7	2		94
Trypacidin	3,1	52	1				53
	1,6	45	3	2	3	1	54
	0,8	40	1	1			42

5.7.3 Mykotoxikologische Befunde in Silagen

Bei der Analyse von 584 Gärfuttermittelproben auf 37 Pilzstoffwechselprodukte wurde in 410 Proben mindestens eine dieser Verbindungen nachgewiesen. Bei der Auswertung der Ergebnisse fällt auf, dass vor allem erwärmte und verpilzte Silagen davon betroffen waren. Für die einzelnen Toxine stellt sich die Situation wie folgt dar:

Metaboliten von *Aspergillus fumigatus*

Gliotoxin konnte in insgesamt 45 Proben gefunden werden. Davon waren 32 der Kategorie „verpilzt“ zuzuordnen. Gras- und Maissilagen waren ähnlich häufig kontaminiert, allerdings waren die ermittelten Konzentrationen in letzteren tendenziell höher. So betrug der maximale Gehalt an Gliotoxin in Grassilage 0,1 mg/kg, in Maissilage dagegen 0,5 mg/kg (Tab. 80).

Bezüglich **Fumagillin** erwiesen sich 27 Proben als „positiv“. Auffällig ist, dass dieser Metabolit von *A. fumigatus* signifikant häufiger in Mais- (n = 23) als in Grassilagen (n = 4) nachgewiesen wurde (p < 0,001). Die maximalen Konzentrationen in den Wärme- bzw. Schimmelnestern betragen 0,7 mg/kg (Grassilage) bzw. 1,7 mg/kg (Maissilage).

Vertreter der **Fumitremorgen-Verruculogen-Gruppe** wurden in insgesamt 198 Proben nachgewiesen, davon waren 86 den Gras- und 112 den Maissilagen zuzuordnen. **Verruculogen** trat in Proben „normaler“ Grassilage (12,7 %) häufiger auf, als in vergleichbaren Maissilagen (5,9 %, p < 0,05). Dagegen konnte zwischen den anderen Qualitätsklassen kein Unterschied festgestellt werden. Die ermittelten maximalen Gehalte waren in Gras- (532 µg/kg) und Maissilagen (604 µg/kg) ähnlich hoch.

Fumitremorgen B war in insgesamt 58 Gärfuttermittelproben (24 Gras- und 34 Maissilagen) feststellbar. In Grassilagen wurde ein Maximalwert von 514 µg/kg bestimmt, der etwa dem von Verruculogen (532 µg/kg) entspricht. Demgegenüber wurden in erwärmten oder verpilzten Maissilagen jedoch deutlich höhere Gehalte an Fumitremorgen B als für Verruculogen ermittelt.

Tab. 80: Vorkommen und Konzentrationen von *A. fumigatus*-Stoffwechselprodukten in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten

Toxin	Silagequalität					
	normal		erwärmt		verpilzt	
	n (%)	Bereich (\bar{x}) [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	n (%)	Bereich (\bar{x}) [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	n (%)	Bereich (\bar{x}) [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
Grassilage						
Gliotoxin	5 (4,0)	5,2 - 25,7 (17,0)	1 (2,0)	35,0	17 (16,2)	2,0 - 103 (23,3)
Fumagillin	1 (0,8)	9,3	1 (2,0)	722	2 (1,9)	19,0 - 23,7 (21,4)
Fumitremorgen B	8 (6,3)	5,0 - 130 (36,9)	7 (14,3)	9,4 - 280 (54,3)	9 (8,6)	12,1 - 514 (81,1)
Fumitremorgen C	3 (2,4)	2,0 - 20,3 (9,6)	1 (2,0)	390	5 (4,8)	4,4 - 15,6 (9,3)
TR 2-Toxin	2 (1,6)	7,2 - 19,4 (13,3)	2 (4,1)	47,0 - 74,4 (60,7)	4 (3,8)	13,9 - 98,4 (51,3)
Verruculogen	16 (12,7)	0,3 - 119 (23,9)	10 (20,4)	3,2 - 358 (53,9)	19 (18,1)	0,6 - 532 (45,4)
Trypacidin	37 (29,4)	5,8 - 316 (42,9)	20 (40,8)	9,0 - 13.200 (792,4)	34 (32,4)	8,2 - 469 (47,8)
Fumigaclavin C	7 (5,6)	7,1 - 1.500 (273,3)	8 (16,3)	7,0 - 304 (54,1)	23 (21,9)	3,7 - 62,0 (23,3)
Pyripyropen A	1 (0,8)	69,0	2 (4,1)	17,2 - 242 (129,6)	1 (1,0)	20,0
Maissilage						
Gliotoxin	3 (2,5)	2,9 - 10,0 (6,9)	4 (5,1)	3,9 - 40,6 (15,0)	15 (13,9)	2,2 - 513 (89,7)
Fumagillin	1 (0,8)	10,7	5 (6,4)	1,2 - 295 (64,0)	17 (15,7)	3,0 - 1.740 (263)
Fumitremorgen B	9 (7,6)	11,9 - 38,2 (19,3)	10 (12,8)	5,1 - 1.540 (171)	15 (13,9)	2,3 - 2.080 (204)
Fumitremorgen C	2 (1,7)	1,0 - 1,7 (1,3)	6 (7,7)	1,5 - 2.020 (345)	15 (13,9)	2,0 - 524 (106)
TR 2-Toxin	1 (0,8)	19,0	8 (10,3)	25,5 - 390,4 (106)	15 (13,9)	7,3 - 685 (139)
Verruculogen	7 (5,9)	0,5 - 20,1 (7,5)	9 (11,5)	0,9 - 604 (77,9)	15 (13,9)	0,9 - 247 (47,4)
Trypacidin	42 (35,6)	1,6 - 60,3 (23,1)	22 (28,2)	0,9 - 277 (31,5)	49 (45,4)	3,6 - 3.520 (161)
Fumigaclavin C	4 (3,4)	22,3 - 37,3 (29,5)	17 (21,8)	5,6 - 198 (35,3)	50 (46,3)	2,8 - 18.793 (916)
Pyripyropen A	1 (0,8)	3,6	4 (5,1)	3,6 - 86,2 (29,2)	15 (13,9)	3,6 - 3.558 (518)

TR-2 Toxin war insgesamt seltener nachzuweisen als Verruculogen und Fumitremorgen B ($p < 0,001$ bzw. $0,01$). Die höchste Belastung wurde in einer verschimmelten Maissilage festgestellt ($0,7$ mg/kg). Verpilzte Maissilagen enthielten häufiger TR-2 Toxin als Grassilagen derselben Klasse ($p < 0,05$).

Dieselbe Beobachtung konnte für das Vorkommen von **Fumitremorgen C** gemacht werden, welches ebenfalls in Maissilagen vermehrt nachzuweisen war ($p < 0,05$). Darüber hinaus wurden in dieser Silageart deutlich höhere maximale Konzentrationen ermittelt (erwärmt = 2.020 , verpilzt = 524 µg/kg).

Fumitremorgen A konnte als einziges untersuchtes Fumitremorgen nicht im untersuchten Probenmaterial nachgewiesen werden.

Trypacidin wurde in 204 der untersuchten Silageproben gefunden (35 %). Somit war diese Verbindung hochsignifikant häufiger vertreten als alle anderen untersuchten Substanzen. Dabei begrenzte sich das Vorkommen von Trypacidin nicht nur auf sensorisch veränderte Silageproben, sondern auch 32 % der als „unauffällig“ bonitierten Silagen enthielten diese Verbindung. Die maximalen ermittelten Konzentrationen betragen in Grassilagen 13.200 µg/kg und in Maissilagen 3.520 µg/kg.

Der Nachweis von **Fumigaclavin C** gelang in 109 Silagen. Im Gegensatz zu Trypacidin wurde die Verbindung vermehrt in erwärmten und vor allem verpilzten Silageproben gefunden. Insbesondere verschimmelte Maissilagen enthielten häufig Fumigaclavin C (46 %), wobei Gehalte bis zu $18,8$ mg/kg gemessen wurden.

Pyripyropen A wurde in Grassilagen vereinzelt ($n = 4$), in Maissilagen etwas häufiger detektiert ($n = 20$); dieser Unterschied war signifikant ($p < 0,01$). Die Verbindung war vor allem in verpilzten Maissilagen nachzuweisen ($n = 15$). Auch die maximale Konzentration von 3.558 µg/kg wurde in einer verschimmelten Maissilage ermittelt.

Neben diesen quantitativ bestimmten Stoffwechselprodukten von *A. fumigatus* konnten weitere Verbindungen qualitativ nachgewiesen werden (Tab. 81).

Von der **Fumiquinazolin-Gruppe** waren die Fumiquinazoline C, D, B und A am häufigsten in Silagen zu finden ($n = 65, 78, 26$ und 23), seltener dagegen die Fumiquinazoline E, F und G ($n = 12, 14$ bzw. 16). Fumiquinazolin C und D wurden in Grassilagen stets gemeinsam nachgewiesen. Dies war in Maissilagen nicht der Fall. Hier konnte Fumiquinazolin D wesentlich häufiger nachgewiesen werden als Fumiquinazolin C.

Vertreter der **Tryptoquivalin-Gruppe**, welche als potentiell tremorgene Substanzen eingeschätzt werden und als typische *A. fumigatus*-Toxine gelten, wurden deutlich seltener nachgewiesen als Vertreter der Fumiquinazolin-Gruppe. Tryptoquivalin F trat zahlreicher als andere Tryptoquivaline auf ($n = 35$) und konnte als einzige Verbindung dieser Gruppe in Gras- ($n = 11$) und Maissilagen ($n = 24$) gefunden werden. Der Unterschied zwischen den Silagearten ist signifikant ($p < 0,05$). Dagegen gelang für die Tryptoquivaline D, E und I der qualitative Nachweis ausschließlich in Maissilagen, der von Tryptoquivalin G in erwärmten und verpilzten Grassilagen. Tryptoquivalin N war in *A. fumigatus*-Kulturen, aber weder in Gras- noch in Maissilagen nachzuweisen.

Festuclavin und **Fumigaclavin A** konnten in 115 bzw. 96 Proben nachgewiesen werden. Betroffen waren vor allem als „verpilzt“ eingestufte Gras- und Maissilagen.

Helvolsäure war relativ häufig in erwärmten oder verpilzten Gras- ($n = 6$ bzw. 11) und Maissilagen ($n = 11$ bzw. 24) zu finden, war aber auch in sensorisch unauffälligem Probenmaterial enthalten.

Tab. 81: Qualitativer Nachweis von Vertretern der Fumiquinazolin- und Tryptoquivalin-Gruppe, sowie weiteren A. fumigatus-Stoffwechselprodukten in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten

	Toxin	Grassilage (n = 280)			Maissilage (n = 304)		
		normal	erwärmt	verpilzt	normal	erwärmt	verpilzt
		N (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Fumiquinazoline	A	-	1 (2,0)	2 (1,9)	-	4 (5,1)	16 (14,8)
	B	-	1 (2,0)	4 (3,8)	-	4 (5,1)	17 (15,7)
	C	7 (5,6)	3 (6,1)	9 (8,6)	7 (5,9)	9 (11,5)	30 (27,8)
	D	7 (5,6)	3 (6,1)	9 (8,6)	8 (6,8)	13 (16,7)	38 (35,2)
	E	1 (0,8)	1 (2,0)	-	-	-	10 (9,3)
	F	-	1 (2,0)	-	1 (0,8)	1 (1,3)	11 (10,2)
	G	-	-	-	-	1 (1,3)	15 (13,9)
Tryptoquivaline	D	-	-	-	-	-	2 (1,9)
	E	-	-	-	-	-	3 (2,8)
	F	4 (3,2)	1 (2,0)	6 (5,7)	1 (0,8)	5 (6,4)	18 (16,7)
	G	-	1 (2,0)	2 (1,9)	-	-	-
	I	-	-	-	1 (0,8)	-	15 (13,9)
	N	-	-	-	-	-	-
weitere Stoffwechselprodukte	Festuclavin	4 (3,2)	2 (4,1)	23 (21,9)	-	11 (14,1)	75 (69,4)
	(Iso-) Fumigaclavin A	1 (0,8)	3 (6,1)	23 (21,9)	3 (2,5)	16 (20,5)	50 (46,3)
	Helvolsäure	3 (2,4)	6 (12,2)	11 (10,5)	10 (8,5)	11 (14,1)	24 (22,2)
	Pseurotin A	8 (6,3)	5 (10,2)	11 (10,5)	10 (8,5)	12 (15,4)	50 (46,3)
	Sphingofungin A	-	-	1 (1,0)	1 (0,8)	-	4 (3,7)
	Sphingofungin D	-	-	-	-	-	1 (0,9)
	Synerazol	-	1 (2,0)	-	-	-	5 (4,6)

In allen untersuchten Silagearten und -qualitäten konnte **Pseurotin A** nachgewiesen werden, jedoch signifikant häufiger in verpilzten Maissilagen als in anderen Probenmaterialien ($p < 0,001$). Der Nachweis der **Sphingofungine A** und **D** ($n = 6$ bzw. 1) und **Synerazol** ($n = 6$) gelang dagegen nur in wenigen Proben, vorwiegend verpilzten Maissilagen.

