

- [ 4 ] *Kühlborn, H.*: Fahrgeschwindigkeiten und Getriebebestufungen der Ackerschlepper. Landtechnik Bd. 25 (1970) Nr. 7, S. 202/208.
- [ 5 ] *Renius, K.Th.*: Festlegung der Getriebeabstufung von Ackerschleppern nach Fahrgeschwindigkeitskollektiven. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 1, S. 7/15.
- [ 6 ] *Biller, R.*: Ermittlung von Gesamt-Lastkollektiven für Ackerschlepper. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 1, S. 16/22.
- [ 7 ] *Söhne, W. u. I. Bolling*: Der Einfluß der Lastverteilung auf die Triebkraft-Schlupf-Kurve von Ackerschleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 81/85.
- [ 8 ] *Steinkampf, H.*: Problematik der Leistungsumwandlung über die Triebräder bei leistungsstarken Traktoren. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 5, S. 168/72.
- [ 9 ] *Steiner, M.*: Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraftschlupfkurve von Luftreifen auf nachgiebigem Boden. Diss. TU München 1979.
- [ 10 ] *Renius, K.Th.*: European 4 WD: Are technical advantages profitable? 1979 ASAE-Winter Meeting, New Orleans, LA. ASAE-Paper No. 79-1555.
- [ 11 ] *Ehrlinger, F. u. R. Carlson*: Improved economy and mobility in FWD axles. International Off Highway Meeting & Exposition 1982. SAE-Paper No. 821064 (1982).
- [ 12 ] *Krause, R.*: Die Zuordnung von Schlepper und Pflug. Grundl. Landtechnik Bd. 16 (1966) Nr. 6, S. 229/35.
- [ 13 ] *Miner, M.A.*: Cumulative damage in fatigue. Journal of Applied Mechanics 12 (1945).
- [ 14 ] *Haibach, E.*: Modifizierte lineare Schadensakkumulations-Hypothese zur Berücksichtigung des Dauerfestigkeitsabfalles mit fortschreitender Schädigung. Technische Mitteilungen: Laboratorium für Betriebsfestigkeit TM-Nr. 50/70.

## Feuchtgetreidekonservierung durch chemische Zusätze

Von Andreas Lotz, Stuttgart-Hohenheim\*)

DK 633.16:636.084:664.8.035

Feucht geerntetes Futtergetreide kann außer mit den gängigen Konservierungsverfahren der Trocknung, Kühlung und gasdichten Lagerung auch durch chemische Zusätze haltbar gemacht werden. Hierbei kommt der Einsatz von Propionsäure und Harnstoff in Frage; andere Konservierungsstoffe, abgesehen von Silierhilfsmitteln, werden in absehbarer Zeit keine Bedeutung bei der Feuchtgetreidekonservierung erlangen. Organische Säuren, beispielsweise Propionsäure, lassen sich zur einfacheren Handhabung an Tonmineralien fixieren. In Konservierungsversuchen wurden trägerstoffgebundene Propionsäure und feines Harnstoffgranulat zur Feuchtgetreidekonservierung eingesetzt. Niedrige Aufwandsmengen und eine gleichmäßige Verteilung des Harnstoffs im Futtermittel machen die Harnstoffkonservierung ökonomisch interessant und können Bedenken seitens der Tierernährung gegen dieses Verfahren ausräumen.

### 1. Einleitung

Feucht geerntete Körnerfrüchte werden derzeit vorwiegend durch die investitionsintensiven Verfahren der Trocknung, Kühlung und gasdichten Lagerung haltbar gemacht. Die Zunahme der innerbetrieblichen Getreideverwertung und steigende Energiekosten haben in den letzten Jahren zu einer verstärkten Suche nach energieunabhängigen und betriebsgrößenneutralen Konservierungsverfahren geführt [1 bis 4].

Für die Haltbarmachung von Futtergetreide und anderen Futtermitteln bietet sich die chemische Konservierung an. Hierbei hat die Propionsäure Bedeutung erlangt, in früheren Untersuchungen wurden auch andere organische Säuren und deren Salze auf ihre Eignung zur Feuchtgetreidekonservierung überprüft [5 bis 8]. Die Konservierung mit Propionsäure ist in landwirtschaftlichen Betrieben bislang wenig verbreitet; in der Futtermittelindustrie werden

Propion- und auch Sorbinsäure dagegen häufig eingesetzt. In neuerer Zeit wird auch die Konservierung durch Ammoniakbe-gasung oder Harnstoffzusatz untersucht, insbesondere in osteuropäischen Ländern erprobt man die Harnstoffkonservierung von Feuchtgetreide im technischen Maßstab [9 bis 13].

Hin und wieder gelangen neue Mittel zur Schimmelpilzbekämpfung auf den Markt, derzeit beispielsweise werden trägerstofffixierte organische Säuren zur Haltbarmachung von Feuchtgetreide und Mischfutter angeboten [14]. Andere aus der Lebensmitteltechnologie bekannte Zusatzstoffe sind ebenfalls für den Einsatz bei der Feuchtgetreidekonservierung denkbar, obgleich Futtermittel und Lebensmittel unterschiedliche Anforderungen an die Konservierungsstoffe stellen [15 bis 17].

Die chemische Konservierung von Maiskolbenprodukten ist in europäischen Ländern weniger interessant, da hohe Erntefeuchten höhere Aufwandsmengen an Konservierungsmittel und somit hohe variable Kosten verursachen. Dieser Beitrag beschränkt sich daher auf die chemische Konservierung von Feuchtgetreide.

