

# Verfahren zur Überprüfung der Verteilungsgüte von chemischen Mitteln beim Konservieren von Körnerfrüchten

Von Klaus Dobler und Heinz Ganzelmeier, Hohenheim\*)

DK 664.8.035:621.867.4:535.37

Bei der Konservierung von Körnerfrüchten mit Propionsäure ist eine gleichmäßige Verteilung der Säure auf der Kornoberfläche eines jeden Kornes wichtig. Es wurde eine Methode entwickelt, wie die Verteilungsgüte sichtbar gemacht und fotografisch festgehalten werden kann. Es wird gezeigt, daß reine Förderschnecken nur bei günstiger konstruktiver Zuordnung der Sprühdüsen eine ausreichende Mischwirkung zwischen Säure und Korn erbringen.

## 1. Einführung

Erntefrische Körnerfrüchte können durch die Anwendung von chemischen Mitteln, die die Entwicklung und Vermehrung von Mikroorganismen auf organischen Stoffen unterdrücken, lagerstabil gemacht werden. In den letzten Jahren wurden verschiedene Mittel auf ihre Eignung zur Konservierung von feuchtem Erntegut und deren Auswirkungen auf die futteraufnehmenden Tiere geprüft [1 bis 7]. Dabei hat sich als besonders geeignet Propionsäure erwiesen, die am 2. Juli 1970 durch eine Sondergenehmigung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten als Zusatzstoff für Futtermittel zugelassen wurde.

Die den Körnerfrüchten beizumischende Menge von Propionsäure hängt in erster Linie vom Feuchtegehalt des zu konservierenden Erntegutes und der angestrebten Lagerdauer ab. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollte eine vorgeschriebene Dosiermenge möglichst auf  $\pm 0,1\%$  genau eingehalten werden [3]. Unterdosierung führt zu Substanz- und Nährstoffverlusten, Überdosierung bedeutet Verschwendung. Entscheidend für den Erfolg der Konservierung ist neben der Einhaltung der empfohlenen Säure-Aufwandmenge die Gleichmäßigkeit der Einmischung, also die Homogenität der Verteilung [3]. Zu diesem Punkt der Qualitätsbeurteilung eines mit Säure behandelten Körnerhaufwerks sind bisher keine Ergebnisse bekannt geworden. Im folgenden soll deshalb über die ersten Ergebnisse der am Institut für Landtechnik in Stuttgart-Hohenheim im Rahmen des Sonderforschungsbereichs "Körnerfruchtproduktion" durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen berichtet werden.

Erste Ergebnisse von Arbeiten im Rahmen des DFG Sonderforschungsbereichs 140 Landtechnik der Universität Hohenheim, durchgeführt am Lehrstuhl für Landtechnik (Prof. Dr.-Ing. G. Segler).

\*) Dr.-Ing. Klaus Dobler war bis Ende 1973 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. Segler) der Universität Hohenheim und ist nun wissenschaftlicher Mitarbeiter in einer Forschungsabteilung der Robert Bosch GmbH Stuttgart. Dipl.-Ing. Heinz Ganzelmeier ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 Landtechnik der Universität Hohenheim.

## 2. Mischen von Feststoffen mit Flüssigkeiten

Bei der Verwendung von Propionsäure zur Körnerkonservierung werden Säuremengen zwischen ungefähr 0,3 und 2 Gewichtsprozent, bezogen auf das Körnermaßgewicht, zugesetzt. Demnach handelt es sich – vom Standpunkt einer Klassifizierung der Feststoff-Flüssigkeit-Systeme betrachtet [8] – um eine Mischung mit überwiegendem Anteil an Feststoffen, wobei das fertige Mischprodukt als Schüttgut vorliegt. Nach Teichmann [8] kann man zur Herstellung solcher Mischungen drei unterschiedliche Mischverfahren anwenden:

1. Flüssigkeitszusatz zum nur gering oder nicht aufgelockert vorliegenden Feststoff, d.h. die Feststoffpartikel berühren einander während des Mischvorganges.
2. Flüssigkeitszusatz zum stark aufgelockerten Feststoff, d.h. die Feststoffpartikel liegen in Haufen oder Gruppen vor und Einzelpartikel beginnen sich voneinander abzulösen.
3. Flüssigkeitszusatz zu einem Feststoff-Gas-Gemisch, d.h. die Feststoffpartikel liegen vorwiegend als Einzelkörner vor.