Vorkommen anderer Pilzmetaboliten

Das Vorkommen von **Mykophenolsäure**, **Roquefortin C** und **Monacolin K** war weitestgehend auf als „verpilzt“ eingestufte Silagen begrenzt (Tab. 82). Die Verbindungen Mykophenolsäure und Roquefortin C konnten vermehrt in verschimmelten Maissilagen nachgewiesen werden, die höchsten Konzentrationen (21,4 bzw. 12,9 mg/kg) wurden allerdings in Grassilagen gemessen. Gegenteilig verhielt es sich für Monacolin K, welches häufiger in Grassilagen nachgewiesen werden konnte, die höchste Konzentration der Substanz aber in Maissilage gemessen wurde (54,6 mg/kg).

Tab. 82: Vorkommen und Gehalte an Mykophenolsäure, Roquefortin und Monacolin K in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten

Toxin	Silagequalität					
	Normal		erwärmt		verpilzt	
	n (%)	Bereich (\bar{x}) [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	n (%)	Bereich (\bar{x}) [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	n (%)	Bereich (\bar{x}) [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
	Grassilage					
Mykophenolsäure	4 (3,2)	17,2 - 1.020 (295)	2 (4,1)	30,2 - 36,5 (33,4)	53 (50,5)	7,4 - 21.400 (1.779)
Roquefortin	4 (3,2)	10,3 - 482 (310)	2 (4,1)	16,3 - 209 (113)	44 (41,9)	4,2 - 12.900 (1.503)
Monacolin K	3 (2,4)	114,0 - 1.010 (432)	6 (12,2)	59,8 - 2.190 (604)	31 (29,5)	74,0 - 33.700 (4.988)
	Maissilage					
Mykophenolsäure	4 (3,4)	2,3 - 263 (67,7)	5 (6,4)	4,8 - 4.330 (1.154)	68 (63,0)	9,3 - 10.200 (1.175)
Roquefortin	6 (5,1)	2,7 - 2.350 (554)	7 (9,0)	1,3 - 3.280 (598)	77 (71,3)	4,7 - 10.600 (1.455)
Monacolin K	8 (6,8)	13,9 - 449 (131)	2 (2,6)	13,5 - 58,1 (35,8)	16 (14,8)	27,9 - 54.600 (7.323)

5.8 Einordnung und Bewertung der Ergebnisse

5.8.1 Mykologische Befunde

Die mykologische Untersuchung ergab, dass Hefen und Schimmelpilze häufig in Silagen anzutreffen sind. Vor allem erwärmte und verpilzte Bereiche sind davon betroffen. Bei den Schimmelpilzen dominieren *P. roqueforti*, *M. ruber* und *A. fumigatus*. Das häufige Vorkommen dieser Pilzarten dürfte vor allem mit ihrer hohen Tenazität gegenüber niedrigen pH-Werten und Sauerstoffpartialdrücken sowie hohen Kohlendioxydgehalten zu erklären sein. Aus veterinär- und humanmedizinischer Sicht ist ihr Vorkommen in Silagen differenziert zu betrachten. Dabei spielt einerseits die Einschätzung ihres infektiösen und Allergie induzierenden Potentials eine Rolle, andererseits die toxikologische Bewertung der von ihnen produzierten Verbindungen. Letzteres geschieht im nachfolgenden Kapitel „5.8.2 Mykotoxikologische Befunde“.

Trotz intensiver Recherchen konnten Berichte über *P. roqueforti* als Erreger von Mykosen nicht ausfindig gemacht werden. Stämme dieser Pilzspezies werden zur Herstellung von Blauschimmelkäsen verwendet. Vergleichbares gilt für *Monascus ruber*. Publikationen über Infektionen bei Mensch und Tier konnten nicht gefunden werden. Vielmehr werden auch Stämme dieser Art zur Herstellung fermentierter Lebensmittel (z.B. „roter Reis“) vor allem im asiatischen Raum eingesetzt. Aufgrund dieser Situation ist davon auszugehen, dass Infektionen durch diese beiden Pilzspezies – wenn überhaupt – ein äußerst seltenes Ereignis sein dürften.

Anders stellt sich die Situation bei *A. fumigatus* dar. Diese Pilzart ist bekannt dafür, dass sie bei Mensch und Tier (Vögel; Rind, Pferd, Hund, Delphine) schwere Systemmykosen auslösen kann. Auch wenn dies bei Säugern im Gegensatz zu Vögeln (hier ist die Aspergillose mit eine der häufigsten Todesursachen) eher selten der Fall ist, muss festgehalten werden, dass mit *A. fumigatus* kontaminierte Silagen ein infektiöses Risiko für die Tierbestände und Landwirte darstellen. So sind durch *A. fumigatus* ausgelöste Mastitiden bei Kuh, oder Darmulzera beim Kalb durchaus bekannt [21], [22]. Beim Menschen spielt zudem der Immunstatus eine wesentliche Rolle; immunsupprimierte Personen (z.B. nach Organtransplantationen) sind besonders gefährdet.

Darüber hinaus können Pilze allergen wirken und auf diese Weise Symptome von Asthma oder Heuschnupfen auslösen. *A. fumigatus* scheint dafür besonders prädestiniert zu sein [20].

Der häufige Nachweis von *A. fumigatus* in verschimmelten Gras- (21,9 %) und vor allem Maissilagen (32,4 %) sowie sehr hohe Keimzahlen von bis zu 500.000.000 KBE/g Futtermittel belegen dessen Bedeutung hinsichtlich gesundheitlicher Risiken in der Landwirtschaft.

Der Kontakt mit hohen *A. fumigatus*-Keimzahlen muss vermieden und schimmelige Stellen in Silagen rasch und sicher entsorgt werden. Aus Sicht des Arbeitsschutzes sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen, wie beispielsweise das Tragen eines Mundschutzes, bei der Beseitigung von Schimmelnestern anzuraten.

Der Schutz der Tiere vor hohen Schimmelpilzkeimzahlen ist ebenfalls von Bedeutung. Mastitiden können, neben anderen Mikroorganismen, auch durch Schimmelpilze verursacht werden. Durch Pilze hervorgerufene Euterentzündungen sind zwar selten, sind aber kaum erfolgreich zu behandeln. *A. fumigatus*-Infektionen, deren Ursache meist verpilztes

Futter oder verpilzte Einstreu ist [21], führen zu schweren Leistungseinbußen bis zum Totalverlust [22], [23].

Das Hauptaugenmerk bei der Silagebereitung gilt daher der Prävention. Durch hohe Standards bei der Silierpraxis, kann ein Verderb von Silage durch Schimmelpilze wie *A. fumigatus* vermindert werden. Gefährdete Silagen sollten mit geeigneten Silierhilfen behandelt werden.

5.8.2 Mykotoxikologische Befunde

Die Beurteilung der Bedeutung der mykotoxikologischen Ergebnisse gestaltet sich nicht einfach. Dies ist in erster Linie darin begründet, dass für die meisten der untersuchten Stoffe nur sehr begrenzt toxikologische Daten, speziell für Wiederkäuer, zur Verfügung stehen. Dennoch soll zumindest bei den Substanzen, die quantitativ erfasst wurden, eine toxikologische Einschätzung versucht werden.

Bei der Beurteilung der Daten fällt zunächst auf, dass in den als „normal“ eingestuften Proben nur selten pilzliche Stoffwechselprodukte nachzuweisen waren. Dies weist auf die große Bedeutung der sensorischen Beurteilung von Silagen durch den Landwirt hin. Erwärmte und insbesondere verpilzte Proben wiesen erwartungsgemäß häufiger und in höheren Konzentrationen Schimmelpilzmetaboliten auf. Vergleicht man die Befunde in Gras- und Maissilagen, so wird deutlich, dass die Stoffwechselprodukte fast durchwegs in Maissilage stärker nachweisbar waren, als dies für Grassilage der Fall war. Dieser Unterschied war für mehrere Substanzen signifikant. Dieser Sachverhalt könnte einerseits analytisch bedingt sein, da Grassilage die stärkeren Matrixeffekte verursacht und daher erhöhte Nachweisgrenzen bedingt. Eventuell wurden enthaltene Stoffwechselprodukte daher nicht erkannt. Ein anderer Erklärungsansatz wäre, dass Maissilage ein besseres Medium für das Wachstum der Schimmelpilze und die Produktion von sekundären Stoffwechselmetaboliten darstellt als Grassilage. Die reichlich vorhandene und leicht verfügbare Energie in Form von Milchsäure, Alkohol, Restzucker, Stärke etc. in Maissilagen, welche das Wachstum von bestimmten Schimmelpilzarten fördert, könnte ein Hauptgrund dafür sein.

In den untersuchten Silagen konnten zum einen *A. fumigatus*-Stoffwechselmetaboliten nachgewiesen werden, zum anderen aber auch Verbindungen deren Vorkommen auf andere Schimmelpilze zurückzuführen ist. Im Einzelnen handelt es sich dabei um Roquefortin und Mykophenolsäure, welche von *Penicillium* spp. gebildet werden, sowie um Monacolin K, welches von *Monascus ruber*, produziert wird. Diese Substanzen wurden in der Vergangenheit bereits in Silagen nachgewiesen und deren Wirkung auf Wiederkäuer ist teilweise untersucht.

Roquefortin wurde vorwiegend in verpilztem Probenmaterial nachgewiesen. Grassilagen (41,9 %) waren seltener betroffen als Maissilagen (71,3 %). Die ermittelten Konzentrationen erreichten dabei Werte bis zu 12,9 mg/kg. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Arbeit mit den Untersuchungen anderer Autoren [28], [29], [30], so zeigt sich, dass die festgestellten Maximalkonzentrationen in ähnlichen Bereichen liegen. Vermutlich führte die Senkung der Nachweisgrenze durch den Einsatz modernerer Technik dazu, dass Roquefortin in der aktuellen Untersuchung häufiger nachgewiesen werden konnte, als es in vorhergehenden Studien der Fall war. In Fütterungsversuchen mit Schafen konnte bereits gezeigt werden, dass die tägliche Aufnahme großer Mengen (50 mg/Tier) an Roquefortin zu keinen klinisch fassbaren Veränderungen führt [25]. Allerdings wurde eine Absenkung des pH-Werts der Pansenflüssigkeit beobachtet, die zu Pansenacidose führen kann.

In 50,5 % der verpilzten Gras- und 63,0 % der Maissilagen konnte **Mykophenolsäure** nachgewiesen werden. Die höchste Konzentration von 21,4 mg/kg wurde in einer Grassilage gemessen. Der Wert ist vergleichbar mit den Ergebnissen früherer Arbeiten [8], [30]. Mykophenolsäure weist eine relativ geringe Toxizität auf und zeigt keine hepatotoxische, nephrotoxische oder neurotoxische Wirkungen [31]. Nach oraler Verabreichung von 300 mg Mykophenolsäure/Tag über 44 Tage hinweg, konnte bei Schafen keine Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens festgestellt werden [32], was nicht zu dem Schluss führen darf, dass diese Verbindung keine Auswirkungen auf den tierischen Organismus hätte. Mykophenolsäure ist ein hochwirksames Immunsuppressivum, das zur Verhinderung der Abstoßung von Organtransplantaten eingesetzt wird [26]. Bei den behandelten Schafen konnten u.a. in der Leber eine verringerte Expression von Fc-Rezeptor-mRNS beobachtet werden; darüber hinaus führt die höchste verabreichte Dosis (5 mg/kg LM) zu einer Schrumpfung der Thymus-Läppchen und zu einer verringerten Häufigkeit des Vorkommens IgG- und IgM-haltiger Plasmazellen im Ileumt [33], [34]. Diese Veränderungen weisen darauf hin, dass Mykophenolsäure auch beim Schaf eine immunsuppressive Wirkung aufweist. Für die Praxis bedeutet dies, dass eine Verfütterung von Mykophenolsäurehaltiger Silage auch im landwirtschaftliche Nutztier eine Beeinträchtigung des Abwehrsystems auslösen kann und so die Manifestation von Infektionskrankheiten (z.B. Mastitis) begünstigt.