### 2. Aufgabenstellung

Die Konservierung durch Zusatz von Propionsäure ist in der landwirtschaftlichen Praxis bereits eingeführt, die Anwendung anderer chemischer Zusätze befindet sich im Versuchsstadium. An den Anfang einer systematischen Untersuchung der Möglichkeiten einer Konservierung durch chemische Zusätze müssen Vorüberlegungen zur Konservierung gestellt werden, um das Spektrum der für Versuche in Frage kommenden Stoffe einzuengen. In diese Überlegungen gehen insbesondere Erkenntnisse aus der Lebensmitteltechnologie und Mikrobiologie ein. Im weiteren wird anhand des einschlägigen Schrifttums der bisherige Kenntnisstand zu aussichtsreichen Konservierungsstoffen dargelegt.

Soweit zur Beurteilung dieser Stoffe der bisherige Kenntnisstand Lücken aufweist, wurden im Rahmen von Untersuchungen zu verschiedenen neuen Konservierungsverfahren zur Erntezeit im Sommer 1982 Versuche mit Wintergerste angesetzt. Dabei wurden die Konservate visuell, durch Temperaturmessungen und durch Ermittlung der mikrobiologischen Keimzahl beurteilt.

Anhand der Ergebnisse sollen Hinweise für zukünftige Untersuchungen zur Weiterentwicklung der chemischen Feuchtgetreidekonservierung gegeben werden.

\*) *Dipl.-Lebensmittel-Technologe A. Lotz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Tierproduktion und landwirtschaftliches Bauwesen (Leiter: Prof. Dr. Th. Bischoff) der Universität Hohenheim*

### 3. Vorüberlegungen

Feuchtkonservierungsverfahren und -stoffe bewirken eine pH-Wert-Verschiebung des eingelagerten Gutes. Dabei kann der pH-Wert erhöht (z.B. Konservierung mit Ammoniak) oder erniedrigt werden (z.B. Konservierung mit Propionsäure, gasdichte Lagerung). Durch diese pH-Wert-Verschiebung werden für die den Verderb des Lagergutes verursachenden Mikroorganismen ungünstige Bedingungen geschaffen. Schimmelpilze sind jedoch gegen eine pH-Wert-Erniedrigung weitgehend unempfindlich. Soll die Konservierung des Futtermittels durch pH-Wert-Erniedrigung bewirkt werden, so muß das Wachstum von Schimmelpilzen entweder durch anaerobe Lagerung (z.B. Silierung) oder bei aerober Lagerung durch die antimykotische Wirkung des Konservierungsstoffes (z.B. Konservierung mit Propionsäure) verhindert werden.

Als Konservierungsmittel werden häufig organische Säuren eingesetzt, die eine pH-Wert-Erniedrigung bewirken. Sie besitzen ihre konservierende Wirkung nur im undissoziierten Zustand. Aus diesem Grunde begünstigt ein niedriger pH-Wert des Gutes die konservierende Wirkung der Säure. Erntefrische Körnerfrüchte weisen jedoch einen pH-Wert von 6,5–7,0 auf, daher zeigen viele organische Säuren und insbesondere die Salze von organischen Säuren bei Körnerfrüchten nur eine geringe konservierende Wirkung (z.B. Benzoesäure, Benzoate, Ameisensäure, Essigsäure, Sorbate, Propionate).

Sorbinsäure und Propionsäure besitzen eine spezifische wachstumshemmende Wirkung auf Schimmelpilze. Aufgrund ihrer niedrigen Dissoziationskonstante können sie auch zur Konservierung von Futter- und Lebensmitteln im neutralen Bereich herangezogen werden. Sorbinsäure wird wegen seiner Geschmacksneutralität vorwiegend zur Lebensmittelkonservierung verwendet; Propionsäure ist kostengünstiger und kommt daher zur Konservierung von erntefrischen Körnerfrüchten zum Einsatz. In anderen Anwendungsbereichen wird häufig 4-Hydroxybenzoesäureester zur Konservierung verwendet. Dieser Stoff besitzt auch im neutralen Bereich eine fungistatische Wirkung und ist hoch wirksam. Er bereitet jedoch aufgrund seiner geringen Wasserlöslichkeit bei der Feuchtgetreidekonservierung Applikationsprobleme.

Konservierungsstoffe, die eine pH-Wert-Erhöhung verursachen, insbesondere Ammoniak und Harnstoff, wirken stark fungizid und können eine detoxifizierende Wirkung auf mykotoxinbefallene Getreidepartien ausüben. Insbesondere die Harnstoffkonservierung ist verfahrenstechnisch einfach zu gestalten.

### 4. Chemische Zusätze zur Konservierung von Körnerfrüchten

#### 4.1 Bisheriger Kenntnisstand

##### 4.1.1 Aussichtsreiche Konservierungsstoffe

Um feucht geerntetes Getreide lagerfähig zu machen, erscheint der Zusatz von Propionsäure oder Sorbinsäure, von trägerstofffixierter Propionsäure und von Ammoniak oder Harnstoff interessant.

In umfangreichen Untersuchungen konnte die prinzipielle Eignung der Propionsäure zur Konservierung feuchter Körnerfrüchte und deren Überlegenheit gegenüber anderen organischen Säuren nachgewiesen werden [18]. Es wurden die Aufwandsmengen an Propionsäure in Abhängigkeit von Lagerdauer und Kornfeuchte ermittelt. In Bild 1 ist die von verschiedenen Autoren ermittelte Säurekonzentration in Abhängigkeit von der Kornfeuchte für 6monatigen Lagerschutz zu sehen [19]. Laborversuche zeigten, daß bei gleichmäßiger Applikation der Propionsäure geringere als die derzeit empfohlenen Aufwandsmengen ausreichen können.