In diese Systematik läßt sich die Arbeitsweise der auf dem Markt befindlichen Mischer einordnen. Aus der Fülle der in der mechanischen und chemischen Verfahrenstechnik und zum Teil auch in der Landtechnik eingesetzten Geräte sollen hier nur einige beispielhaft genannt werden, um die verschiedenen möglichen Arbeitsweisen zu veranschaulichen.

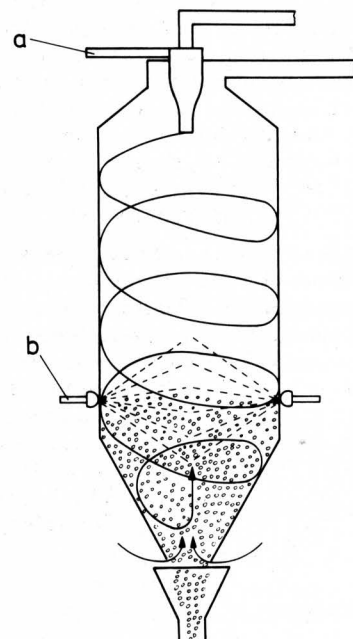


Bild 1. Schematische Darstellung des Sprühmix-Verfahrens, nach Teichmann [9].

- a Materialeintrag  
b Sprühdüsen auf einer Ringleitung

Bei dem unter 1 genannten Verfahren erreicht die zugesetzte Flüssigkeit nur die Oberfläche des Haufwerks und eine gleichmäßige Verteilung wird durch eine intensive Bewegung des Mischgutes angestrebt. In dieser Weise arbeiten beispielsweise die Schneckenmischer, von denen als eine mögliche Bauart der Kegelschneckenmischer erwähnt werden soll, der sehr häufig als Futtermischer eingesetzt wird.

Beim Verfahren 2 kann bereits bei starker Auflockerung des Haufwerks eine Flüssigkeit durch Zersprühen so eingebracht werden, daß eine annähernd gleichmäßige Verteilung auf dem Feststoff erreicht wird. Nach diesem Verfahren arbeiten die Trommel- und Kesselmischer, bei denen durch schnellbewegte Inneneinbauten der zu benetzende Feststoff in den Sprühnebel hineingewirbelt wird.

Beim Verfahren 3, bei dem die Flüssigkeit in ein Gas-Feststoff-Gemisch eingesprüht wird, ist es möglich, die Flüssigkeit so intensiv zu verteilen, daß nach statistischer Wahrscheinlichkeit ein homogenes Feststoff-Flüssigkeit-Gemisch aus dem tragenden Gas ausfällt [9]. Solche Mischer werden sehr häufig in der chemischen Verfahrenstechnik eingesetzt, weil bei ihnen der Mischvorgang sich gut mit dem Ablauf von chemischen Reaktionen verbinden läßt. Als ein Anwendungsgebiet des auch unter der Bezeichnung Sprühmisch bekanntgewordenen Verfahrens sei die Herstellung von Milchaustauschfutter genannt. Der schematische Aufbau und die Wirkungsweise einer solchen Anlage ist in Bild 1 dargestellt.

### 3. Beurteilung der Verteilungsgüte

Ist bei der Konservierung von Körnerfrüchten die Gleichmäßigkeit der Säureverteilung im Körnerhaufwerk schlecht und sind größere Mengen von Einzelkörnern nicht mit Säure überzogen, so besteht die Gefahr, daß sich innerhalb des lagernden Haufwerks einzelne Verderbnester bilden. Bisherige Untersuchungen [2] über die Verteilung des konservierenden Stoffes auf den Körnern beschränkten sich meist auf die Feststellung, welche Menge von Säure sich auf einer bestimmten Anzahl von Körnern wiederfindet. Um jedoch eine gültige Aussage über den Erfolg eines Mischvorgangs machen zu können, muß die Verteilung der Flüssigkeit auf der Oberfläche des Einzelkorns beurteilt werden.

#### 3.1 Einfluß der Stoffeigenschaften

Ebenso wie die Mischgeräte und deren Arbeitsweise großen Einfluß auf das Ergebnis der Mischung haben, so spielen auch die Stoffeigenschaften der zu mischenden Komponenten eine große Rolle. Bei der Beurteilung der Verteilungsgüte müssen deshalb die Eigenschaften der zu mischenden Komponenten bekannt sein und berücksichtigt werden, da sonst Fehlbeurteilungen möglich sind. So kann beispielsweise eine Mischung, die unmittelbar nach dem Mischvorgang beurteilt wird, ein sehr gutes Ergebnis zeigen, während man bei späteren Untersuchungen feststellt, daß die Komponenten sich wieder weitgehend entmischt haben.