Monacolin K wurde in 29,5 % der verpilzten Gras- und 14,8 % der Maissilagen nachgewiesen. Die maximale Konzentration von 54,6 mg/kg wurde in einer verschimmelten Maissilage gemessen. Ähnliche Beobachtungen konnten auch von Schneewis et al. (2000) [4] [8] gemacht werden. Sie wiesen Monacolin K in 20 % vorselektierter Gras- und Maissilagen nach und stellten einen Höchstgehalt von 65,4 mg/kg fest. Die Bedeutung von Monacolin K in Silagen ist noch nicht klar einzuordnen. Im Organismus kann aus Monacolin K_L, der Lactonform der Verbindung, sehr schnell Monacolin K_A, die Säureform, gebildet werden. Diese Verbindung hemmt die 3-Hydroxymethylglutaryl-Coenzym-A-Reduktase, ein Schlüsselenzym der Mevalonatsynthese [35]. Aufgrund dieser Wirkung wird Monacolin K_A therapeutisch als Cholesterinsynthesehemmer angewendet. Diese den Cholesterinspiegel senkende Wirkung könnte durchaus die Fruchtbarkeit von Wiederkäuern negativ beeinflussen. Cholesterin stellt die Ausgangssubstanz der Steroidhormonsynthese dar. Da Wiederkäuer Cholesterin nicht mit der Nahrung aufnehmen, lässt die Hemmung der Cholesterinsynthese ein deutliches Absinken des Cholesterinspiegels erwarten. Dies wiederum führt zu einer reduzierten Bildung von Steroidhormonen, woraus reproduktionsbiologische Probleme resultieren können. Epidemiologische Untersuchungen in den USA zeigten, dass eine niedrige Cholesterinkonzentration im Blut mit einer schlechten Herdenfruchtbarkeit korreliert [51]. Darüber hinaus führt die Hemmung der 3-Hydroxymethylglutaryl-Coenzym-A-Reduktase auch zur Beeinträchtigung des Wachstums vieler Pilze - auch anaerober Pansenpilze wie z.B. *Neocallimastix* sp.. Diese Pilzarten sind beim Abbau der Rohfaser im Pansen nicht unwesentlich beteiligt sind [36]. Eine Beeinträchtigung ihrer Zahl und ihrer Stoffwechsellistung lässt eine schlechtere Rohfaserverwertung erwarten [26]. Eine Prüfung dieser praxisrelevanten These steht jedoch noch aus.

Im Gegensatz zu diesen Verbindungen, weiß man relativ wenig über die Wirkungen von *A. fumigatus*-Metaboliten auf den Wiederkäuer. Deshalb werden im Folgenden deren primäre Wirkungen diskutiert.

Zu den **neurotoxischen** Verbindungen gehören die Vertreter der **Fumitremorgen-Verruculogen-Gruppe**. Im untersuchten Probenmaterial konnten neben Verruculogen

und TR-2 Toxin auch die Fumitremorgene B und C nachgewiesen werden. Die maximalen Konzentrationen der Substanzen betragen 604, 685, 2.080 bzw. 2.020 µg/kg. Verruculogen wurde in Grassilagen häufiger nachgewiesen als die anderen Vertreter dieser Gruppe.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass Verbindungen der Fumitremorgen-Verruculogen-Gruppe mit dem Auftreten neuronaler Störungen in Rinderherden in Verbindung gebracht wurden [37], [38]. Die LD₅₀ bei oraler Applikation liegt 50-fach höher als bei intraperitonealer Verabreichung [39], die ED₅₀ (i. p.) von Verruculogen wurde bei Mäusen mit 0,39 mg/kg angegeben [40]. Eine Aufnahme von 25 kg der am höchsten kontaminierten Maissilage durch eine Kuh von 600 kg Lebendgewicht entspräche einer oral verabreichten Konzentration von 0,025 mg/kg. Neurologische Beeinträchtigungen von Wiederkäuern durch die Aufnahme neurotoxischer *A. fumigatus*-Verbindungen sind daher kaum anzunehmen.

Gliotoxin wurde in insgesamt 45 Silagen nachgewiesen. Meist handelte es sich um als verpilzt eingestufte Gras- (n = 17) oder Maissilagen (n = 15).

Tab. 83: Biologische Eigenschaften nachgewiesener *A. fumigatus*- Stoffwechselprodukte

Substanz	Produzenten	biolog. Eigenschaften	Literatur
Gliotoxin	<i>Penicillium</i> spp. <i>Aspergillus</i> spp. <i>Gliocladium fimbriatum</i> (<i>Trichoderma viride</i>)	antibiotisch, MIC = 1 µg/ml, zytotoxisch, apoptotisch, genotoxisch, immunsuppressiv, evtl. neurotoxisch LD ₅₀ (i.p.) = 45 - 65 mg/kg	Müllbacher und Eichner, 1984 [41]; Braithwaite et al., 1987 [42]; Upperman et al., 2003 [43]; Wenehed et al., 2003
Fumagillin	<i>A. fumigatus</i>	amöbizid, schwach antibakteriell und antimyzetisch, stark hemmende Wirkung auf Neovaskularisierung ED ₅₀ (s.c.) = 15 ng/ml LD ₅₀ (oral) = 2 g/kg	Eble und Hanson, 1949; Ingber et al., 1990 [49]
Verruculogen	<i>Penicillium</i> spp. <i>A. fumigatus</i>	Tremorgen ED ₅₀ (i.p.) = 0,39 mg/kg LD ₅₀ (i.p.) = 2,4 mg/kg LD ₅₀ (oral) = 126,7 mg/kg	Cole et al., 1972; Weiser, 1990;
TR-2 Toxin	<i>A. fumigatus</i> <i>Penicillium</i> spp.	Tremorgen ED (oral) = 12 mg/kg	Cole und Kirksey, 1973; Cole et al., 1975;
Fumitremorgen B	<i>A. fumigatus</i> <i>A. caespitosus</i> <i>Penicillium</i> spp.	Tremorgen ED (i.p.) = 1 mg/kg	Yamazaki et al., 1971; Cole et al., 1977 [37];
Fumitremorgen C	<i>A. fumigatus</i>	tremorgen, ED (oral) = 25 mg/kg, hemmt BCRP, IC ₅₀ = 0,38 - 1,89 ng/ml, hemmt Zellzyklus in der M- Phase	Yamazaki et al., 1971; Cole et al., 1977 [37]; Allen und Schinkel, 2002; Cui et al., 1996 [24];
Fumigaclavin C	<i>Penicillium</i> spp. <i>A. fumigatus</i>	hemmt Zytokinfreisetzung von T-Zellen	Wu et al., 2005 [48];
Trypacidin	<i>A. fumigatus</i>	antiprotozoisch, zytotoxisch, MIC = 3,1 µg/ml	Balan, 1963; eigene Untersu- chungen

In einer verschimmelten Maissilage konnten 513 µg/kg der Substanz gemessen werden. Es sollte darauf hingewiesen werden, dass diese Verbindung (Tab. 83) neben antimyzetischen, zytotoxischen, apoptotischen und immunsuppressiven Eigenschaften, eine starke antibakterielle Wirksamkeit besitzt [41], [42], [43], [44]. *In vivo* Untersuchungen zur Beeinflussung der Pansenfunktion durch Gliotoxin liegen zwar nicht vor, in einer *in vitro* Studie wurde allerdings die Reduktion des Trockenmasseabbaus bei einer Konzentration von 80 µg Gliotoxin/ml Pansenflüssigkeit festgestellt [45]. Die in den untersuchten Silagen nachgewiesenen Mengen der Verbindung reichen nicht aus um diese Konzentration im Pansen zu erreichen. Nach derzeitigem Stand des Wissens ist eine Beeinträchtigung der

Pansenfunktion durch Gliotoxin daher eher nicht wahrscheinlich. Bedeutung dürfte diese Verbindung allerdings für die Manifestation von *A. fumigatus*-Infektionen (z.B. Mastitis) haben [22].

In 204 der untersuchten Silageproben wurde die Verbindung **Trypacidin** nachgewiesen. Die maximale Konzentration von 13.200 µg/kg wurde in einer „erwärmten“ Grassilage gemessen. Für Trypacidin wird eine antiprotozoische Wirkung gegen *Trypanosoma cruzi* beschrieben [46]. Ab einer Konzentration von 3 µg/ml beobachteten die Autoren eine Wachstumshemmung von extrazellulären Trypanosomen, über 10 µg/ml wurde ihr Absterben nachgewiesen. Protozoen stellen einen nicht unwesentlichen Bestandteil der normalen Pansenflora dar. Sie sind in der Lage, leicht abbaubare Kohlenhydrate zu resorbieren und somit eventuell zu einer Stabilisierung des Pansenmilieus bei hohen Kraftfuttermengen beizutragen. Darüber hinaus besitzen sie die Fähigkeit schädliche Futterbestandteile zu binden. Die Aufnahme von 25 kg des erwärmten Futters durch eine Kuh mit 100 Litern Pansenflüssigkeitsvolumen hätte rechnerisch eine Konzentration von 3,3 µg/ml zur Folge. Geht man davon aus, dass Pansenprotozoen ähnlich empfindlich auf Trypacidin reagieren wie Trypanosomen, so ist die Möglichkeit einer Beeinträchtigung der Pansenfunktion hochleistender Kühe durch die Aufnahme dieses Stoffwechselproduktes von *A. fumigatus* mit dem Futter nicht so ohne Weiteres auszuschließen. Inwieweit dies tatsächlich der Fall ist bedarf der Klärung.

Fumigaclavin C wurde in 38 Gras- und 71 Maissilagen nachgewiesen. „Erwärmte“ Maissilage enthielt zu 21,8 %, „verpilzte“ zu 46,3 % diese Verbindung. Die maximale Konzentration von 18.800 µg/kg wurde in einer verschimmelten Maissilage gemessen.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass diese Substanz im Zusammenhang mit einem Krankheitsgeschehen in einer Rinderherde entdeckt wurde [37]. Darüber hinaus zeigten neuere Untersuchungen, dass durch den Einfluss von Fumigaclavin C die Th1-Zytokinproduktion sowie die Aktivität der Matrix Metalloproteinase gehemmt werden [47], [48]. Inwieweit dies beim Rind von klinischer Relevanz ist, bleibt zu klären.

Die Verbindung **Fumagillin** wurde in 27 Silagen, vorwiegend in verschimmelten Maissilagen (n = 17) nachgewiesen. Es wurde eine Höchstmenge von 1.740 µg/kg festgestellt. Fumagillin ist bereits seit 1949 bekannt und fand als therapeutisches Mittel zur Bekämpfung von *Entamoeba histolytica* und *Nosema apis* in Bienenvölkern Verwendung. Die Substanz verlor aufgrund zahlreicher Nebenwirkungen an Interesse, wurde aber durch einen Zufall wiederentdeckt [49]. Das gesteigerte Interesse der Krebsforschung an dieser Verbindung beruht auf der Wirkung, die Angiogenese zu hemmen. Es ist durchaus denkbar, dass diese Wirkung von Fumagillin die Fruchtbarkeit von Rindern beeinträchtigen könnte. Fakt ist, dass während eines Zyklus enorme Kapillarisierungsvorgänge im Ovar ablaufen. Eine Beeinträchtigung dieser physiologischen Prozesse hat sicherlich Zyklusstörungen zur Folge. Darüber hinaus kann Fumagillin die Nidation der Eizelle verhindern [50]. Eine einmalige intravaginale Verabreichung von 2 mg führte bei Rhesusaffen zur teilweisen Verhinderung der Blastocystenimplantation.