Sorbinsäure liegt im Gegensatz zur flüssigen Propionsäure als kristallines Pulver vor. Als Feststoff dem Feuchtgetreide untergemischt, zeigte Sorbinsäure eine schlechtere konservierende Wirkung als Propionsäure; wurde Sorbinsäure in alkoholischer Lösung appliziert, war sie der Propionsäure überlegen [6, 18]. Applikationsprobleme und ökonomische Vorüberlegungen deuten insgesamt auf eine Unterlegenheit der Sorbinsäure gegenüber Propionsäure zur Feuchtgetreidekonservierung hin.

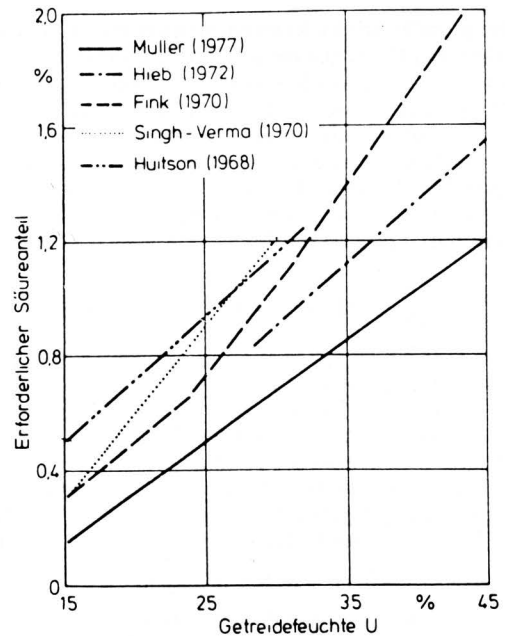


Bild 1. Erforderlicher Propionsäureanteil zur Lagerung von Körnerfrüchten (6 Monate Lagerzeit) in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Getreides; nach Müller [19].

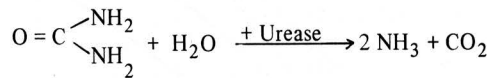
Seit kurzem wird trägerstofffixierte Propionsäure zur Futtermittelkonservierung angeboten. Es handelt sich hierbei um ein trockenes, frei fließendes Pulver von geringer Dichte, das Propionsäure enthält, die an ein Tonmineral fixiert ist (50 % Propionsäure, 50 % Trägerstoff). Durch Mischen des Pulvers mit dem Futtermittel wird gasförmige Propionsäure frei und wirkt konservierend. Der Hersteller dieses Produktes sieht die Vorteile gegenüber der Anwendung flüssiger Propionsäure insbesondere darin, daß das Mittel leicht beizumischen ist, sich im Futtermittel aufgrund der gasförmigen Phase verteilt und nicht korrosiv wirkt [20].

Über die Haltbarmachung von Feuchtgetreide mittels trägerstoffgebundener Propionsäure liegen bislang keine Versuchsergebnisse vor. Vor einem halben Jahr brachte der gleiche Hersteller ein neues Mittel mit gleichem Wirkungsprinzip auf den Markt, das aus 40 % Trägerstoff, 45 % Propionsäure und 15 % Ameisensäure besteht.

Die Applikation von Ammoniak ermöglicht ebenfalls eine dauerhafte aerobe Lagerung feuchter Körnerfrüchte. Der Konservierungseffekt basiert auf der Absorption von Ammoniak an den Kornoberflächen, zusätzlich findet auch eine chemische Bindung statt, die eine Verfärbung (Gelb-Braun-Färbung) der Körnerfrüchte verursacht. Diese durch Maillard-Reaktionen verursachte Dunkelfärbung ist ein zuverlässiger Indikator für die erfolgte Konservierung. Für 6monatigen Lagerschutz sollten bei Körnerfrüchten, bezogen auf Frischgewicht, 0,5–1,5 % Ammoniak appliziert werden [3, 7].

Die Konservierung mit Ammoniak stellt hohe Anforderungen an die Applikationstechnik. Es ist nicht möglich, Schüttguthaufen unter Verwendung von Begasungslanzen zu konservieren, da insbesondere bei sehr feuchten Körnerfrüchten aufgrund der hohen Absorptionskraft zwischen Oberflächenwasser und Ammoniak eine gleichmäßige Ammoniakverteilung verhindert wird. Die Applikation des Ammoniaks kann durch Begasung eines kontinuierlichen Materialstroms oder durch Aufspritzen wäßriger Ammoniaklösungen erreicht werden. Mit letzterem werden jedoch durch den zwangsläufigen Wasserzusatz die physikalischen Eigenschaften des konservierten Materials nachteilig verändert. Während der Konservierung mit Ammoniak treten starke Geruchsprobleme auf, die sich durch Zwischenlagerbehälter beseitigen lassen.

Einfacher gestaltet sich die Konservierung mittels Harnstoffzusatz. Feines Harnstoff-Granulat kann dem Feuchtgetreide unmittelbar untergemischt werden. Die Körnerfrüchte müssen jedoch zuvor mit wenig Wasser angefeuchtet werden, um eine gleichmäßige Verteilung des Granulats zu erhalten. Durch Einwirkung des Enzyms Urease wird Harnstoff hydrolytisch in Ammoniak und Kohlendioxid gespalten. Durch die kontinuierliche Freisetzung von gasförmigem Ammoniak wird die Konservierung erzielt, die wiederum eine Dunkelverfärbung verursacht.



Bei der hier eintretenden langsamen kontinuierlichen Freisetzung des Ammoniaks tritt keine Geruchsbelästigung unmittelbar nach der Applikation auf, ein Zwischenlagerbehälter ist nicht erforderlich. Versuche im Feldmaßstab, die in osteuropäischen Ländern durchgeführt wurden, zeigten die prinzipielle Eignung dieses Verfahrens. Bei Wassergehalten des Getreides von 20–30 % wurden 2,5–4 % Harnstoff zugesetzt [12].