Um zu erreichen, daß die Mischung zwischen Feststoff und Flüssigkeit stabil ist, d.h. sich nicht wieder unter dem Einfluß der Schwerkraft selbst entmischt, muß eine Benetzung zwischen Flüssigkeit und Feststoff möglich sein. Der Benetzungsfähigkeit der Flüssigkeit auf der Feststoffoberfläche kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu. Sie wird durch den Randwinkel der Benetzung beschrieben: Abhängig vom Verhältnis der Molekularkräfte innerhalb der Flüssigkeit und zwischen der Flüssigkeit und dem jeweiligen Feststoff, bilden Flüssigkeitstropfen mit der Unterlage verschiedene Randwinkel  $\delta$  aus, wie sie in Bild 2 dargestellt sind. Ist  $\delta \approx 0^\circ$ , so spricht man von vollständiger Benetzung, ist  $180^\circ > \delta > 0^\circ$ , dann liegt unvollständige Benetzung vor.

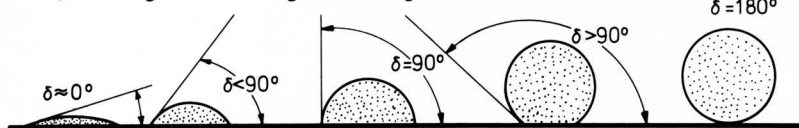


Bild 2. Randwinkel bei unterschiedlicher Benetzung.

$\delta = 0^\circ$  vollständige Benetzung  $\delta = 180^\circ$  keine Benetzung

Für die Konservierungsaufgabe ist das Benetzungsverhalten von Propionsäure, für Vorversuche das Benetzungsverhalten von Wasser auf Maiskörnern wichtig. Um dies zu klären, wurden kleine Tröpfchen aus Wasser bzw. Propionsäure auf Maiskörner aufgebracht. Während sich bei Wasser Tröpfchen mit einem Benetzungswinkel zwischen  $0^\circ < \delta < 90^\circ$  bildeten, Bild 3, verteilte sich die Propionsäure sofort gleichmäßig auf der Kornoberfläche, so daß ein Randwinkel  $\delta$  nicht mehr zu erkennen war und von einer guten Benetzung gesprochen werden kann. Untersuchungen an trockenen und naturfeuchten Maiskörnern ( $U = 40\%$ ) ergaben keinen erkennbaren Unterschied. Daß jedoch das unterschiedliche Benetzungsverhalten von Wasser und Säure die Verteilung der Flüssigkeit beim Mischen mit dem Körnergut beeinflusst, zeigen auch die im folgenden beschriebenen Versuche.

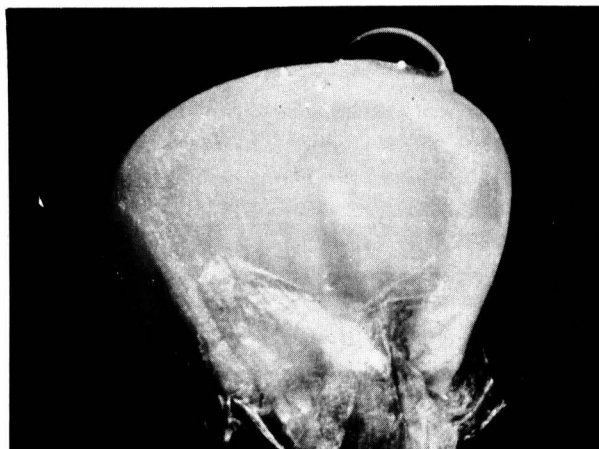


Bild 3. Wassertropfen auf einem Maiskorn.