Dieser Versuch einer toxikologischen Einschätzung einiger Einzelsubstanzen spiegelt nur sehr bedingt die Realität wider. Die Auswertung der Daten zeigt, dass vor allem in erwärmten und verpilzten Proben mit dem Vorkommen von bis zu 31 Pilzstoffwechselprodukten gerechnet werden muss (vergl. Abb. 20). Wie diese Stoffgemische die Gesundheit von Wiederkäuern beeinflussen, ist aufgrund des derzeitigen Wissensstands nicht zu beurteilen. Da kaum mit gesundheitsförderlichen Effekten zu rechnen ist, muss alles Erdenkliche und in der landwirtschaftlichen Praxis Realisierbare unternommen werden, um das Wachstum von Schimmelpilzen in der Silage zu verhindern.

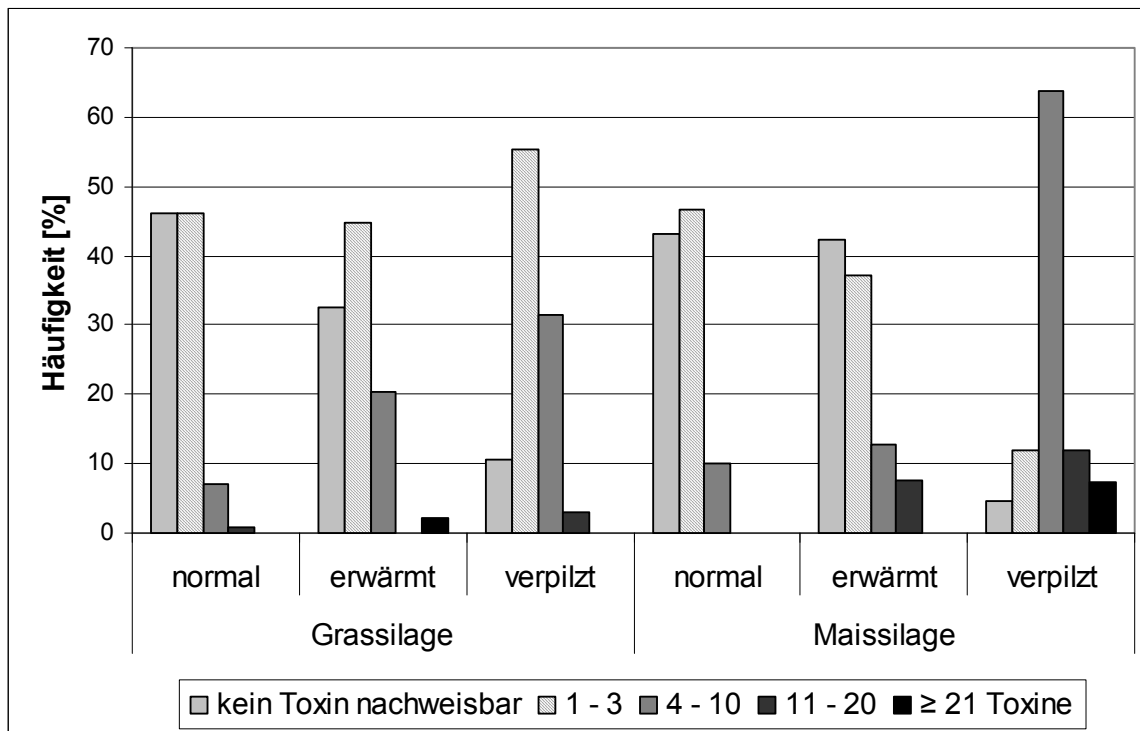


Abb. 20: relative Häufigkeiten des gleichzeitigen Nachweises mehrerer pilzlicher Stoffwechselmetaboliten in Gras- und Maissilagen unterschiedlicher Qualitäten

6 Anwendung des Controllings

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Systems für die praktische Anwendung des Silagecontrollings in Forschung und Beratung. Dies betrifft die angewandte Forschung und die Beratung der Ämter für Landwirtschaft und Forsten sowie der Verbundpartner bei LKP und LKV. Ein weiterer Bereich ist die Tätigkeit von Maschinenringen und Lohnunternehmen.

Um die Ergebnisse aus dem vorliegenden Forschungsvorhaben umzusetzen, wurden die relevanten Szenarien mit den am Projekt beteiligten Beratungskräften diskutiert und abgestimmt. Die einzelnen Anwendungsbereiche werden im Weiteren dargestellt.

6.1 Begleitung zu Versuchen

Das Controlling am Silo empfiehlt sich zunächst in Ergänzung zu Fütterungsversuchen an Rindern. Dies betrifft konkrete Fütterungsversuche mit Silagen, um z.B. die Wirkung von Silagen mit und ohne Silierzusätzen zu prüfen. Das Vorgehen ist aus einer Arbeit von Spiekers et al. (2002) [52] zu ersehen. Während des Fütterungsversuchs ist die Temperaturentwicklung am Siloanschnitt kontinuierlich nachzuhalten. Im angesprochenen Versuch erfolgte die Messung der Temperatur an 3 Tagen die Woche an 3 Messstellen in 0,5 und 1 m Tiefe. Auf diese Weise konnte die aerobe Stabilität der Silage während der Dauer des Fütterungsversuchs beurteilt werden. Nach etwa 4 Wochen Versuchsdauer zeigten sich klare Unterschiede zwischen der behandelten und der unbehandelten Silage.

Eine weitere Anwendung fand das Vorgehen in einem Versuch zur Prüfung von Bt-Mais an Milchkühen [53]. In den unter gleichen Bedingungen angelegten Maissilagen mit iso- und transgenem Mais wurde am Anschnitt kontinuierlich die Temperatur gemessen. Aus der (Abb.21) sind die Ergebnisse der beiden Silagen ersichtlich. Aufgeführt sind die mittels Stechthermometer ermittelten Temperaturen in der Silomitte bei 40 cm und 100 cm Einstichtiefe. Ergänzend ist die Außentemperatur aufgeführt. Aus den Daten ist insgesamt ersichtlich, dass sich die Maissilagen im Nacherwärmverhalten nicht unterschieden. Für den Fütterungsversuch kann damit beurteilt werden, ob ein Einfluss der Nacherwärmung gegeben war.

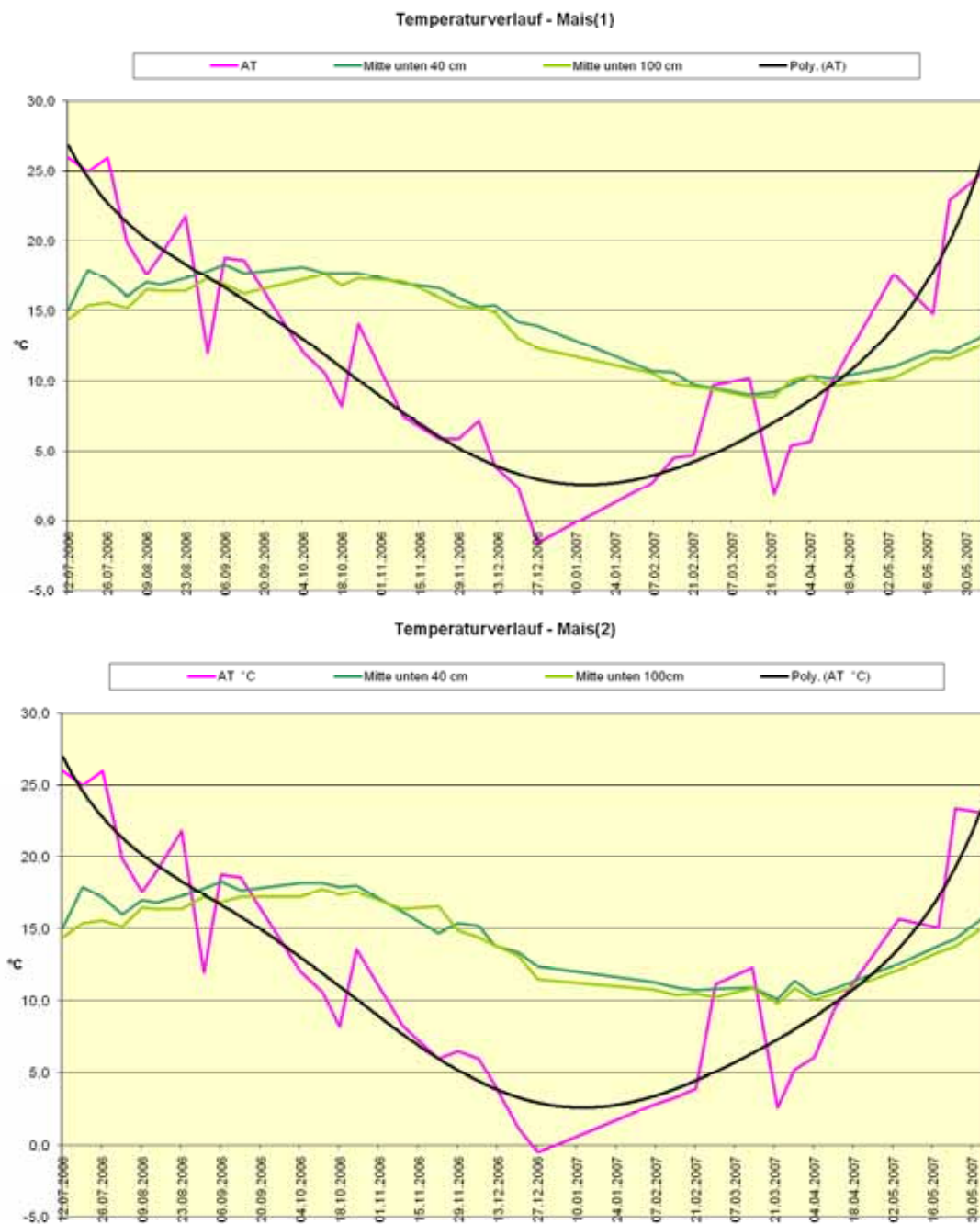


Abb. 21: Temperatur am Siloanschnitt von Maissilage bei 40 cm und 100 cm Einstichtiefe über den Verlauf des Fütterungsversuchs, AT-Außentemperatur

Aus den vorliegenden Erfahrungen ist festzuhalten, dass sich in Ergänzung zu Fütterungsversuchen die Messung der Temperatur am Siloanschnitt empfiehlt. Hierdurch kann unterschiedliches Verhalten bezüglich der Nacherwärmung beurteilt werden.

Messungen zur Verdichtung empfehlen sich insbesondere in Versuchen zur Frage der Häcksellänge [54] [55] und weiteren Aspekten der Verfahrenstechnik. Über die Messung der Temperatur können dann eventuellen Auswirkungen unterschiedlicher Verdichtung auf die Nacherwärmung erfasst werden.

6.2 Betriebsbesuch zur Fütterungsberatung

Bei der Fütterungsberatung mit Betriebsbesuch empfiehlt sich grundsätzlich auch die Einbeziehung der Beurteilung der im Anschnitt befindlichen Silagen. Ein komplettes Controlling am Silo mit Messung der Dichte und der Temperatur ist aus zeitlichen Gründen nicht möglich und auch nicht erforderlich. Es gilt eventuelle Schwachstellen aufzudecken. Ausgehend von den Erfahrungen im vorliegenden Vorhaben wurde daher eine reduzierte Variante entwickelt und in einem bundesweiten Forschungsprogramm zur ökologischen Milchviehhaltung angewendet [56].

Neben einem verkürzten Silierprotokoll für Gras- oder Maissilagen wurde das Silo am Anschnitt beurteilt. Folgende Maßnahmen sind enthalten:

1. Temperaturmessung mit Stechthermometer
- 3 Punkte oberste Schicht (max. 50 cm von oben); mindestens 50 cm tief
2. Beurteilung des Anschnitts
- Schimmelbildung
- Hygiene am Silo
3. Bonitur der Abdeckung und Beschwerung
- Benotung von 1 bis 5

Mit dem vereinfachten Controlling am Silo kann die Beurteilung der Silage in die Fütterungsberatung miteinbezogen werden. Aus den Angaben und Messungen können Empfehlungen für die aktuelle Bewirtschaftung des Silos und für die zukünftige Silagegewinnung abgeleitet werden.

In der Fütterungsberatung des LKV könnte dies zukünftig routinemäßig Anwendung finden. Voraussetzung ist die entsprechende Ausstattung der Fütterungstechniker mit Messsonden für die Temperaturerfassung und den Silierprotokollen. Treten größere Probleme auf, ist eine gesonderte Beratung zu empfehlen. Diese könnte dann je nach Problem das gesamte Silagecontrolling umfassen. Auf die Daten des ersten Controllings kann dabei schon zurückgegriffen werden.