#### 4.1.2 Chemisch konservierte Körnerfrüchte in der Tierernährung

Die innerbetriebliche Verwertung von Körnerfrüchten erfolgt hauptsächlich in der Schweinemast. Körnerfrüchte werden hier praktisch als Alleinfutter eingesetzt. Die Betrachtung beschränkt sich deshalb zunächst auf die Schweineernährung.

Der Einsatz von propionsäurebehandelten Körnerfrüchten bewirkt keine Veränderung der täglichen Futtermittelaufnahme, der täglichen Zunahmen und des Futtermittelverbrauchs, verglichen mit getrockneten oder silierten Körnerfrüchten. Zudem wird der verdaute Stickstoff in gleichem Umfang für den Proteinansatz verwertet [21]. Propionsäure ist ein Stoffwechselprodukt von Mensch und Tier, das in den üblichen Konzentrationen als Futtermittelzusatz vollkommen unschädlich ist.

Über die Auswirkungen ammoniak- bzw. harnstoffkonservierter Körnerfrüchte auf die Mastleistungen existieren im Schrifttum kontroverse Hinweise. *Schmidt u.a.* [11] berichten davon, daß Harnstoffkonservate ohne nachteilige Beeinträchtigung des Futterverzehrs und der Verdaulichkeit an Mastschweine verfüttert werden konnten. In einer weiteren Untersuchung wurde mit 2 % Harnstoff versetzter Winterweizen im Vergleich zu heißluftgetrocknetem Weizen und mit 2 % Propionsäure konserviertem Feuchtweizen in einem Schweinemastversuch verfüttert [22]. Bezüglich Futterwert, Futterverzehr, Lebendmassezunahme und Energieaufwand waren alle drei Varianten gleich. *Rupp* [21] untersuchte den Einfluß verschiedener Konservierungsverfahren auf die ernährungsphysiologische Qualität von Getreidefrüchten. Hierbei zeigten Harnstoffkonservate einen geringeren Netto-Energiegehalt als anderweitig konservierte Früchte. Die Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen wurden zwar von Schweinen resorbiert, konnten jedoch nicht zur Proteinsynthese verwertet werden. Diese Verbindungen mußten unter Energieaufwand im Organismus wieder in Harnstoff überführt und mit dem Harn ausgeschieden werden. Harnstoffkonservate wurden von den Tieren schlechter als die übrigen Konservate aufgenommen. Die Depression der Futtermittelaufnahme führte zu geringeren täglichen Zunahmen und zu einem höheren Futtermittelverbrauch. Im Gegensatz zu den zuvor erwähnten Untersuchungen wurden hier Körnerfrüchte eingesetzt, die mit 4 % Harnstoff behandelt waren. Zukünftig wird es bei der Harnstoffkonservierung wichtig sein, die Aufwandsmengen durch eine gleichmäßige Verteilung im Gut niedrig zu halten, um eine Depression der Futtermittelaufnahme von Harnstoffkonservaten zu verhindern.

#### 4.2 Konservierungsversuche

Versuche zur Ermittlung der Aufwandsmengen an flüssiger Propionsäure in Abhängigkeit von Gutsfeuchte und Lagerdauer sind nicht erforderlich, da hierzu umfangreiche Versuchsergebnisse an-

derer Autoren vorliegen. Eigene Untersuchungen beschränkten sich daher bezüglich der Propionsäurekonservierung auf die Verbesserung der Applikationstechnik; über Ergebnisse dieser Versuche soll an anderer Stelle berichtet werden.

Zur Konservierung mit trägerstofffixierter Propionsäure und zur Konservierung mit Harnstoff wurden Versuche mit Wintergerste angesetzt. Während trägerstofffixierte Propionsäure entsprechend den Herstellerangaben vorwiegend zur Konservierung von Feuchtgetreide mit niedrigen Erntefeuchten ( $U = 16-20\%$ ) gedacht ist, können mit Harnstoff auch Getreidepartien mit hohen Erntefeuchten ( $U$  bis 30 %) haltbar gemacht werden.

#### 4.2.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Als Konservierungsbehälter dienten Kunststoffässer mit einem Fassungsvermögen von 120 l. In einer Versuchsreihe wurde Wintergerste (Sorte Mammut, Erntefeuchtegehalt  $U = 20,9\%$ ) mit trägerstoffgebundener Propionsäure in zwei verschiedenen Dosierungen (0,6 % bzw. 1,1 % bezogen auf Frischsubstanzmenge) versetzt. Das Konservierungsmittel wurde partieweise mit dem Feuchtgetreide in einem Vertikalfuttermischer (Zwangsmischer) gemischt. Von jeder Dosierung wurden drei Behälter mit jeweils 80 kg Konservat befüllt. Die Behälter wurden lose abgedeckt, ein Gasaustausch mit der Umgebung war möglich. Die Äsler lagerten in einer Halle bei Lufttemperaturen von 15–20 °C. Neben der visuellen Beobachtung, der Aufzeichnung des Temperaturverlaufes und Messungen des pH-Wertes entnahm man den Konservaten in regelmäßigen Zeitabständen Proben, die mikrobiologisch untersucht wurden<sup>1)</sup>.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde Wintergerste (Sorte Igri, Erntefeuchtegehalt  $U = 24,6\%$ ) mit Harnstoff konserviert. Das feine Harnstoffgranulat wurde dem zuvor in einem Propionsäuredosiergerät mit 0,5 % Wasser angefeuchteten Getreide mittels einer selbstgebauten Dosierschnecke in einer Förderschnecke kontinuierlich zudosiert. Drei unterschiedliche Dosierungen (1,5 %, 1,7 % und 2,5 % Harnstoff bezogen auf Frischgewicht) wurden angewendet, je Dosierung befüllte man drei Behälter mit jeweils 80 kg Konservat. Die Versuchsauswertung erfolgte entsprechend der ersten Versuchsreihe.