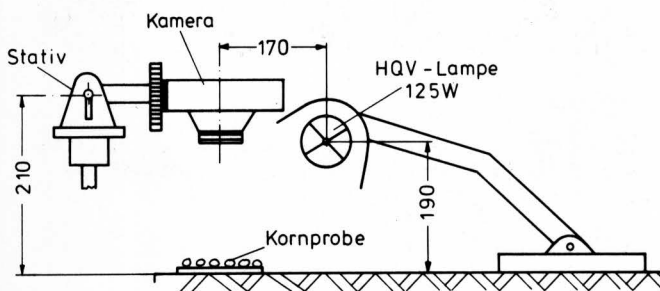
#### 3.2 Beurteilungsverfahren

Will man lediglich feststellen, wieviel Säure sich auf einer bestimmten Menge von Körnern befindet, dann können verschiedene Untersuchungsmethoden angewandt werden, angefangen beim Arbeiten mit Reagenzien bis hin zur Gaschromatographie. Um jedoch eine Beurteilung der Verteilung der Flüssigkeit auf der Oberfläche von Einzelkörnern vornehmen zu können, ist man, ähnlich wie bei der Messung der Verteilung von Substanzen in der Pflanzenschutztechnik [10], auf Farbstoffe angewiesen, welche die Güte der Verteilung sichtbar machen. Vorversuche mit bekannten Farbstoffen wie Eosin und Fuchsin und mit fluoreszierenden Mitteln ließen von Anfang an eine geeignete visuelle Beurteilung bei den letzteren erwarten, so daß sich alle weiteren Untersuchungen auf die Anwendung fluoreszierender Mittel beschränkten.

Bei den fluoreszierenden Stoffen muß man unterscheiden zwischen Fluoreszenzfarbstoffen und Fluoreszenzpigmenten. Die Fluoreszenzfarbstoffe sind bis zu einem bestimmten Anteil im Trägermittel vollkommen löslich und ergeben bei einer bestimmten Konzentration maximale Leuchterscheinungen. Pigmente dagegen bleiben auch nach dem Dispergieren als solche erhalten und können sich bei ruhender Flüssigkeit wieder absetzen, so daß für eine ständige Bewegung der Flüssigkeit gesorgt werden muß. Bei aggressiven Trägermitteln kann der Fall eintreten, daß die Pigmente ihre fluoreszierenden Eigenschaften verlieren. Bei den Versuchen mit Propionsäure und dem von der BASF hergestellten Fluoreszenzpigment Lumogen LT hellgelb wurde jedoch ein Nachlassen der Leuchterscheinungen nicht beobachtet.

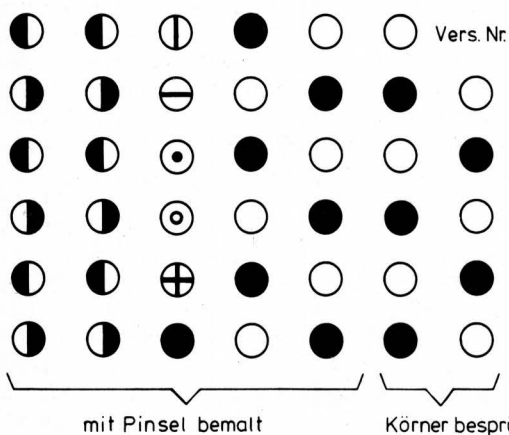
In einer Serie von Versuchen wurde eine Reihe verschiedener Farbstoffe auf ihre Eignung überprüft. Dabei stand neben der guten Sichtbarmachung der Verteilung vor allen Dingen die Möglichkeit einer einwandfreien fotografischen Wiedergabe der Ergebnisse im Mittelpunkt der Untersuchungen.

**Bild 4** zeigt die Versuchsanordnung zur fotografischen Aufnahme der behandelten Körnerproben. Als Beleuchtungseinrichtung dient ein Quecksilberdampf-Hochdruckstrahler HQV 125 Watt der Firma Osram, der die fluoreszierenden Stoffe sehr deutlich sichtbar macht. Aus der großen Anzahl der durchgeführten Einzelversuche soll hier nur auf das Ergebnis näher eingegangen werden, das mit Lumogen LT hellgelb erzielt wurde. Dieses Fluoreszenzpigment kann nach Angaben der Herstellerfirma ohne Beeinträchtigung der Mittelwirkung zugesetzt werden und wurde bisher hauptsächlich zur Sichtbarmachung der Verteilung von Pflanzenschutzmitteln angewandt. Dazu wird es bei Spritzverfahren mit 0,01 %, bei Sprühverfahren mit 0,1 % dem Mittel zugemischt. Vorversuche, Lumogen LT hellgelb auch bei der Lösung des hier vorliegenden Problems erfolgreich anzuwenden, ergaben, daß höhere Konzentrationen erforderlich sind und sich bei 1 Gew. % Pigment in der Flüssigkeit sehr gute Ergebnisse erzielen lassen. Die Untersuchungen, die sich hier auf die Anwendung bei Maiskörnern beschränken, zeigten, daß eine visuelle Beurteilung der mit Flüssigkeit-Fluoreszenzpigment besprühten Körner sehr gut möglich ist, da sich der mit der Flüssigkeit aufgetragene Farbstoff im UV-Licht sehr deutlich von der normalen Färbung des Maiskorns abhebt.