6.3 Problembetrieb mit Nacherwärmung

Wie bereits angesprochen, empfiehlt sich bei Problemen mit Nacherwärmung eine grundlegende Schwachstellenanalyse. Diese sollte ausgehen von einem umfassenden Controlling am Silo. Nach Erfassung der Situation sind die Ursachen für die Schwachstellen abzuklären. Diese liegen oft in der grundsätzlichen Organisation des Silierverfahrens wie ungenügender Abstimmung der Verfahrensschritte Häckseln, Transport, Verdichtung etc.

In die Beratung sind soweit möglich alle Beteiligten wie Maschinenring, Lohnunternehmer etc. einzubeziehen.

Abzuleiten sind Empfehlungen für den konkreten Beratungsfall. Diese umfassen Maßnahmen am Silo mit Nacherwärmung sowie Empfehlungen für die zukünftige Silierung. Folgende Punkte sind zu diskutieren:

1. Maßnahmen am nacherwärmten Silo

- Vorschub erhöhen:
Zielgröße: mehr als 30 cm am Tag
- Umsilieren:
Am nacherwärmten Silo kann die obere Hälfte abgenommen und erneut siliert werden. Hierdurch ist eine gute Verfestigung möglich und der Vorschub ist bei der erneuten Öffnung doppelt so hoch. Als Nachteile ergeben sich die Kosten für das Umsilieren und die erneute Abdeckung und das Silo sollte vor dem erneuten Öffnen mindestens 4 Wochen geschlossen bleiben.
- Intervallentnahme:
Durch Entnahme größerer Mengen kann die Nacherwärmung unterbrochen werden.
- Vorrats-TMR:
Die noch nicht nacherwärmte Silage kann mit Erfolg in eine Vorrats-TMR eingebracht werden
- Behandlung der Anschnittfläche:
Die Anschnittfläche kann mit einem Gemisch aus 1 l Propionsäure und 3 l Wasser behandelt werden. Dies mindert das Wachstum der Hefen am unmittelbaren Anschnitt. Eine Tiefenwirkung ist nicht gegeben, da die Propionsäure nur dort wirken kann wo sie hin kommt.

2. Maßnahmen zur Vorbeugung der Nacherwärmung

- angepasster Erntezeitpunkt:
Der Erntezeitpunkt ist so zu wählen, dass sich das Material gut verdichten lässt.
- optimale Siliertechnik:
Je trockener umso kürzer häckseln und je dünner die Schicht umso besser ist die Walzarbeit.
- nicht überfüllen:
Überfüllte Silos können im oberen Bereich schlechter verdichtet werden; bei großen Erntemengen empfiehlt sich daher die Anlage eines weiteren Silos.
- Siliermitteleinsatz:
Zur Vermeidung der Nacherwärmung empfiehlt sich der Einsatz von Siliermitteln der Wirkungsrichtung 2 mit DLG-Gütezeichen.
- Sandwichsilage etc.:
Weitere mögliche Ansatzpunkte sind die Silierung von Gras und Mais in Schichten. Als Nachteil ist die Vorgabe der Rationsanteile zu sehen. Ein weiterer Punkt ist die Dauer von der Silierung bis zur Öffnung des Silos. Zu empfehlen ist die Öffnung nach abgeschlossener Silierung (12 Wochen). Bei Engpässen ist ein Behelfssilo zur Überbrückung zu nutzen.

Ein zentraler Punkt ist die Verdichtung in der oberen Hälfte des Silos. Aus den vorliegenden Ergebnissen ist klar ersichtlich, dass hier ein Hauptaugenmerk zu legen ist.

6.4 Reklamation

Im Bereich der Silierung werden über Vorleistungen wie Folie, Siliermittel und Werkverträge, über Ernte, Abfahren oder Walzen erhebliche Leistungen durch Dritte erbracht. Hierbei gibt es immer wieder Fragen zur Qualität und zum Ergebnis der Arbeiten. Im Falle der Reklamation sind Nachweise erforderlich. Ein Teil der Nachweise sind über das Controlling am Silo möglich. Dies betrifft die Frage der Verdichtung sowie des möglichen Verderbs. Unter Nutzung des Controllings am Silo sind Fachgutachten besser zu systematisieren. Ansprechpartner sind hier die landwirtschaftlichen Gutachter. Ergänzender Sachverstand kann bei Bedarf durch LfL, LVFZ und ÄLF eingebracht werden.

Um Reklamationen zu vermeiden sind konkrete Absprachen mit den Beteiligten erforderlich. Dies kann z.B. die Höhe der Verdichtung sein. Im Werkvertrag kann die zu erzielende Verdichtung im Silo an vorgegebenen Stellen festgelegt werden. Eine Kontrolle empfiehlt sich über konkrete Messungen. Diese sind zur Überprüfung von vornherein vorzusehen.

6.5 Controlling der Silos von Biogasanlagen

Die Minderung von Verlusten in Silos für Biogasanlagen geht direkt in eine höhere Gasausbeute und damit in eine bessere Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses ein. Verluste durch Nacherwärmung spielen hier eine herausragende Rolle. Um die Bewirtschaftung von Siloanlagen an Biogasanlagen zu steuern, ist das Controlling am Silo zu empfehlen. Anhand von Dichte und Temperaturmessung kann der Vorschub gesteuert und somit die Verluste verringert werden. Es empfiehlt sich das Controlling als Überprüfung der Ernte und zur laufenden Steuerung.

6.6 Lehrgangsbetrieb/Schule

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, dass das Controlling am Silo zur Steuerung der Silagewirtschaft generell zu empfehlen ist. Um dies zu gewährleisten, sollten entsprechende Inhalte in den Berufs- und Fachschulen für Landwirtschaft sowie in den Aktivitäten der Lehr-, Versuchs- und Fachzentren ihren festen Platz finden. In den LVFZ bietet sich die Möglichkeit der konkreten Schulung am Silo an.

Im Schulbereich ist als erstes die Erweiterung der Schlagkartei um Angaben zur Silagegewinnung vorzunehmen. Ein wichtiger Punkt ist hier die Ertragserfassung. Ziel ist die Steigerung der Effizienz der Futterwirtschaft. Die Inhalte sollten abgestimmt im Bereich Pflanze, Tier und Ökonomie behandelt werden. Auf den LVFZ kann in der überbetrieblichen Ausbildung der praktische Teil Verwendung finden. Dies betrifft die sensorische Beurteilung des Anschnitts, die Messung der Temperatur und die Messung und Beurteilung der Dichte.

7 Empfehlungen zur Methodik

Beim Controlling am Silo empfiehlt sich nach jetzigem Kenntnisstand folgendes:

- Das Controlling sollte die Erfassung der Daten zur Silierung und eine Messung und Bonitur am Silo umfassen.
- Die Dichte sollte mindestens an drei Stellen (unten, oben, Seite) gemessen werden.
- Die Temperaturmessung sollte an sechs Punkten auf 40 und 100 cm erfolgen (wenn notwendig mit Vorstechen).
- Mit dem Einsatz einer Wärmebildkamera kann die Zahl der Messpunkte reduziert werden.
- Das Bohrkernmaterial kann als Probe zur Nährstoff- und Gärqualitätsuntersuchung verwendet werden.
- Probenmaterial für die mikrobielle Untersuchung sollte weitgehend keimarm gewonnen (frische Kunststofftüten, saubere Entnahmegерäte), in die Tüte gepresst und mit kurzem Hals verschlossen werden. Die Probe muss in Absprache mit dem Untersucher schnellstmöglich ins Labor und zwischenzeitlich kühl gelagert werden (nicht einfrieren!).
- Zur Dichtemessung ist ein geeigneter Bohrer zu verwenden; großer Durchmesser mit Schneide.
- Die Dichten sind anhand von Orientierungswerten einzuordnen.

8 Fazit

Mit dem Controlling am Silo steht ein wichtiges Instrument für die Steuerung der Silagequalität zur Verfügung. Aus den Ergebnissen wurden Empfehlungen für die Vorgehensweise in verschiedenen praxisrelevanten Situationen abgeleitet. Die eingangs angeführte Schrittmacherfunktion zur Hygiene am Silo kann hierdurch gewährleistet werden.

Zunächst ist mit dem Controlling am Silo ein zusätzlicher Messaufwand verbunden. Die Informationen, die sich aus der Dichte- und Temperaturmessung ableiten lassen, geben Hinweise zur Optimierung des Verfahrens und erklären die Nacherwärmung.

Damit können Nährstoffverluste und negative Einflüsse auf Leistung und eventuell Tiergesundheit eingegrenzt werden.

Schimmeliges Futter sollte nicht verfüttert werden. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die Beratungsempfehlung. Bei nacherwärmten Futter ist ebenfalls Vorsicht geboten.

Zu warten (füttern), bis ein Tierarzt auf die Futterqualität verweist, beinhaltet wirtschaftliche Schäden durch mangelnde Futter- bzw. Energieaufnahme.

Ein abgestimmtes Controlling am Silo ist ein zukunftssträchtiges Steuerungsinstrument für den Landwirt und die beteiligten Maschinenringe oder Lohnunternehmen. Die Einbindung in Schule und Beratung ist zu empfehlen.

9 Kurzfassung

9.1 Methode und Ergebnisse

1. In einem übergreifenden Forschungsvorhaben zur Futterkonservierung und Futterhygiene wurden in 45 Praxisbetrieben und 5 Lehr-, Versuchs- und Fachzentren der LfL Erhebungen und Untersuchungen zum Controlling am Silo durchgeführt. Die Arbeiten bauen auf Vorarbeiten zum Controlling und früheren Untersuchungen zu Schimmelpilzen der Gattung *Penicillium* und *Monascus* in Silagen auf.
2. Ziel des Projektes war die Validierung eines vor Ort am Silo durchzuführenden Controlling-Systems zu dem auch die Erfassung betriebsspezifischer Daten mittels Silierprotokoll gehörte. Die Betriebe (Arbeitskreis bzw. Schülerbetriebe) waren hinsichtlich der Größe, der Leistung und der Einbindung in die Beratung als überdurchschnittlich anzusehen. Die Milchleistung lag zwischen 7.300 und 7.800 kg (LKV) je Kuh und Jahr.
3. Im Zeitraum Juni 2006 bis August 2007 wurden die Betriebe bis zu 3-mal besucht und das Controlling am offenen Silo an 128 Gras- und 118 Maissilagen durchgeführt
4. Das Controlling umfasste eine Erhebung zum Ausgangsmaterial, dem Silierverfahren und dem Silomanagement sowie Messungen am Anschnitt zur Temperatur und zur Dichte und die Probenahme zur Bestimmung der Futter- und Gärqualität. Die Messung der Dichte erfolgte mit einem speziellen Bohrer an festgelegten Messstellen. Zur Beurteilung der Nacherwärmung wurden Messungen mit der Wärmebildkamera und Thermometer durchgeführt.
5. Die Angaben der Landwirte umfassten die Silierung, den Erntetermin, den Schnittzeitpunkt, die Feldperiode und die Silierdauer sowie die Erntetechnik, die Verdichtung und den Einsatz von Siliermitteln. Bei den Grassilagen wird sowohl beim 1. Schnitt als auch bei den Folgeschnitten der Schnittzeitpunkt überwiegend zum Rispschieben der Hauptbestandsbildner gesehen. Die Feldperiode wurde überwiegend mit 1 - 2 Tagen angegeben. Für 27 – 40 % der beprobten Silos wurde aber auch weniger als 1 Tag Feldperiode angegeben. Bei Maissilage wird der Siliertermin über die Kornabreife bestimmt. Diese wurde mit 55 % TM im Korn „Korn überwiegend fest“ angegeben.
6. Bei Gras liegen die Angaben zur Schnitthöhe bei 6 - 7 cm. Die Angaben zur eingestellten theor. Schnitt- bzw. Häcksellänge liegt bei 4 cm bei Häcksler und bei 5 – 6 cm beim Ladwagen. Bei der Walzarbeit zeigen sich regionale Unterschiede. In Rosenheim walzen überwiegend Radlader und in Roth überwiegend Schlepper. Die Walzgewichte der Schlepper liegen mit 5 - 9 t deutlich unter den Radladern mit 10 – 15 t. Dies gilt auch für die Walzgeräte bei Mais, der im Mittel je nach Region 24 bis 36 cm hoch geschnitten und auf 8 – 10 mm gehäckselt wird.
7. Die Silierdauer wird im Mittel mit 7 bis 15 h bei Gras und 8 – 9 h bei Mais angegeben. Die aus den Angaben im Siloprotokoll errechneten mittleren Anfuhrleistungen je Region liegen bei Gras bei 15 – 39 t/h und bei Mais bei 29 – 53 t/h. Siliermittel werden mit einem Anteil von 6 – 26 % bei Grassilagen eingesetzt. Bei Maissilagen werden ausgenommen in Rosenheim deutlich weniger bis überhaupt keine eingesetzt.
8. Die Angaben zur Silomiete dienen der Berechnung der Silovolumen. Diese liegen zwischen 320 m³ und 410 m³ bei Gras und 400 – 500 m³ bei Silomais. Zum Abdecken

