

# Sensorentwicklung zur Objektivierung der Silage-Qualitätseinstufung

*Die Silagequalität beeinflusst nicht nur die Leistung und den Gesundheitszustand von Rindern, sondern unterliegt seit dem 1. Januar 2006 auch der europäischen Futtermittelhygieneverordnung im Sinne des Verbraucherschutzes. Zur Qualitätsbewertung von Silage soll ein Chemosensor auf seine Eignung untersucht werden. Erste Messreihen wurden im Labor am Institut für Landtechnik der Universität Bonn durchgeführt.*

Dipl.-Ing. agr. Jessica Henseler und Dipl.-Phys. Torsten Haas sind wissenschaftliche Mitarbeiter, Dr. agr. Andrea Wagner und Dr. rer. nat. Peter Boeker sind Privatdozenten am Institut für Landtechnik der Universität Bonn. Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn; e-mail: [jessica.henseler@uni-bonn.de](mailto:jessica.henseler@uni-bonn.de)

## Schlüsselwörter

Elektronische Nase, Qualitätssicherung, Silagequalität, Geruch

## Keywords

Electronic nose, quality assurance, quality of silage, odour

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07601 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Konservierung von Grobfutter (Halmfutter) in der Rinderhaltung dient dem stabilen Schutz der Futtermittel vor dem Verderb, ebenso wie dem weitgehenden Erhalt der Futterwertigenschaften vom Feld bis zum Trog. Die Silagequalität wird üblicherweise zum Zeitpunkt der Siloöffnung bewertet („Silierierfolg“). Die Bewertung der Silagequalität erfolgt dabei nach einem Punktesystem in Abhängigkeit vom Gehalt der unerwünschten Inhaltsstoffe Butter- und Essigsäure und bezieht zusätzlich den pH-Wert mit ein [1]. Es wird empfohlen, diese Untersuchungen durch eine sensorische Bewertung zu ergänzen [2]. Anhand der qualitativen Bewertung über die menschliche Sinneswahrnehmung wird die Silage je nach Geruch, Farbe und Gefüge eingestuft. Bei der sensorischen Beurteilung werden Qualitätsabzüge vorgenommen.

Bei der Gärung werden verschiedene flüchtige Komponenten gebildet, die als Geruchsstoffe wahrgenommen werden können [3]. Die Messung flüchtiger, also gasförmig vorliegender Verbindungen kann analytisch über die Gaschromatographie und Massenspektrometrie sowie deren Kopplung erfolgen. Der messtechnische Aufwand ist jedoch sehr hoch, erfordert geschultes Personal und viel Erfahrung bei der Datenauswertung.

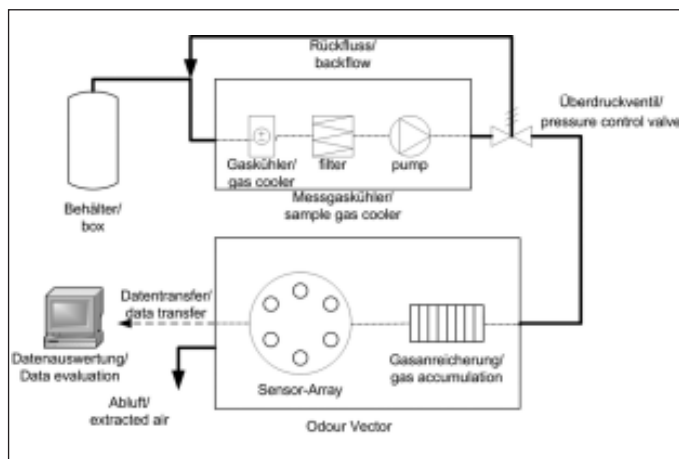
Alternativ können Gaszusammensetzungen mit elektronischen Sensorsystemen gemessen werden. In Form von Sensor-Arrays werden mehrere Sensoren unterschiedlichen

Typs zugleich verwendet, um einen hohen Informationsgehalt zu erzielen. Methodisch abgeleitet wurde das Konzept der Sensor-Arrays aus der Funktionsweise des Geruchssinnes, der ebenfalls die Daten einer begrenzten Anzahl von Riechsinneszellen zur Gewinnung von komplexen Geruchseindrücken verwertet. Ein am Institut für Landtechnik der Universität Bonn entwickeltes applikationsspezifisches Online-Geruchsmessverfahren (OdourVector) wurde bereits in verschiedenen Untersuchungen erfolgreich eingesetzt [4].