**Bild 4.** Versuchsanordnung zur fotografischen Aufnahme von Körnerproben bei der Ermittlung der Verteilungsgüte von Flüssigkeiten auf der Körneroberfläche.

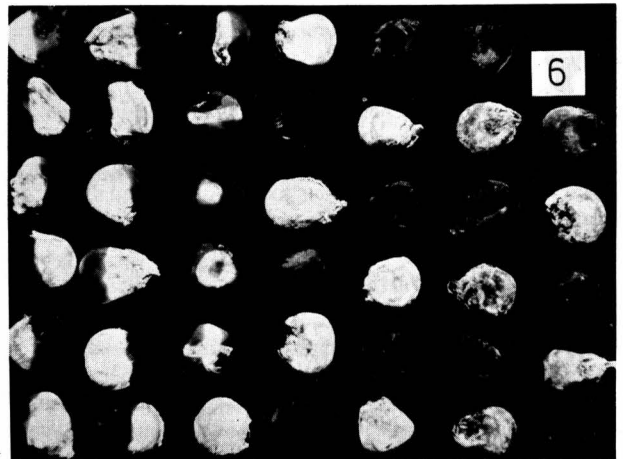
Schwieriger ist eine gute fotografische Wiedergabe mit Schwarz-Weiß-Film, da das von unbehandelten Teilen der Kornoberfläche reflektierte Licht eine gleiche Schwärzung des Films bewirken kann, wie das reflektierte Licht des fluoreszierenden Pigments. Deshalb waren Probeaufnahmen mit verschiedenen Filter-Film-Kombinationen nötig, um ein optimales Ergebnis zu erreichen. Um immer gleiche Bedingungen für die Probeaufnahmen zu haben, hat es sich bewährt, eine Anzahl verschieden behandelter und gekennzeichnete Körner auf einer schwarzen Unterlage aufzukleben. In **Bild 5** ist dargestellt, wie die Körner behandelt wurden.



**Bild 5.** Anordnung der für die Probeaufnahmen mit Farbstoff verschieden behandelten Körner.

Die unterschiedlich ausgebildeten schwarzen Flächen geben an, wo Farbstoff mit dem Pinsel oder durch Aufsprühen aufgebracht wurde.

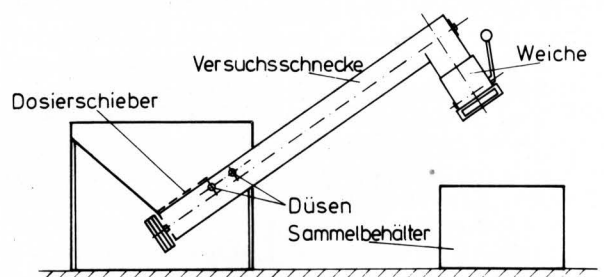
Eine geeignete fotografische Wiedergabe ließ sich erzielen bei der kombinierten Verwendung von UV- und Gelb-Filter und einer Belichtungszeit, die bei der in **Bild 4** gezeigten Versuchsanordnung und einer Filmempfindlichkeit von 22° DIN 1 s bei Blende 8 beträgt. Wie das Ergebnis in **Bild 6** zeigt, heben sich bei dieser Einstellung die mit Farbstoff behandelten Kornoberflächen sehr deutlich gegen die dunkel bleibenden, unbehandelten Flächen ab. In allen folgenden Untersuchungen über die Verteilungsgüte wurde deshalb diese Filterkombination beibehalten und nur die Blendeneinstellung und die Belichtungszeit entsprechend dem Abstand der HQV-Lampe von der Körnerprobe variiert.