- hat sich die Unterziehfolie durchgesetzt. Das Abdecken wird in der Regel sofort nach dem Befüllen begonnen.
9. Entscheidend für die aerobe Haltbarkeit der Silagen nach dem Öffnen der Silos ist die Dauer vom Silieren bis zum Öffnen. Diese beträgt bei Grassilage im Mittel der Regionen 150 – 210 Tage und ist als ausreichend anzusehen.
 10. Bei den Maissilagen bleiben die Silos 110 – 220 Tage geschlossen und stellen somit kein Problem dar. Die Schlüsselgröße Vorschub zeigt bei Gras im Mittel 1,4 – 1,6 m/Woche bzw. ca. 21 cm/Tag, bei Mais ist der Vorschub mit 1,2 – 1,3 m geringer ausgenommen die LVFZ mit 1,8 m/Woche.
 11. Die Messungen zeigten starke Unterschiede an den verschiedenen Stellen des Silos. Dies betrifft die Dichte und die gemessenen Temperaturen. Die höchste Verdichtung und die geringste Nacherwärmung zeigte sich an der Probenahmestelle unten Mitte. Bei der Ausgestaltung des Controllings ist dies zu beachten.
 12. Die Meßergebnisse am Silo zeigen bei 127 Grassilos eine mittlere Temperatur, die zwischen 16,2 °C links unten und 20,3 °C rechts oben schwankt. Die mittlere Temperatur im Sommer (Grassilo) liegt bei 40 cm Einstichtiefe bei 18,5 °C und bei 100 cm bei 16,8 °C. Im Winter liegt die mittlere Temperatur bei 100 cm Einstichtiefe bei 15,4 °C. Die mittlere Temperatur bei Mais lag unter der von Gras bei 15 °C. Es kann daher die Silokerntemperatur vereinfacht mit 15 °C angenommen werden.
 13. Unterschiede in der Temperatur am Anschnitt von mehr als 5 K zeigten sich in etwa 1/3 der Silos. Die Unterschiede können erfasst und beurteilt werden. Die Messungen mit dem Thermometer in unterschiedlichen Einstichtiefen lassen eine Beurteilung des Nacherwärmungsgeschehens zu. Die Wärmebildkamera erlaubt nur eine Beurteilung der Situation an der Oberfläche. Beeinträchtigungen durch eine stärkere Sonneneinstrahlung sind zu berücksichtigen.
 14. Die mittlere Dichte der Grassilage schwankt im Silo von oben 173 kg TM/m³ über Mitte 214 nach 229 kg TM/m³ unten. Maissilagen zeigen deutlich höhere Dichten (oben 219 kg TM/m³, Mitte 259 kg TM/m³ und unten 261 kg TM m³). Die Zielwerte der DLG werden in erster Linie bei den Maissilagen unterschritten.
 15. Zwischen den untersuchten Betrieben bestehen erhebliche Unterschiede in der Organisation und der Logistik der Silierung. Dies zeigt sich insbesondere in den kalkulierten Anfuhrleistungen. Bei einer guten Abstimmung können hohe Anfuhrleistungen mit guten Verdichtungen realisiert werden. Längere Silierdauern von mehr als einem Tag scheinen generell problematisch zu sein.
 16. 584 Silageproben wurden einer umfassenden mykologischen und mykotoxikologischen Untersuchung unterzogen. Sensorisch als „unauffällig“ bewertete Silagen (normale) wiesen nur in 13,1 % der Fälle Schimmelpilzgehalte >10³ KBE/g auf; für Hefen lag der entsprechende Wert bei 33,2 %. Dagegen waren erwärmte und offensichtlich verpilzte Silagen häufiger mit Schimmelpilzen (55,9 % bzw 92,5 % positive Befunde) kontaminiert. Vergleichbares konnte auch bezüglich des Hefebefalls festgestellt werden (78,7 bzw 90,6 %). Dies bedeutet, dass die Sensorik durchaus wertvolle Informationen über den hygienischen Status von Silagen liefert.
 17. Neben *Penicillium roqueforti*, wurden *Monascus ruber* und *Aspergillus fumigatus* als dominante Pilzspezies erkannt. Da letztere auch systemische Infektionskrankheiten bei Mensch und Tier hervorrufen kann, ist diesen Befunden auch tiergesundheitliche und arbeitsmedizinische Bedeutung zuzumessen.

18. Die mykotoxikologischen Untersuchungen konzentrierten sich vor allem auf Stoffwechselprodukte von *Aspergillus fumigatus*. Die Analysen erstreckten sich auf 34 Metaboliten, die vorwiegend bei den Gruppen der Fumitremorgene, Fumiquinazoline und Tryptoquivaline zuzuordnen sind. Hinzu kamen Untersuchungen auf Monacolin K, Roquefortin C und Mykophenolsäure. Trypacidin, Fumigaclavin C, Verruculogen und Gliotoxin waren die am häufigsten nachgewiesenen *A. fumigatus*-Toxine. Die Untersuchungen auf Roquefortin C, Mykophenolsäure und Monacolin K bestätigten deren häufiges Vorkommen in verpilzten Silagen. Der Sachverhalt, dass bis zu 31 verschiedene Pilzmetaboliten in einer Probe nachgewiesen wurden, zeigt, dass bei Schimmelpilzvergiftungen meist mehrere toxische Metaboliten involviert sind.
19. Die mykotoxikologische Bedeutung der Resultate ist derzeit noch schwer einzuschätzen. Allein für die antibiotisch wirkende Verbindung Roquefortin C und das Immunsuppressivum Mykophenolsäure liegen Ergebnisse praxisrelevanter Fütterungsversuche mit Wiederkäuern vor.

9.2 Empfehlungen für die Praxis

1. Im Silagemanagement liegt der Hauptansatzpunkt um gezielt die Silagequalität bis zum Trog zu steuern und zu verbessern. Ein auf die Erfordernisse im Einzelbetrieb abgestimmtes Controlling kann hier wichtige Impulse liefern.
2. Bei der Einsilierung sind die einzelnen Verfahrensschritte eng aufeinander abzustimmen. Das schwächste Glied, oft die Verdichtung, ist der Punkt zur Ausrichtung. Hohe Anfahrleistungen und gute Ergebnisse schließen sich nicht aus.
3. Das Wachstum von Schimmelpilzen und Hefen in Silagen muss aus ernährungsphysiologischen (Energieverlust), tiergesundheitslichen (akute und/oder chronische Intoxikationen) und lebensmittelhygienischen Gründen (Übergang von Schimmelpilzgiften aus dem Futter in Lebensmittel tierischen Ursprungs) verhindert werden.
4. Eine entscheidende Bedeutung für die Herstellung „pilzfreier“ Silage hat die Verdichtung und die luftdichte Abdeckung des Siliergutes. Mit zunehmenden Gehalten an Trockenmasse steigen die Vorgaben zur Verdichtung. Der Steigerung der Verdichtung im oberen und seitlichen Silobereich ist besondere Beachtung beizumessen.
5. Eine sorgfältige sensorische Prüfung der Silage bei der Entnahme auf Verpilzung und Erwärmung ist zu empfehlen.
6. Pilzbefallene Stellen sind großzügig unter Berücksichtigung der Grundregeln des Arbeitsschutzes (Infektionsgefahr durch *A. fumigatus*!) zu entfernen.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Bauer, J.; Forchtmann, C.; Hermanns, W.; Hombergs, H.; Hörmannsdorfer, S.; Kampschulte, J.; Karg, H.; Klee, W.; Kraetzel, W.; Lucksch, U.; Richter, W.; Schams, D.; Schneeweis, I.; Tüller, G.; Wiedemann, S. (1996): Mykotoxine in Silagen: Natürliches Vorkommen von *Penicillium roqueforti*-Toxinen und deren Einfluß auf Tiergesundheit und Lebensmittelqualität. Forschungsbericht; BLT und TUM, Freising
- [2] Honig, H. (1990): Evaluation of aerobic stability. Proceedings of the Eurobac Conference, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, Schweden, 3, 76-82
- [3] Pelhate, J. (1977): Maize silage: Incidence of moulds during conservation. *Folia vet lat.*, 7, 1-17.
- [4] Schneeweis, Isabell; Bauer, J. (2000): Untersuchungen über das natürliche Vorkommen von Monacolinen in Silagen bayerischer Herkunft. Forschungsbericht A/97/16, TUM, Freising
- [5] Spiekers, H. (2004a): Controlling am Silo. *dlg-test.de* 2/2004, 21
- [6] Spiekers, H. (2004b): Futterwirtschaft in Bayern. SuB Heft 10/04, Seiten III17 – 19
- [7] Spiekers, H. (2005): Anforderungen an Futterwirtschaft und Fütterung für eine nachhaltige Milcherzeugung. SuB Heft 3-4/05, Seiten III 1- 4
- [8] Schneeweis, I. (2000): Futtermittelhygienische Untersuchungen von Silagen: Nachweis und Vorkommen von Monacolinen, Citrinin und Mycophenolsäure. Dissertation, TU-München.
- [9] Bundesarbeitskreis Futterkonservierung (2006): Praxishandbuch Futterkonservierung, 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a. M.
- [10] Steinhöfel, O. (2007): Veränderung des Carotingehaltes in unterschiedlich konserviertem Klee gras. Fachinformationen zu Futter und Fütterung http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/Fachinformationen_07c.pdf
- [11] Oldenburg, E.; Höppner, F. (2003): Vorkommen von Deoxynivalenol in Silomais in Abhängigkeit von der Schnitthöhe. FAL Braunschweig, Jahresbericht, 38
- [12] Beeker, W. (2003): Untersuchungen zur Problematik der Nacherwärmung von Maissilage, Erntejahr 2002. Diplomarbeit FH Südwestfalen, Abt. Soest.
- [13] Betz, J. (2007): Durchführung Controlling am Silo (CAS). Diplomarbeit, FH Weihenstephan, Abt. Triesdorf.
- [14] Gedek, Brigitte (1974): Möglichkeiten und Grenzen der mikrobiologischen Futtermittelkontrolle. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift*, 81, 37-40 und 65-69
- [15] Thaysen, J.; Ruser, Barbara (2006): Dichte Controlling – Bedeutung und Instrumente. GKL – Frühjahrstagung (2006): Siliererfolg auch bei großen Erntemassen 28./29. März Institut für Landtechnik, Bonn, Tagungsband, 14 – 17, <http://www.gkl-online.de>