Parallel zu den beiden Versuchsreihen wurden auch Versuche im Kleinmaßstab angesetzt. Hierbei dienten glasklare Kunststoffbecher mit 1 000 ml Fassungsvermögen als Konservierungsbehälter. Es wurden je Dosierung drei Becher mit je 500 g Getreide befüllt. Das Konservierungsmittel wurde manuell untergemischt, die Versuchsauswertung erfolgte visuell.

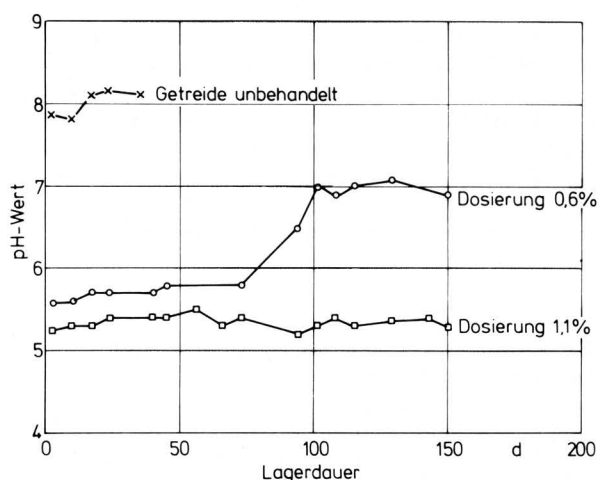
#### 4.2.2 Versuchsergebnisse

**Tafel 1** zeigt die mikrobiologische Auswertung der ersten Versuchsreihe. Die Zugabe von 1,1 % trägerstoffgebundener Propionsäure bewirkt eine sichere Konservierung des Getreides mit 20,9 % Feuchte über eine Lagerdauer von 260 Tagen. Weder die Pilzkeimzahl noch die Infektionsrate sind erhöht. Eine Dosierung von 0,6 % des gleichen Konservierungsmittels (das entspricht 0,3 % reiner Propionsäure) reicht für eine halbjährige aerobe Lagerung nicht aus. Bereits nach 167 Tagen beträgt die Infektionsrate 100 %, die Pilzkeimzahl hat sich stark erhöht. Hierbei konnten vorwiegend Schimmelpilze der Gattung *Aspergillus* nachgewiesen werden, Hefen lagen in geringerem Umfang vor. **Bild 2** zeigt für die Zugabe von 0,6 % Konservierungsmittel einen sprunghaften Anstieg des pH-Wertes nach ca. 100 Tagen, dieser pH-Wert-Anstieg deutet ebenfalls auf nicht ausreichenden Lagerschutz hin. Nach einem halben Jahr zeigte das mit 0,6 % konservierte Gut einen muffigen Geruch, während die mit 1,1 % behandelten Körner (0,5 % reine Propionsäure) noch leicht nach Propionsäure rochen.

<sup>1)</sup> Die mikrobiologischen Untersuchungen wurden am Institut für Tierernährung, Universität Hohenheim, unter Leitung von Prof. Dr. H.M. Müller durchgeführt.

	Zugabe von Konservierungsmittel			
	0,6 %		1,1 %	
Lagerdauer d	Pilzkeimzahl g <sup>-1</sup>	Infektionsrate %	Pilzkeimzahl g <sup>-1</sup>	Infektionsrate %
0	1,7 x 10 <sup>2</sup>	40	12	4,4
55	8,6 x 10 <sup>3</sup>	22	2,5 x 10 <sup>2</sup>	1,1
167	5,7 x 10 <sup>7</sup>	100	1,4 x 10 <sup>2</sup>	12,3
260	1 x 10 <sup>8</sup>	100	1,0 x 10 <sup>2</sup>	6,6

**Tafel 1.** Mikrobiologische Bewertung der Konservierung von Wintergerste mit trägerstoffgebundener Propionsäure in 120 l-Fässern; Ausgangszustand: Erntefeuchte 20,9 % (10.8.1982), Pilzkeimzahl  $4,1 \times 10^5$ , Infektionsrate 100 %.



**Bild 2.** Verlauf des pH-Wertes bei der Konservierung von Wintergerste mit trägerstoffgebundener Propionsäure bei unterschiedlicher Mitteldosierung.

**Tafel 2** zeigt ein Ergebnis der zweiten Versuchsreihe. Eine 2,5 %ige Harnstoffbeimengung bewirkte eine starke Reduzierung der Infektionsrate und der Pilzkeimzahl, beide Größen erhöhten sich im Verlauf der Lagerung nicht. Getreide, dem 1,7 % Harnstoff zugegeben wurde, hatte nach 280 Lagertagen eine leicht erhöhte Pilzkeimzahl und Infektionsrate. Für eine halbjährige Lagerung ist diese Dosierung ausreichend, für längere Lagerzeiten kann sie als kritische Dosierung angesehen werden. Eine geringfügig niedrigere Dosierung (1,5 % Harnstoff) konnte keine Reduzierung der Infektionsrate bewirken, obgleich sich die Pilzkeimzahl im Laufe der Lagerung nicht erhöhte. Die Körner waren durchgehend zu 100 % mit Hefen infiziert. Der pH-Wert aller harnstoffkonservierten Körner lag um pH 9,0 und veränderte sich im Verlauf der Lagerung nicht. Die Temperaturen der Harnstoffkonservate paßten sich der Umgebungstemperatur an, eine Temperaturerhöhung war in keinem Behälter feststellbar.