Ziel der eigenen Untersuchungen war daher die Überprüfung der Eignung eines Chemosensors zur Messung der Qualitätskenngrößen (Silierierfolg, Verderb) von Silagen. Als Substrat für erste Vorversuche wurde Weizen-Ganzpflanzensilage (GPS) aufgrund der zu erwartenden Homogenität des Materials ausgewählt. Das Ausgangsmaterial wurde mit biologischem Siliermittel versetzt (Variante A = homofermentative Milchsäurebakterien, Umsetzung löslicher Pflanzenzucker zu Milchsäure; Variante B = heterofermentative Milchsäurebakterien, Hauptprodukt Milchsäure, zusätzlich Ethanol, Essigsäure; Variante C = Kontrollgruppe) und in 1,5 Liter-Gläsern (n = 3) einsiliert. Die Gläser wurden im Verlauf der Fermentation sowie der Lagerung zu festgelegten Zeitpunkten (28. Tag, 42. Tag, 49. Tag, 56. Tag, 90. Tag) geöffnet. Es erfolgte eine nasschemische Analyse des Konservats hin-

*Bild 1: Aufbau des Messprinzips für die Messung der Silagequalität mit dem elektronischen Geruchsmesssystem (OdourVector)*

*Fig. 1: Principle of measuring silage quality, using the electronic odour measurement system (OdourVector)*



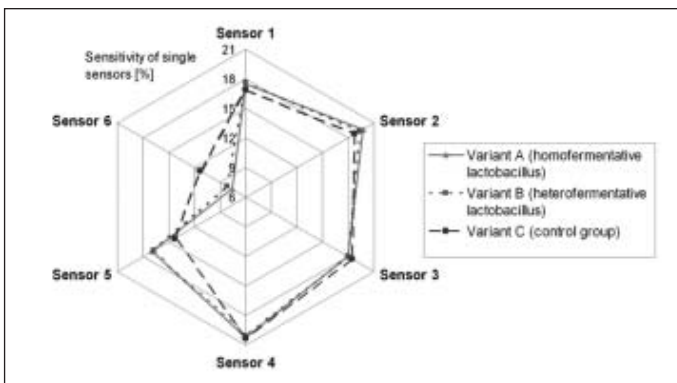


Bild 2: Empfindlichkeit der einzelnen Sensoren des OdourVectors bezogen auf Ganzpflanzensilage verschiedener Behandlungsvarianten am 56. Tag nach Einsilierung

Fig. 2: Sensitivity of single sensors of the OdourVector relating to whole crop silage in various conditioning variants 56 day after ensiling

sichtlich der Gärqualität (Standardmethoden) sowie zusätzlich hinsichtlich flüchtiger Säuren. Die Proben wurden parallel mit dem Messsystem OdourVector gemessen, um aus dem Signalmuster der unterschiedlichen Sensoren Auswertestrategien im Hinblick auf den Siliererfolg und die geruchlichen Eigenschaften zu erhalten.

### Das Messsystem OdourVector

Zur Untersuchung mit dem OdourVector wird das Substrat in einen geschlossenen Glasbehälter gegeben, der über einen Gas Schlauch mit einem Messgaskühler verbunden ist (Bild 1). Die Gase werden durch eine Pumpe über einen Filter an das eigentliche Messsystem, den OdourVector, weitergeleitet. In einer im OdourVector befindlichen Gasanreicherung werden die flüchtigen Stoffe akkumuliert und nachfolgend im Sensor-Array gemessen.

Der OdourVector besteht aus einem Sensormodul mit dem Sensortyp Quartz-Micro-Balance (QMB). Dieser weist sechs integrierte Schwingquarze mit unterschiedlich gassensitiven Beschichtungen auf, die auf unterschiedliche organische Zielgase reagieren. Durch Absorption der Gasmoleküle in den Sensorschichten kommt es zu einer Frequenzveränderung, die als Sensorsignal ausgewertet wird [4].

Bei der Musterfindung sollen Zusammenhänge oder Unterschiede zwischen den einzelnen Proben gefunden werden. Die Signalstärke der einzelnen Sensoren folgt aus der chemischen Zusammensetzung der gemessenen Proben. Als Methode der Musterfindung wird bei diesem Versuch die Hauptkomponentenanalyse (principal component analysis, PCA) verwendet [4].

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Gasmessungen werden zum einen anhand der prozentualen Auslastung der Sensoren in Form von Netzdiagrammen analysiert. Die Netzdiagramme dienen dazu, die Empfindlichkeit (relative Auslastung aus der Summe der Signalstärken) der jeweiligen Sensoren auf die aus der Silageprobe gesogenen Gase anzuzeigen. Über die unterschiedlichen Sensorsignale

können Rückschlüsse auf die Gaszusammensetzung gezogen werden. In Bild 2 ist die Auswertung der Untersuchungen der GPS Varianten (A, B, C) vom 56. Tag in einem Netzdiagramm beispielhaft dargestellt. Es fällt auf, dass sich die mit Siliermittel behandelten Varianten bezüglich der Empfindlichkeit der einzelnen Sensoren kaum unterscheiden, während die Kontrollgruppe Differenzen bei Sensor 5 und 6 aufweist. Für Sensor 6 ist über alle Varianten eine geringe prozentuale Empfindlichkeit festzustellen, wohingegen die übrigen Sensoren eine annähernd gleiche Auslastung zeigen.