- [16] Resch, R. (2008): Ergebnisse Silageprojekt 2003/2005/2007. 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 9.-10. April, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Österreich, 33-45
- [17] Groß, F.; Rutzmoser, K. (1989): Gärfutteruntersuchungen aus Praxisbetrieben. Untersuchungsauftrag des Bayer. Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Feststellung der Silagequalität 1987/88 auf den Futterbaustandorten Wasserburg und Cham.
- [18] Ruppel, K. A.; Pitt, R. E.; Chase, L. E.; Galton, D. M. (1995): Bunker Silo Management and Its Relationship to Forage Preservation on Dairy Farms. *J Dairy Sci* 78: 141-153
- [19] LKV Daten, Durchschnittsleistung in Bayern (2006), Landeskuratorium für tierische Veredlung Bayern, München
- [20] Tomee, J.F.; van der Werf, T.S. (2001): Pulmonary aspergillosis. *Neth. J. Med.* 59: 244-258
- [21] Breitner, W.; Bauer, J.; Laging, Cl. (1990): Aspergillose Des Verdauungstraktes Bei Einem Kalb. *Tierärztl.Umschau*, 45, 178-183
- [22] Bauer, J.; Gareis, M.; Bott, A.; Gedek, B. (1989): Isolation of a Mycotoxin (Gliotoxin) From a Bovine Udder Infected With *Aspergillus Fumigatus*. *J Med.Vet.Mycol.*, 27, 1, 45-50
- [23] Podstatzky, L.; Winter, P.; Schlicher, F.; Buchbacher, M. (1999): Mastitis Durch *Aspergillus Fumigatus* Bei Einem Rind. *Wien.Tierärztl.Mschr.*, 86, 274-279
- [24] Cui, C.B.; Kakeya, H.; Okada, G.; Onose, R.; Osada, H. (1996a): Novel Mammalian Cell Cycle Inhibitors, Tryprostatins A, B and Other Diketopiperazines Produced by *Aspergillus Fumigatus*. I. Taxonomy, Fermentation, Isolation and Biological Properties. *J. Antibiot.(Tokyo)*, 49, 6, 527-533
- [25] Tüller, G.; Armbruster, G.; Wiedenmann, S.; Hänichen, T.; Schams, D.; Bauer, J. (1998): Occurrence of Roquefortine in Silage - Toxicological Relevance to Sheep. *J.Anim.Physiol.a.Anim.Nutr.*, 80, 246-249
- [26] Bauer, J. und Meyer, K. (2006): Stoffwechselprodukte Von Pilzen in Silagen: Einflüsse Auf Die Gesundheit Von Nutztieren. *Übers.Tierernährg.*, 34, 27-55
- [27] Ostertag, J. (2009): Nachweis und Vorkommen von *Aspergillus fumigatus*-Toxinen in Silagen, Dissertation agr. TUM, Freising in Vorbereitung
- [28] Armbruster, G. (1994): Futtermittelhygienische Untersuchungen von Silagen: Nachweis und Vorkommen des Mykotoxins Roquefortin.
- [29] Auerbach H, Oldenburg E, Weissbach F. (1998): Incidence of *Penicillium roqueforti* and roquefortin C in silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76:565-572
- [30] Driehuis, F.; Spanjer, M.C.; Scholten, J.M.; te Giffel, M.C. (2008): Occurrence of mycotoxins in feedstuffs of dairy cows and estimation of total dietary intakes
- [31] Sievers, T.M.; Rossi, S.J.; Ghobrial, R.M.; Arriola, E.; Nishimura, P.; Kawano, M.; Holt, C.D. (1997): Mycophenolate mofetil. *Pharmacotherapy* 17(6):1178-97.
- [32] Mohr, A.I.; Lorenz, I.; Baum, B.; Hewicker-Trautwein, M.; Pfaffl, M.; Dzidic, A.; Meyer, H.H.; Bauer, J.; Meyer, K. (2007): Influence of oral application of

- mycophenolic acid on the clinical health status of sheep. *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med.* 54(2):76-81.
- [33] Dzidic, A.; Mohr, A.; Meyer, K.; Bauer, J.; Meyer, H.H.; Pfaffl, M. (2004): Effects of mycophenolic acid (MPA) treatment on expression of Fc receptor (FcRn) and polymeric immunoglobulin receptor (pIgR) mRNA in adult sheep tissues. *Croat Med J.* 45(2):130-5.
- [34] Baum, B.; Mohr, A.; Pfaffl, M.; Bauer, J.; Hewicker-Trautwein, M. (2005): Morphological findings in lymphatic tissues of sheep following oral application of the immunosuppressive mycotoxin mycophenolic acid. *Mycopathologia.* 160(2):167-75.
- [35] Endo, A. (1980): Monacolin K, a new hypocholesterolemic agent that specifically inhibits 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase. *J Antibiot (Tokyo).* 33(3):334-6.
- [36] Orbin, C.G. und Jorplin, K.N. (1997): The rumen anaerobic fungi. In: *The rumen microbial ecosystem.* Blackie Academic & Professional, London. 140-195.
- [37] Cole, R.J.; Kirksey, J.W.; Dorner, J.W.; Wilson, D.M.; Johnson, J.C. Jr; Johnson, A.N.; Bedell, D.M.; Springer, J.P.; Chexal, K.K.; Clardy, J.C.; Cox, R.H. (1977): Mycotoxins produced by *Aspergillus fumigatus* species isolated from molded silage. *J Agric Food Chem.* 25(4):826-30.
- [38] Dorner, J.W.; Cole, R.J.; Hill, R.A. (1984): Tremorgenic Mycotoxins Produced by *Aspergillus fumigatus* and *Penicillium crustosum* Isolated from Molded Corn Implicated in a Natural Intoxication of Cattle. *J. Agric. Food Chem.* 32, 411-413.
- [39] Cole, R.J.; Kirksey, J.W.; Moore, J.H.; Blankenship, B.R.; Diener, U.L.; Davis, N.D. (1972): Tremorgenic Toxin from *Penicillium verrucosum*. *Appl Environ Microbiol.* 24(2): 248-250.
- [40] Weiser, M. (1990): Ethologische Und Neurobiologische Untersuchungen Zur Wirkungsweise Der Mykotoxine Penitrem A, Verruculogen Und Fumitremorgen B.
- [41] Müllbacher, A.; Eichner, R.D. (1984): Immunosuppression in Vitro by a Metabolite of a Human Pathogenic Fungus., *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.*, 81, 12, 3835-3837.
- [42] Braithwaite, A.W.; Eichner, R.D.; Waring, P.; Mullbacher, A. (1987): The Immunomodulating Agent Gliotoxin Causes Genomic DNA Fragmentation. *Mol.Immunol.*, 24, 1, 47-55.
- [43] Upperman, J.S.; Potoka, D.A.; Zhang, X.R.; Wong, K.; Zamora, R.; Ford, H.R. (2003): Mechanism of Intestinal-Derived Fungal Sepsis by Gliotoxin, a Fungal Metabolite. *J Pediatr.Surg.*, 38, 6, 966-970.
- [44] Li, X. ; Kim, S.K.; Nam, K.W.; Kang, J.S.; Choi, H.D.; Son, B.W. (2006): A new antibacterial dioxopiperazine alkaloid related to gliotoxin from a marine isolate of the fungus *Pseudallescheria*. *J Antibiot (Tokyo).* 59(4):248-50.
- [45] Morgavi, D.P.; Boudra, H.; Jouany, J.P.; Michalet-Doreau, B. (2004): Effect and Stability of Gliotoxin, an *Aspergillus Fumigatus* Toxin, on in Vitro Rumen Fermentation. *Food Addit.Contam.* 21, 9, 871-878.

- [46] Gutteridge, W.E.; Knowler, J.; Coombes, J.D. (1969): Growth of *Trypanosoma cruzi* in human heart tissue cells and effects of aminonucleoside of puromycin, trypacidin and aminopterin. *J Protozool.* 16(3):521-5.
- [47] Zhao, Y.; Liu, J.; Wang, J.; Wang, L.; Yin, H.; Tan, R.; Xu, Q. (2004): Fumigaclavine C Improves Concanavalin A-Induced Liver Injury in Mice Mainly Via Inhibiting TNF-Alpha Production and Lymphocyte Adhesion to Extracellular Matrices. *J Pharm.Pharmacol.*, 56, 6, 775-782.
- [48] Wu, X.F.; Fei, M.J.; Shu, R.G.; Tan, R.X.; Xu, Q. (2005): Fumigaclavine C, an Fungal Metabolite, Improves Experimental Colitis in Mice Via Downregulating Th1 Cytokine Production and Matrix Metalloproteinase Activity. *Int.Immunopharmacol.*, 5, 10, 1543-1553.
- [49] Ingber, D.; Fujita, T.; Kishimoto, S.; Sudo, K.; Kanamaru, T.; Brem, H.; Folkman, J. (1990): Synthetic Analogues of Fumagillin That Inhibit Angiogenesis and Suppress Tumour Growth. *Nature*, 348, 6301, 555-557.
- [50] Lalitkumar, P.G.; Sengupta, J.; Dhawan, L.; Sharma, D.N.; Lasley, B.L.; Overstreet, J.W.; Ghosh, D. (2000): Anti-nidatory effect of vaginally administered fumagillin in the rhesus monkey. *Contraception.* 62(3):155-9.
- [51] Westwood, C.T.; Lean, I.J.; Garvin, J.K. (2002): Factors influencing fertility of Holstein dairy cows: a multivariate description. *J Dairy Sci.* 85(12):3225-37.
- [52] Spiekers, H.; Mues, N. (2002): Prüfung von Milchsäurebakterien in Grassilage, Riswicker Ergebnisse 3/2002; Versuchsbericht 89 Seiten
- [53] Steinke, K. (2009): Langfristiger Einsatz von gentechnisch verändertem Mais (Mon 810) in der Milchviehfütterung im Hinblick auf Leistungs- und Stoffwechselfparameter, Fruchtbarkeit und Tiergesundheit; Dissertation agr., TUM, Freising, in Vorbereitung
- [54] Preissinger, W.; Obermaier, A.; Spiekers, H. (2006): Auswirkungen gestaffelter Strukturwerte (Häcksellänge von Maissilage, Kraftfutterzusammensetzung) bei der Milchkuh; in: Forum angewandte Forschung 04/2006, Fulda, 35-41
- [55] Richter, W.; Spiekers, H.; Zehner, M. (2006): Gärqualität unterschiedlicher Häcksellängen bei Silomais; 117.-VDLUFA Kongress VDLUFA, Schriftenreihe, 61, 152-158
- [56] Rauch, P; Spiekers, H. (2008): BÖL-Projekt „Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Milchkühen im ökologischen Landbau interdisziplinär betrachtet“ – AP 4 Praxisdatenauswertung Fütterung – vorläufige Ergebnisse

11 Anhang

Anhang 1

Silierprotokoll für: GRAS - Silagen

Landwirt: Strasse:
 Tel.-Nr.: PLZ, Wohnort:
 Zuständiges Amt: BALIS-Betriebs-Nr.:

I. Angaben zur Silierung:

Schnitt:		Erntetermin:	
		..	
Schnittzeitpunkt:	<input type="checkbox"/> Blattstadium	<input type="checkbox"/> Schossen	<input type="checkbox"/> Rispen- schieben
			<input type="checkbox"/> Beginn Blüte
			<input type="checkbox"/> Blüte
Feldperiode:	Tage	Regen:	<input type="checkbox"/> ja
			<input type="checkbox"/> nein
Silierdauer:	Std. bis zur Abdeckung		
Erntetechnik:	<input type="checkbox"/> Häcksler Selbstfahrer	<input type="checkbox"/> Ladewagen	mit Messer
	<input type="checkbox"/> Häcksler gezogen		
Häcksel- /Schnittlänge:	mm	Schnitthöhe:	cm
Verdichtung:	<input type="checkbox"/> Schlepper	.....t	Gewicht
	<input type="checkbox"/> Radlader	.....t	Gewicht
Siliermittel:	<input type="checkbox"/> ohne	<input type="checkbox"/> EM	
	<input type="checkbox"/> Harnstoff	<input type="checkbox"/> Milchsäure- bakterien	..... Produkt
		<input type="checkbox"/> chem. SM	..... Produkt
			..