Die **Tafeln 3 und 4** zeigen die Ergebnisse der Laborversuche, die visuell ausgewertet wurden. Proben, die mit 0,5 % und weniger trägerstoffgebundener Propionsäure gemischt wurden (**Tafel 3**), zeigten bereits nach wenigen Wochen einen sichtbaren Verderb. Bei den Harnstoffkonservaten (**Tafel 4**) reichten Dosierungen von 1,5 % für Getreide mit 21 % Feuchte und 2,0 % für Getreide mit 24,6 % Feuchte aus, um ein sichtbares Verschimmeln über längere Zeit zu verhindern.

Harnstoffzugabe %	Lagerdauer d	Pilzkeimzahl g <sup>-1</sup>	Infektionsrate %
2,5	1	$2,8 \times 10^4$	36
	27	$< 10^1$	24
	127	$< 10^1$	54
	210	$< 10^1$	13
	280	$< 10^1$	0
1,7	1	$1,5 \times 10^3$	36
	27	$10^2$	68
	127	$10^1$	59
	210	$6 \times 10^1$	49
	280	$2,4 \times 10^3$	76
1,5	1	$2,9 \times 10^3$	97
	55	$5,3 \times 10^1$	100
	167	$3,8 \times 10^1$	100
	260	$1,6 \times 10^1$	100

**Tafel 2.** Mikrobiologische Bewertung der Konservierung von Wintergerste mit Harnstoff in 120 l-Fässern; Ausgangszustand: Erntefeuchte 24,6 % (13.7.1982), Pilzkeimzahl  $4 \times 10^5$ , Infektionsrate 97 %; Zugabe von Futterharnstoff als feines Granulat mittels einer Dosierschnecke in die laufende Förderschnecke nach vorherigem Anfeuchten mit 0,5 % Wasser.

Zugabe an Konservierungsstoff %	Befund
0 0,1 0,2	nach ca. 10 Tagen verschimmelt
0,3 0,4 0,5	nach ca. 50 Tagen sind verschimmelte Körner zu erkennen
0,6 0,7 0,8 0,9 1,0	nach 2 Monaten ist kein Verschimmeln zu erkennen; die Proben riechen nach Propionsäure

**Tafel 3.** Visuelle Bewertung der Konservierung von Wintergerste mit trägerstoffgebundener Propionsäure in 1000 ml-Behchern; Ausgangszustand: Erntefeuchte 20,9 % (10.8.1982); jeweils 500 g Getreide wurden mit dem Konservierungsmittel manuell gleichmäßig gemischt.

## 5. Diskussion und Schlußfolgerung

Die Propionsäurekonservierung, die bislang mit hohen variablen Kosten belastet ist, könnte durch Senken der Aufwandsmengen interessanter werden. Laboruntersuchungen anderer Autoren zeigten, daß dies bei gleichmäßiger Verteilung der Säure im Erntegut möglich ist. Weiterführende Untersuchungen sollten sich daher mit der Überprüfung und Verbesserung der Applikationstechnik befassen. Andere organische Säuren oder Salze dieser Säuren, insbesondere auch Konservierungsmittel, die in der Lebensmittelverarbeitung zum Einsatz kommen, werden in absehbarer Zeit nicht bei der Feuchtgetreidekonservierung Bedeutung erlangen.

Zugabe an Konservierungsstoff %	Befund	
	Erntefeuchte 24,6 % Erntedatum 13.7.82	Erntefeuchte 20,9 % Erntedatum 10.8.82
0	nach 7 Tagen ver- schimmelt	nach ca. 10 Tagen verschimmelt
0,5	nach 20 Tagen ver- schimmelt	nach ca. 50 Tagen verschimmelt
1,0	nach ca. 70 Tagen verschimmelt	nach ca. 100 Tagen verschimmelt
1,5	nach ca. 200 Tagen verschimmelte Stellen erkennbar	nach ca. 270 Tagen visuell kein Ver- schimmeln feststell- bar
2,0	nach ca. 300 Tagen visuell kein Ver- schimmeln feststell- bar	
2,5		
3,0		

**Tafel 4.** Visuelle Bewertung der Konservierung von Wintergerste mit Harnstoff; jeweils 500 g Getreide wurden nach Anfeuchten mit ca. 0,5 % Wasser manuell mit dem Harnstoff gleichmäßig gemischt.

Trägerstofffixierte organische Säuren sind im Umgang gefahrloser und sind angenehmer zu handhaben als die reinen Säuren. Kommen diese Stoffe mit der Haut in Berührung, treten keine Verätzungen auf; zudem verhalten sie sich weniger korrosiv gegenüber den Dosier- und Fördereinrichtungen. In einem Versuch konnte die prinzipielle Eignung trägerstofffixierter Propionsäure zur Feuchtgetreidekonservierung gezeigt werden, wobei der Stoff mit dem Gehalt an reiner Propionsäure entsprechenden Mengen dem Feuchtgetreide zugegeben werden muß. Eine 0,6 %ige Dosierung (0,3 % reine Propionsäure) dieses Stoffes reichte für eine halbjährige aerobe Lagerung nicht aus; durch eine 1,1 %ige Zugabe des Stoffes (bestehend aus 0,55 % Propionsäure und 0,55 % Tonmineralien) konnte eine dauerhafte Lagerung (bis zu einem Jahr) erreicht werden. In weiteren Versuchen sollte nun die Haltbarmachung von Feuchtgetreidepartien mit niedrigen Ausgangsfeuchten ( $U = 16-20\%$ ) mittels trägerstofffixierter organischen Säuren umfassend untersucht werden, insbesondere die neueren Stoffe mit einem geringeren Trägerstoffanteil sind zu erproben.