**Bild 6.** Das beste Ergebnis der Probeaufnahmen; Gelbfilter und UV-Filter, SW-Film 22° DIN, Blende 8, 1 s.

### 3.3 Durchgeführte Versuche

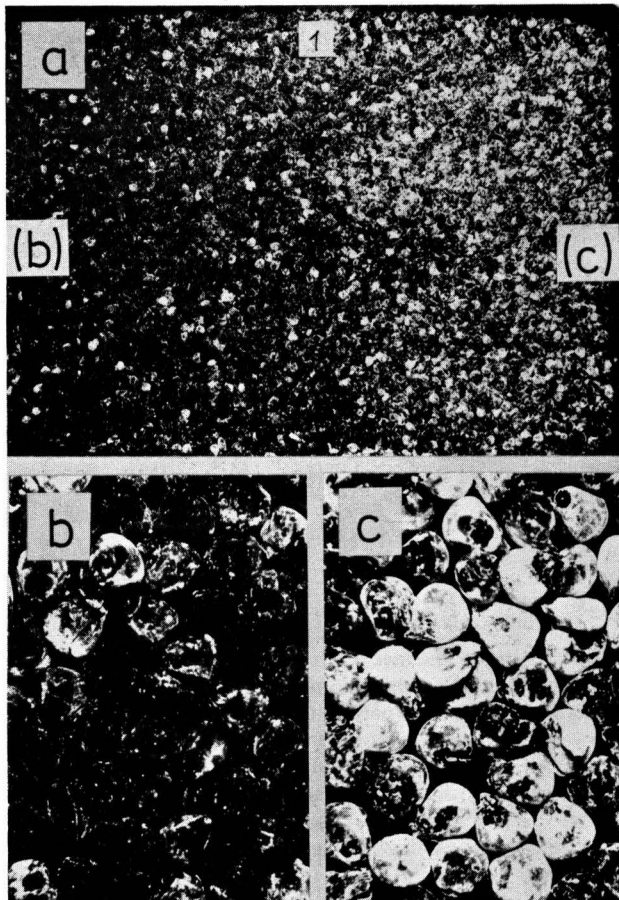
In der Praxis werden zur Beimischung von Propionsäure häufig Förderschnecken eingesetzt, an deren Anfang eine oder mehrere Düsen zum Einbringen des Konservierungsmittels angebracht sind. Ein solches Gerät, dessen Aufbau schematisch in **Bild 7** dargestellt ist, wurde auch für die im folgenden beschriebenen Versuche verwendet. Für die Vorversuche zur Klärung der Zusammenhänge zwischen Körnerdurchsatz und Verteilungsgüte des Konservierungsmittels auf einzelnen Körnern und im Körnerhaufwerk wurde anstelle der sehr aggressiven Propionsäure Wasser verwendet, in das 1 Gew. % Lumogen LT hellgelb eingemischt wurde.



**Bild 7.** Skizze des Versuchsaufbaus zur Konservierung von Körnerfrüchten mit Propionsäure.

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| Rohrinnendurchmesser      | $d_i = 162 \text{ mm}$     |
| Schneckenaußendurchmesser | $d_s = 150 \text{ mm}$     |
| Schneckensteigung         | $s = 154 \text{ mm}$       |
| Schneckenrehzahl          | $n = 420 \text{ min}^{-1}$ |
| Förderwinkel              | $\alpha = 18^\circ$        |

Schon die ersten Versuche zeigten, daß die Verteilungsgüte vom Körnerdurchsatz abhängig ist. Während sich bei geringem Durchsatz eine sehr gute Verteilung der Flüssigkeit auf den einzelnen Körnern zeigt, wird diese mit zunehmendem Durchsatz schlechter. In dem aus der Schnecke austretenden, behandelten Gutstrom ist dann die Verteilung der Flüssigkeit auf den Körnern sehr unterschiedlich. Läßt man, wie in unseren Versuchen, das behandelte Körnergut in einen Behälter fließen, so ist die zu einer Seite des Behälters hin abnehmende Flüssigkeitsmenge und Verteilgüte auf den Körnern zu erkennen, **Bild 8**. Die mehrfache Wiederholung der Versuche zeigte, daß es sich nicht um ein zufälliges Ergebnis, sondern um einen systematischen Fehler im Dosier- und Mischprinzip handelt, wie im nächsten Abschnitt noch gezeigt wird. Auch die eigentlichen Hauptversuche mit Propionsäure brachten im Prinzip kein anderes Ergebnis. Es war nur festzustellen, daß durch die wesentlich bessere Benetzungsfähigkeit der Säure sich eine im ganzen gesehen bessere Verteilung auf einzelnen Körnern ergab, wie aus **Bild 9** ersichtlich ist.



**Bild 8.** Darstellung der Verteilungsgüte von Wasser mit Fluoreszenzpigment auf den Maiskörnern bei hohem Gutdurchsatz.