II. Angaben zur Silomiete:

Siloart:	<input type="checkbox"/> Traunsteiner	<input type="checkbox"/> Flachsilo	<input type="checkbox"/> Behelfssilo	
	Höhe m	Breite m	Länge m	Volumen..... m ³
Befestigter Boden:	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	Seitenwände:	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0
Abdeckung:	Zeitraum..... Std. zwischen Ende Silierung und Abdeckung			
Folien:	<input type="checkbox"/> Randfolie	<input type="checkbox"/> Unterziehfolie	<input type="checkbox"/> normale Folie	<input type="checkbox"/> Multisilofolie <input type="checkbox"/> alte 2. Folie
Beschwerung:	<input type="checkbox"/> Reifen	<input type="checkbox"/> Sand	<input type="checkbox"/> Matten	<input type="checkbox"/> Sonstige:
	<input type="checkbox"/> Silosäcke	<input type="checkbox"/> Netz		

III. Entnahme der Silage

Silo geöffnet am:	.....	Vorschub:	..... m / Woche
Entnahme:	<input type="checkbox"/> Fräse	<input type="checkbox"/> Blockschneider	<input type="checkbox"/> Schneidzange
	<input type="checkbox"/> Reißkamm	<input type="checkbox"/> Greifschaukel	<input type="checkbox"/> Frontladerschaukel
Aufdeckung der Miete:	<input type="checkbox"/> 0,50 m	<input type="checkbox"/> 1,00 m	<input type="checkbox"/> 1,50 m <input type="checkbox"/> > 1,50 m
Schimmelbildung:	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> seitlich	<input type="checkbox"/> oben <input type="checkbox"/> nesterweise
Hygiene am Silo:	<input type="checkbox"/> saubere, gekehrte Siloplatte <input type="checkbox"/> vereinzelt Siloreste auf der Siloplatte <input type="checkbox"/> größere Mengen an Siloresten auf der Siloplatte		

IV. Anmerkungen

Herausgeber:

LfL; ITE; in Zusammenarbeit mit
Landwirtschaftsamt Schwandorf/Nabburg Konrad Wagner
Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe Dr Martin Pries,
Stand 12.05.05

Anhang 2

Silierprotokoll für: MAIS - Silagen

Landwirt: Strasse:
 Tel.-Nr.: PLZ, Wohnort:
 Zuständiges Amt: BALIS-Betriebs-Nr.:

I. Angaben zur Silierung:

Erntetermin:			
Kornabreife:	<input type="checkbox"/> milchig, teigförmig	40 % TM	
	<input type="checkbox"/> teigartig, ohne Saftaustritt	45 % TM	
	<input type="checkbox"/> Korn teilweise fest	50 % TM	
	<input type="checkbox"/> Korn überwiegend fest	55 % TM	
	<input type="checkbox"/> Korn hart	60 % TM	
Regen:	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
Silierdauer:	Std. bis zur Abdeckung		
Erntetechnik:	<input type="checkbox"/> Häcksler Selbstfahrer <input type="checkbox"/> Häcksler gezogen		
Häckselänge:	mm	Schnitthöhe:	cm
Verdichtung:	<input type="checkbox"/> Schlepper .....t Gewicht <input type="checkbox"/> Radlader .....t Gewicht		
Siliermittel:	<input type="checkbox"/> ohne <input type="checkbox"/> Harnstoff		
	<input type="checkbox"/> EM		
	<input type="checkbox"/> Milchsäurebakterien	.....	Produkt
	<input type="checkbox"/> chem. SM	.....	Produkt

II. Angaben zur Silomiete:

Siloart:	<input type="checkbox"/> Traunsteiner	<input type="checkbox"/> Flachsilo	<input type="checkbox"/> Behelfssilo	
	Höhe	Breite	Länge	Volumen
	m	m	m	m ³
Befestigter Boden:	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	Seitenwände:	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0
Abdeckung:	Zeitraum..... Std. zwischen Ende Silierung und Abdeckung			
Folien:	<input type="checkbox"/> Randfolie	<input type="checkbox"/> Unterziehfolie	<input type="checkbox"/> normale Folie	<input type="checkbox"/> Multisilofolie <input type="checkbox"/> alte 2. Folie
Beschwerung:	<input type="checkbox"/> Reifen	<input type="checkbox"/> Sand	<input type="checkbox"/> Matten	
	<input type="checkbox"/> Silosäcke	<input type="checkbox"/> Netz	<input type="checkbox"/> Sonstige:	

III. Entnahme der Silage

Silo geöffnet am:	Vorschub: m / Woche			
Entnahme:	<input type="checkbox"/> Fräse	<input type="checkbox"/> Blockschneider	<input type="checkbox"/> Schneidzange	
	<input type="checkbox"/> Reißkamm	<input type="checkbox"/> Greifschaufel	<input type="checkbox"/> Frontlader- schaufel	
Aufdeckung der Miete:	<input type="checkbox"/> 0,50 m	<input type="checkbox"/> 1,00 m	<input type="checkbox"/> 1,50 m	<input type="checkbox"/> > 1,50 m
Schimmelbildung:	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> seitlich	<input type="checkbox"/> oben	<input type="checkbox"/> nesterweise
Hygiene am Silo:	<input type="checkbox"/> saubere, gekehrte Siloplatte <input type="checkbox"/> vereinzelt Siloreste auf der Siloplatte <input type="checkbox"/> größere Mengen an Siloresten auf der Siloplatte			

IV. Anmerkungen

Herausgeber:
LfL; ITE; in Zusammenarbeit mit
Landwirtschaftsamt Schwandorf/Nabburg Konrad Wagner
Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe Dr Martin Pries,
Stand 12.05.05

Anhang 3

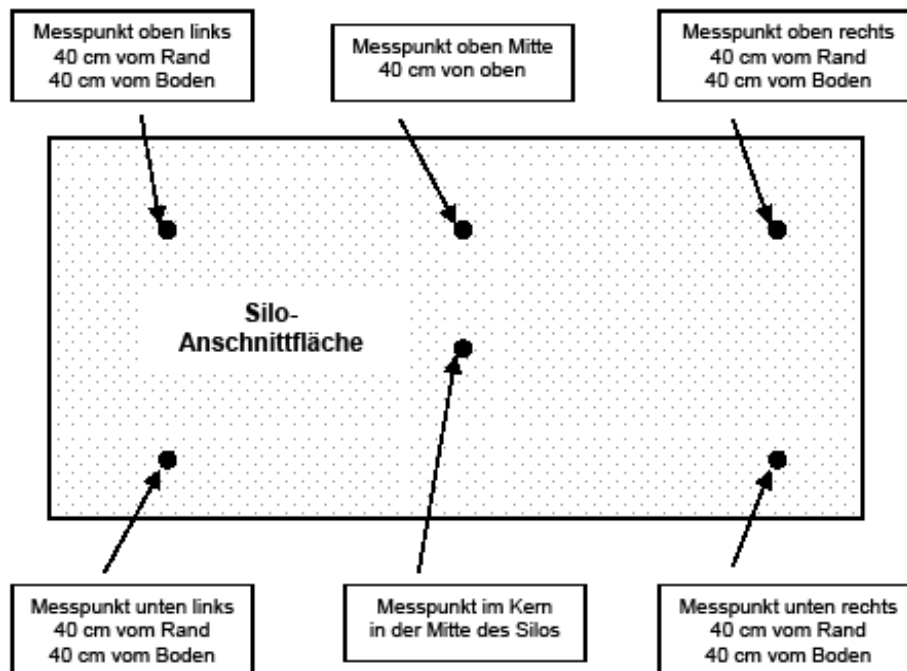
Controlling am Silo - Messprotokoll

Temperaturmessung an der Anschnittfläche des Silos

Messungen:

- Beginn: mindestens 2 Wochen nach Verfütterungsbeginn
- Gemessen werden Außentemperatur und 6 Messpunkte im Silo.
- Jeder Messpunkt ist in zwei Einstichtiefen zu erfassen: a) 40 cm und b) 100 cm

Messpunkte siehe Skizze: (Messung erfolgt durch LOP)

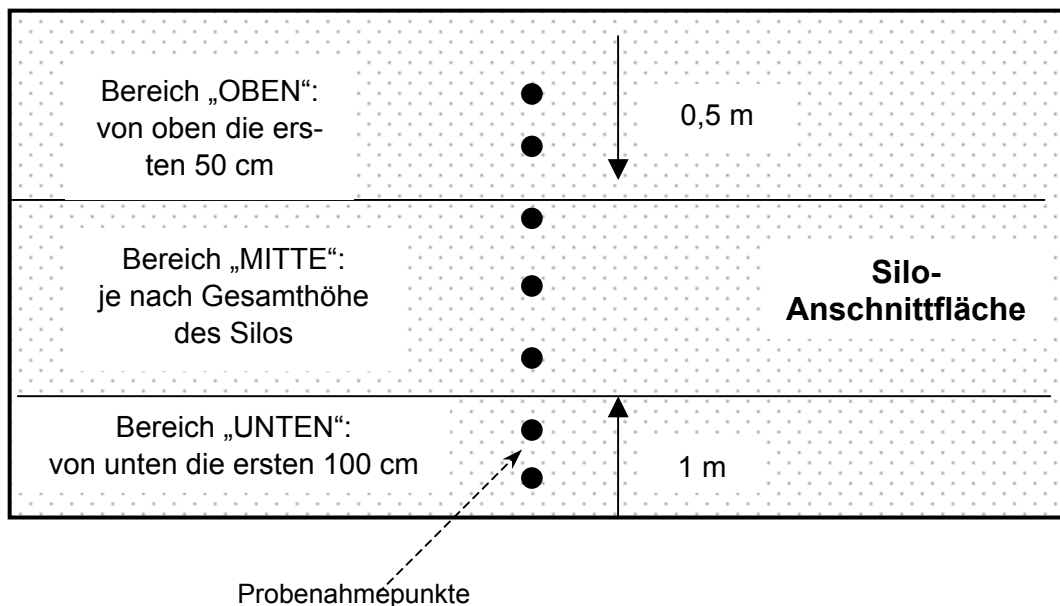


Datum	Außen-temp.	Mess-tiefe	SILO					
			oben links	oben Mitte	oben rechts	im Kern	unten links	unten rechts
		40 cm						
		100 cm						
		40 cm						
		100 cm						
		40 cm						
		100 cm						
		40 cm						
		100 cm						

Anhang 4

Probenahme zur Bestimmung der DichtelagerungProbenahme:

- Probenahme mittels Bohrzylinder
- Im oberen Bereich der ersten 50 cm sind zwei Bohrungen durchzuführen.
- Im unteren Bereich, der unteren 100 cm, ebenfalls zwei Bohrungen.
- Gesamthöhe des Silos > 250 cm und damit der mittlere Bereich > 100 cm
⇒ 3 Bohrungen für die Mitte
- Gesamthöhe des Silos bis zu 250 cm und damit der mittlere Bereich – 100 cm
⇒ 2 Bohrungen für die Mitte

Probenahmepunkte (siehe Skizze):Ermittlung der Dichte:

1. Volumen (m^3) der Bohrung über Innendurchmesser des Bohrzylinders und der Bohrtiefe ermitteln.

$$\text{Volumen} = r^2 \pi \cdot t$$

r = Innenradius des Bohrzylinders (9,2 cm)

π = ca. 3,14

t = Bohrtiefe

2. Gewicht der, mittels Bohrzylinder, entnommenen Silage messen.
3. Dichte pro m^3 für die jeweilige Bohrung errechnen:

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Gewicht der entnommenen Silage in kg}}{\text{Volumen der Bohrung in } m^3}$$

4. Die Dichte für den jeweiligen Bereich, Oben, Mitte und Unten ergibt sich über den Durchschnitt bzw. Mittelwert der Dichten für die einzelnen Bohrungen.

Ergebnisse zur Bestimmung der Dichtelagerung:

	Silo-Bereich			GESAMT
	OBEN	MITTE	UNTEN	
Datum:				
Dichte, kg Silage/m ³				
TM-Gehalt, %				
Dichte, kg TM/m ³				
Datum:				
Dichte, kg Silage/m ³				
TM-Gehalt, %				
Dichte, kg TM/m ³				
Datum:				
Dichte, kg Silage/m ³				
TM-Gehalt, %				
Dichte, kg TM/m ³				
Datum:				
Dichte, kg Silage/m ³				
TM-Gehalt, %				
Dichte, kg TM/m ³				

Anlage 5



Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft

Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft



Controlling am Silo

- Ermittlung der **Temperatur**
- Ermittlung der **Dichte**

Die **Temperatur** an der Anschnittfläche kann mit einer Wärmebildkamera ermittelt werden.

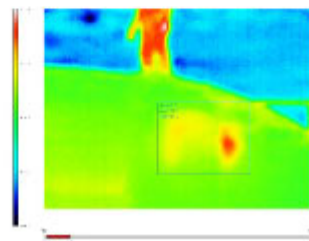


Bild der Wärmebildkamera

Die Temperaturermittlung in die Tiefe, bis zu 1 m, wird mit einer Temperatursonde durchgeführt.



Temperatursonde

Ermittlung der Dichte in verschiedenen Bereichen mit einem Bohrzylinder

- Feststellung des Gewichts der mittels Bohrzylinder entnommenen Silage
- Berechnung des Volumens über Innendurchmesser des Bohrzylinders und Bohrtiefe
- Ermittlung der Dichte mit folgender Formel:

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Gewicht der entnommenen Silage}}{\text{Volumen in m}^3} \text{ in kg FM / m}^3$$



Bereich „OBEN“: von oben die ersten 50 cm	●	0,5 m
Bereich „MITTE“: je nach Gesamthöhe des Silos	●	2 m
Bereich „UNTEN“: von unten die ersten 100 cm	●	1 m

Silo-Anschnittfläche