Bei Versuchen zur Harnstoffkonservierung reichten Applikationsmengen von 1,5–2,5 % aus, um Feuchtgetreide mit Erntefeuchten von  $U = 21-25\%$  haltbar zu machen. Die applizierten Harnstoffmengen lagen deutlich unter den Dosierempfehlungen osteuropäischer Autoren [23, 24]. Die dargestellten Ergebnisse besitzen vorläufigen Charakter und müssen durch weitere Untersuchungen bestätigt werden. Unter anderem sind Versuche zur Beurteilung der Applikationstechnik erforderlich, da die Anwendung geringerer Aufwandsmengen an Harnstoff eine gleichmäßige Verteilung im Gut voraussetzt. Hohe Absorptionskräfte bewirken eine schnelle Bindung des freiwerdenden Ammoniaks an den Kornoberflächen, so daß sich das konservierende Gas nur geringfügig im Schüttgut haufen verteilen kann. Durch niedrige Harnstoffdosierungen kann den Anforderungen der Tierernährung Rechnung getragen werden. Eine Depression der Futtermittelaufnahme und erhöhte Harnstoffkonzentrationen in Blut und Urin bei Schweinen wurden insbesondere dann festgestellt, wenn mit großen Harnstoffmengen konserviertes Futter verabreicht wurde.

Die Haltbarmachung durch Harnstoffzusatz verursacht relativ niedrige Konservierungskosten; der Preis des verwendeten Harnstoffgranulats liegt zwischen 80,- und 100,- DM je 100 kg.

In weiteren Untersuchungen sollte die Konservierung, Lagerung, Aufbereitung und Verfütterung harnstoff- und propionsäurekonservierter Körnerfrüchte verfahrenstechnisch ausgestaltet werden. Zudem müssen Konservierungsversuche im technischen Maßstab durchgeführt werden, um den für die Haltbarmachung großer Guts-mengen ratsamen Sicherheitszuschlag kalkulieren zu können.

## 6. Zusammenfassung

Steigende Energiekosten und die Zunahme der innerbetrieblichen Getreideverwertung drängen zur Suche nach alternativen Möglichkeiten der Dauerlagerung feucht geernteter Körnerfrüchte. Hierbei bietet sich die Haltbarmachung durch chemische Zusätze an.

Die Konservierung mittels Propionsäure ist in der landwirtschaftlichen Praxis eingeführt, jedoch insgesamt wenig verbreitet. Neben psychologisch bedingter Ablehnung chemischer Zusätze in Futter- und Lebensmitteln haben insbesondere die hohen variablen Kosten dieses Verfahrens zur geringen Ausbreitung geführt. Andere organische Säuren und deren Salze kommen für die Konservierung von Feuchtgetreide nicht in Betracht, daran wird sich in absehbarer Zeit nichts ändern. Trägerstoffgebundene organische Säuren sind prinzipiell zur Feuchtgetreidekonservierung geeignet, müssen jedoch ihrem Anteil an organischen Säuren entsprechend dem Getreide zugeführt werden. Der Umgang mit diesen Stoffen ist angenehmer und gefahrloser als die Anwendung der reinen Säuren.

Konservierungsstoffe, die eine pH-Wert-Erhöhung verursachen, wirken stark fungizid und sind daher zur aeroben Getreidelagerung gut geeignet. Die Harnstoffkonservierung gestaltet sich verfahrenstechnisch einfacher als die Begasung mit Ammoniak.

In Laborversuchen und Versuchen im halbertechnischen Maßstab wurde Getreide mit Erntefeuchtegehalten von 21 und 25 % durch Mischen mit Harnstoff-Granulatmengen von 1,5 bis 2,5 %, bezogen auf Frischsubstanzmenge, konserviert, wodurch größtenteils ein ausreichender Lagerschutz gewährleistet werden konnte. Die applizierten Harnstoffmengen lagen unter den Dosierungen, die in früheren Untersuchungen anderer Autoren angewendet wurden.

Eine Reduzierung des Harnstoffzusatzes bringt neben ökonomischen Vorteilen auch bei der Verfütterung Vorteile, da bei hohen Harnstoffdosierungen eine Depression der Futtermittelaufnahme harnstoffkonservierter Körner festgestellt wurde. Bei geringeren Dosierungen muß durch eine geeignete Applikationstechnik für eine gleichmäßige Verteilung des Harnstoffs im Futtermittel gesorgt werden.

Zukünftig müssen mögliche Verfahrensketten der Konservierung und Verarbeitung chemisch konservierter Körnerfrüchte ausgestaltet werden, um eine exakte ökonomische Einschätzung dieser Verfahren zu ermöglichen.

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Albrecht, D.*: Ermittlung von Verfahrenswerten und vergleichende Beurteilung landwirtschaftlicher Körnerfrucht-konservierungsverfahren.  
Diss. Univ. Hohenheim 1981.
- [ 2 ] *Birnkammer, H.*: Neue Verfahren der Konservierung von Feuchtgetreide und Feuchtmais bei Lagerung unter aeroben Bedingungen.  
Berichte über Landwirtschaft Bd. 58 (1980) S. 446/79.
- [ 3 ] *Bischoff, Th., U. Elsner u. K.J. von Oy*: Voruntersuchung zur Körnerkonservierung in Salzlösungen.  
Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 5, S. 154/60.
- [ 4 ] *Lotz, A. u. K.J. von Oy*: Untersuchungen zur Konservierung von Körnerfrüchten unter Wasserzusatz.  
Landtechnik Bd. 38 (1983) Nr. 5, S. 182/84.