- a Aufnahme des Haufwerks nach Auslauf aus der Schnecke
- b Teilprobe von der linken Seite
- c Teilprobe von der rechten Seite des Haufwerks zur Sichtbarmachung der Verteilung auf der Oberfläche einzelner Körner

Während sich bei Wasser, vergleiche Bild 8, auch bei bester Verteilungsgüte Stellen auf den Körnern zeigen, die nicht erreicht wurden (beispielsweise in Vertiefungen), sind die mit Propionsäure besprühten Körner in Bild 9 wesentlich besser mit einem Flüssigkeitsfilm überzogen. Das zeigt andererseits, daß man für grundsätzliche Untersuchungen sehr gut Wasser verwenden kann, aber durch Zufügen von Spannungsmitteln ähnliche Voraussetzungen für die

Benetzung, wie sie die Säure aufweist, schaffen sollte. In der Pflanzenschutztechnik, wo man auch bestrebt ist, Untersuchungen mit ungiftigen und nichtaggressiven Stoffen durchzuführen, wurden deshalb zum Teil Modellflüssigkeiten entwickelt, die in ihren physikalischen Eigenschaften weitgehend dem tatsächlich anzuwendenden Mittel entsprechen.



**Bild 9.** Aufnahme einer mit Propionsäure und Fluoreszenzpigment behandelten Körnerprobe. Zum Vergleich sind in der Bildmitte sechs unbenetzte Körner beigefügt.

#### 4. Begründung der Ergebnisse und Vorschläge zur Verbesserung

Die oben aufgezeigte Abhängigkeit der Verteilungsgüte vom Durchsatz bei der Verwendung einer Förderschnecke läßt sich sehr einfach durch die Betrachtung des Fördervorgangs in Schnecken erklären. Nach *Böttcher* [11] und *Vierling* [12] können bei der Aufwärtsförderung mit Förderschnecken drei Bereiche unterschieden werden, die durch die Schneckenneigung und die Schneckendrehzahl bestimmt werden. Nach dieser Einteilung arbeitet die in den oben beschriebenen Versuchen verwendete Förderschnecke in einem Bereich, der sich wie folgt beschreiben läßt: Das Fördergut bewegt sich nach einem kurzen Anlaufvorgang nur noch translatorisch auf der Mantellinie eines Zylinders aufwärts, d.h., ein zusätzlicher Mischvorgang tritt innerhalb des Fördervorganges nicht auf. Damit ist eine Erklärung der in Bild 8 gezeigten Erscheinung gegeben: Durch die einseitige Anordnung der Sprühdüsen am Schneckenrohr wird nur das an dieser Seite vorbeigeführte Gut intensiv besprüht und kann sich mit dem unbesprühten Gut nicht vermischen. Daß das Ergebnis bei kleinem Durchsatz wesentlich besser ist, rührt daher, daß durch den geringeren Füllungsgrad der Schnecke und den relativ großen Spalt zwischen Schnecke und Schneckenrohr doch noch ein gewisser Mischeffekt auch bei einer Förderschnecke möglich ist.

Zur Verbesserung der Verteilungsgüte bei der Verwendung von Schneckenförderern gibt es zahlreiche konstruktive Möglichkeiten. Eine einfache Lösung besteht darin, das Körnergut durch mehrere Düsen von verschiedenen Seiten her zu besprühen. Soll innerhalb der Schnecke noch ein zusätzlicher Mischvorgang stattfinden, dann sollten die bekannten Mischschnecken in Form von Band- oder Paddelschnecken verwendet werden. Wo dies nicht ohne weiteres möglich ist, kann ein Verlegen der Sprühdüsen in das Gebiet der Schneckeneinlauföffnung, wie es von englischen und amerikanischen Geräten her bekannt ist, den gewünschten Erfolg bringen. Auch muß in die Überlegungen mit einbezogen werden, ob sich nach dem Einbringen des Konservierungstoffes noch weitere Fördervorgänge anschließen, bei denen eine gewisse zusätzliche Vermischung erwartet werden kann.

## 5. Zusammenfassung

Wie frühere Untersuchungen gezeigt haben, ist bei der Konservierung von Körnerfrüchten mit Propionsäure eine gleichmäßige Verteilung der Säure auf der Kornoberfläche eines jeden Korns anzustreben. Zur Sichtbarmachung und Beurteilung der Verteilungsgüte wurden dem Konservierungsmittel Farbstoffe beigemischt und eine Methode entwickelt, mit der die Ergebnisse fotografisch festgehalten werden können. Versuche haben gezeigt, daß reine Förderschnecken anstelle von Mischschnecken im allgemeinen keine ausreichende Mischwirkung erbringen. Sie sind nur dann geeignet, wenn besondere konstruktive Maßnahmen ergriffen werden.