Auch in den absoluten Signalstärken konnten Unterschiede festgestellt werden. Besonders sind hier die Sensoren 5 und 6 zu nennen, die sich von den übrigen vier unterscheiden (30 bis 40 Hz). Die Sensoren 1 bis 4 wiesen ähnliche Signalstärken auf (60 bis 80 Hz).

Die mathematische Auswertung der Gasmessung (PCA) dient einer späteren Klassifizierung von Silagen, anhand derer ein Qualitätszustand „erkennbar“ sein könnte. Die Ergebnisse der PCA für das beschriebene Beispiel lassen eine Gruppierung der verschiedenen Varianten zu, die in Bild 3 mit Ellipsen gekennzeichnet sind.

In Ellipse 1 sind die Messergebnisse der Kontrollgruppe (C) gekennzeichnet. Die nasschemischen Analysen ergaben hierfür einen Gehalt an Milchsäure von 4,6 % der TM, an Essigsäure von 0,7 % der TM und an Ethanol von 0,7 % der TM. Variante B (Ellipse 2) weist einen vergleichsweise höheren Essigsäuregehalt von 2,5 % der TM auf. Weiterhin ist der Propionsäuregehalt höher als bei den übrigen GPS Varianten. Der Ethanolgehalt weist 0,6 % der TM auf. Es kann

festgestellt werden, dass ein höherer Anteil flüchtiger Fettsäuren zu einer Häufung der Punktwolken im rechten Teil der PCA führt. In diesem Fall handelt es sich um n-Propanol, 2,3 Butandiol und 1,2 Propandiolgehalt. In Ellipse 3 liegen Varianten aller drei Probengruppen mit einem Milchsäuregehalt von 4 % der TM und einem Essigsäuregehalt von unter 1 % der TM.

Obwohl die dargestellten GPS-Proben nach DLG-Schlüssel [1] durchweg mit „sehr gut“ beurteilt wurden, konnte über die sensorische Messung mit dem OdourVector ein Unterschied zwischen den behandelten Varianten und der Kontrollgruppe festgestellt werden.

Über den zeitlichen Verlauf der Untersuchungen konnte mit zunehmender Lagerungsdauer der Silagen weiterhin eine Erhöhung der Signalstärken von anfänglich 20 Hz bis maximal 300 Hz gemessen werden.

### Fazit

In ersten Untersuchungen sollte die Eignung eines Chemosensorsystems zur Bewertung von Silagequalität geprüft werden. Dabei konnten chemische Unterschiede in den Proben mit dem OdourVector nachgewiesen werden. Die flüchtigen Fettsäuren der Silagen, besonders die Milch- und Essigsäure, aber auch Ethanol, n-Propanol, 2,3 Butandiol sowie 1,2 Propandiol bewirken ein unterschiedliches Muster in der PCA. Es ist aufgefallen, dass der OdourVector auf Säuren reagiert, die auch im DLG-Schlüssel [1] von Bedeutung sind. Hierbei ist vor allem die Essigsäure zu nennen. Obwohl Essigsäure nur geringfügig in der Silage vorkam, konnte zwischen den verschiedenen Gehalten unterschieden werden. Eine Mustererkennung für die Gärparameter der Silage war noch nicht möglich. Eine Ursache dafür könnte in den geringen Qualitätsunterschieden zwischen den Silage-Varianten liegen.

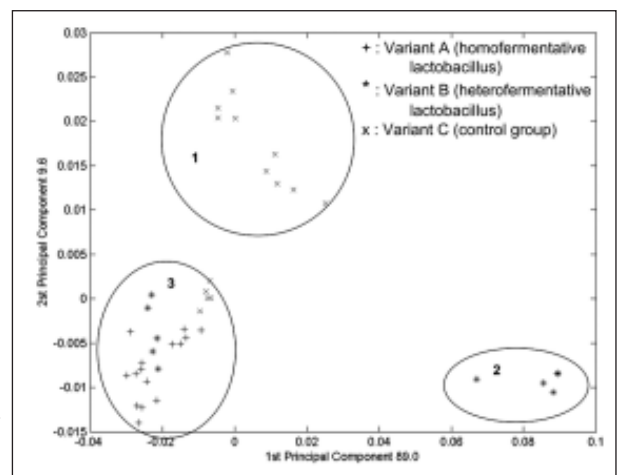


Bild 3: Mustererkennung anhand eines Messergebnisses (PCA) des OdourVectors für die Analyse von Ganzpflanzensilage

Fig. 3: Pattern recognition of an OdourVector measurement result (PCA) for analysis of whole crop silage