- [ 5 ] *Singh-Verma, S.B.*: Über den Einsatz der Propionsäure zur Konservierung von industriell hergestellten Mischfuttermitteln sowie von feuchtem Getreide und Mais. Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen. Zbl. Bakteriologie, II, Bd. 125 (1970) Nr. 1, S. 100/11.
- [ 6 ] *Deyoe, C.W., C.S. Rao u. R.P. Knake*: Preservation of high moisture grain using organic acids. Ann. Technol. agric. Bd. 22 (1973) S. 605/14.
- [ 7 ] *Britt, D.G. u. J.T. Huber*: Preservation of and animal performance on high moisture corn treated with ammonia or propionic acid. J. Dairy Sci. Bd. 59 (1976) S. 668/74.
- [ 8 ] *Sauer, D.B., T.O. Hodges, R. Burroughs u. H.H. Converse*: Comparison of propionic acid and methylene bis propionate as grain preservatives. Trans. ASAE Bd. 18 (1975) Nr. 6, S. 1162/64.
- [ 9 ] *Bothast, R.J., E.B. Lancaster u. C.W. Hesseltine*: Ammonia kills spoilage in corn. J. Dairy Sci. Bd. 56 (1973) S. 241/45.
- [ 10 ] *Peplinski, A.J., O.L. Brekke, R.J. Bothast u. L.T. Black*: High moisture corn — an extended preservation trial with ammonia. Trans. ASAE Bd. 21 (1978) Nr. 4, S. 773/76.
- [ 11 ] *Schmidt, L., F. Weißbach u. G. Peters*: Harnstoff als Konservierungsmittel bei der Lagerung feuchter Futterstoffe. Arch. Tierern. Bd. 28 (1978) Nr. 2, S. 123/39.
- [ 12 ] *Schmidt, L., F. Weißbach u.a.*: Chemische Konservierung von feuchtem Futtergetreide mit Harnstoff in der AIV Kröpelin. Feldwirtschaft Bd. 20 (1979) Nr. 5, S. 213/17.
- [ 13 ] *Ghate, S.R. u. W.K. Bilanski*: Preservation of high-moisture corn using urea. Trans. ASAE Bd. 24 (1981) Nr. 4, S. 1047/49.
- [ 14 ] *dlz-Produktkartei*. Die Landtechnische Zeitung dlz Bd. 33 (1982) Nr. 5, S. 684.
- [ 15 ] *Lück, E.*: Chemische Lebensmittelkonservierung. Berlin und Heidelberg: Springer 1977.
- [ 16 ] *Reiß, J.*: Mykotoxine in Lebensmitteln. Stuttgart, New York: Gustav Fischer 1981.
- [ 17 ] *Lück, E., G. Bährecke u. M. Baginski*: Sorbinsäure als Konservierungsstoff für Mischfutter. Kraftfutter Bd. 55 (1972) Nr. 9, S. 468/72 u. Nr. 10, S. 552/56.
- [ 18 ] *Sauer, D.B. u. R. Burroughs*: Efficacy of various chemicals as grain mold inhibitors. Trans. ASAE Bd. 17 (1974) Nr. 3, S. 557/59.
- [ 19 ] *Müller, H.M., E. Schröppel u. M. Thaler*: Einfluß von Propionsäuredosierung und Kornfeuchte auf die Entwicklung und Mykotoxinbildung von Penicillien und Aspergillen in Körnermais. Landwirtschaftliche Forschung Bd. 34 (1981) Nr. 1/2, S. 23/24.
- [ 20 ] *Monoprop* zur Konservierung von Futtergetreide und Futtermitteln. Übersetzung aus: Technical Bulletin No. 2. Herausgegeben im April 1981 von: Anitox Corp. P.O. Box 435; Buford; Georgia 30518; USA.
- [ 21 ] *Rupp, J.*: Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Konservierungsverfahren auf die ernährungsphysiologische Qualität von Getreidefrüchten. Diss. Univ. Hohenheim 1982.
- [ 22 ] *Schmidt, L., F. Weißbach, R. Prym u. D. Geske*: Harnstoff als Konservierungsmittel bei der Lagerung feuchter Futterstoffe. — IV. Verfütterung von harnstoffkonserviertem Feuchtgetreide an Mastschweine. Arch. Tierern. Bd. 32 (1982) S. 109/17.
- [ 23 ] *Jaenisch, J., K. Müller, M. Dera u. S. Prüfer*: Erste Erfahrungen und Ergebnisse zur Verarbeitung von mit Harnstoff konserviertem feuchtem Futtergetreide in der GFA 600 Selbelang. Feldwirtschaft Bd. 21 (1980) Nr. 6, S. 276/78.
- [ 24 ] *Weißbach, F., L. Schmidt u. M. Kwella*: Erfahrungen aus der Anwendung der Feuchtgetreidekonservierung mit Harnstoff im Jahre 1980. Feldwirtschaft Bd. 22 (1981) Nr. 6, S. 258/62.

## Überblick über grundsätzliche Einsatzmöglichkeiten von Mikroelektronik-Sensoren in der Landtechnik

Von Wolfgang Paul und Hermann Speckmann,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,  
Braunschweig-Völkenrode

DK 631.17:62-53:621.3

Ein Vordringen mikroelektronischer Hilfsmittel wird wegen der damit verbundenen zahlreichen positiven Möglichkeiten auch in der Landtechnik stattfinden. Der Engpaß für den Einsatz der Mikroelektronik liegt — ebenso wie für viele andere Bereiche der Technik — bei den

Sensoren als Bindeglied zwischen Umwelt und Elektronik. Der Beitrag versucht deshalb einen Überblick über die Sensorentwicklung für die wichtigsten Klassen physikalischer Grundgrößen zu geben und deren Möglichkeiten in der Landtechnik anzureißen. Auf mögliche Anleihen bei verwandten Aufgabenbereichen wie der Elektronik für Kraftfahrzeuge oder Haushaltsgeräte wird verwiesen. Die speziellen Einsatzbedingungen in der Landtechnik, wie Umweltbedingungen und Sicherheitsanforderungen werden diskutiert. Auf das Fehlen normierter Kabelsysteme zur Informationsübertragung wird hingewiesen.

\*) Dr.-Ing. W. Paul und Dipl.-Ing. H. Speckmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.