### Schrifttum

- [ 1 ] Propionsäure. Vorträge und Datenmaterial einer Fachtagung. BASF-Mitteilungen für den Landbau, Dezember 1970.
- [ 2 ] *Hieb, K.P.*: Die Feuchtmalkonservierung mit Propionsäure – eine produktionstechnische und betriebswirtschaftliche Untersuchung (105 Schrifttumangaben). Bayer. Landw. Jahrbuch, Bd. 49 (1972) H. 5, S. 527/640.
- [ 3 ] *Fink, F.*: Die Konservierung von Körnermais und Getreide mit Propionsäure. Landtechnik Bd. 26 (1971) H. 13, S. 334/36.
- [ 4 ] *Hall, G.E., L.D. Hill u. E.E. Hatfield*: Propionic-acetic acid for high-moisture corn preservation. ASAE-Paper No. 73-312 (1973).
- [ 5 ] *Calderwood, D.L., H.W. Schroeder*: Chemical preservatives for maintaining moist rice in storage. ASAE-Paper No. 73-30<sup>8</sup> (1973).
- [ 6 ] *Bronsch, K.*: Die Propionsäure – ein Konservierungsmittel für Mischfutter. Die Mühle Bd. 107 (1970) H. 31, S. 460/61.
- [ 7 ] *Hartmann, F.W.*: Die Konservierung von feuchtem Futtergetreide. Die Mühle Bd. 107 (1970) H. 36, S. 540.
- [ 8 ] *Teichmann, E.*: Benetzung, Mischung und Granulierung von Feststoffen mit Flüssigkeiten. Aufbereitungstechnik Bd. 8 (1967) H. 9, S. 470/75.
- [ 9 ] *Teichmann, E.*: Verfahren zur Herstellung von Milchaustauschfutter. Die Mühle Bd. 102 (1965) H. 26, S. 491/93.
- [ 10 ] *Bau, H., U. Dörries u. J. Zaske*: Anwendung der Fluorometrie zur Verteilungsmessung in der Pflanzenschutztechnik. Landtechn. Forsch. Bd. 19 (1971) H. 3/4, S. 93/101.
- [ 11 ] *Böttcher, S.*: Eine allgemeine Analyse der Aufwärtsförderung eines Einzelkörpers in Schneckenförderern beliebiger Neigung. VDI-Z Bd. 105 (1963) Nr. 14, S. 581/93; Nr. 16, S. 663/71; Nr. 18, S. 743/54.
- [ 12 ] *Vierling, A. u. G.L. Sinha*: Untersuchungen zum Fördervorgang beim senkrechten Schneckenförderer. Fördern und Heben Bd. 10 (1960) H. 8, S. 587/92.

## Überblick über Optimierungsstrategien

Von Wolfgang Paul, Braunschweig-Völkenrode\*)

DK 518.5

Der Beitrag hat den Stand des Wissens auf dem Gebiet der Optimierungsrechnungen zum Inhalt. Die klassischen Optimierungsstrategien 'lineare Optimierung', 'nichtlineare Optimierung' und 'dynamische Optimierung' werden nach einer Klärung der grundlegenden Begriffe vorgestellt. Zu jeder Strategie wird die mathematische Problemklasse, auf die sie anwendbar ist, herausgearbeitet. Ein Beispiel zu jeder Problemklasse verdeutlicht die Einsatzmöglichkeiten. Auf die großen Vorteile der Optimierungsverfahren im Sinne einer grundlegenden Mehrzweckmethode ist ebenso wie auf die Schwierigkeiten und Grenzen der einzelnen Verfahren hingewiesen.

\*) *Dr.-Ing. Wolfgang Paul* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.

### Einleitung

Optimal ist zum modischen Beiwort vieler technischer Veröffentlichungen geworden. Der Begriff "optimal" wird dabei mit recht unterschiedlichem Inhalt verwendet. Seine häufige Verwendung ohne klare Definition läßt sogar vermuten, daß das Attribut auch oftmals mehr aus dem Gefühl heraus denn als gesichertes Ergebnis verwendet wird. Es gibt jedoch viele Strategien, die das Finden eines Optimums erleichtern. In diesem Aufsatz soll deshalb ein Überblick über die verschiedenen Optimierungsstrategien gegeben werden. Betrachtet werden als Hauptgruppen die lineare Optimierung, die nichtlineare Optimierung und die dynamische Optimierung. Die Strategien werden anschaulich dargestellt, ohne daß dabei auf den mathematischen Kern eingegangen wird. Praktische Beispiele für das Auffinden des Optimums mit Hilfe von Rechengeräten und Modellen des betrachteten Vorganges oder auch ohne Rechner unmittelbar am realen Objekt werden zu jeder Hauptgruppe von Strategien gegeben. Der Beitrag soll den Blick für das sinnvolle Einsetzen von Optimierungsstrategien an realen Objekten schärfen.