

# Untersuchungen zum mechanischen Oberflächenwasserreduzieren naßaufbereiteter Kartoffeln

Dipl.-Ing. G. Jünemann/Dozent Dr. agr. S. Scheibe, KDT/Dr.-Ing. M. Schneider  
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

## Verwendete Formelzeichen

m	t/h	Durchsatz
$O_w$	%	Oberflächenwasser
s	m	Förderweg
t	s	Verweilzeit
W	N/m	Adhäsionsenergie
$\gamma$	N/m	Grenzflächenspannung
$\Theta$	°	Randwinkel

## Indizes

a	gasförmige Phase
l	flüssige Phase
s	feste Phase

## 1. Einleitung

Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Aufbereitung überlagerter Speisekartoffeln in Aufbereitungs-, Lager- und Vermarktungsanlagen (ALV-Anlagen) ergaben, daß die Naßaufbereitung eine Vorzugslösung darstellt [1]. Durch die Arbeitsgänge Hydrosortieren mit dem Hydrosortierer HDS600 und Naßreinigen mit der Bürstenwalzen-Düsen-Waschmaschine BDW1200 werden für die Abpack- und Schällinie saubere, beimengungsfreie und fäulegeminderte Kartoffelpartien bereitgestellt. Die gute Mängelerkennbarkeit beim Verlesen führt zu einer Qualitätsverbesserung abgepackter Kartoffeln. So ist der Fäuleanteil der Kartoffeln im Beutel nach dem Abpacken gering. Er betrug unter den gegebenen Bedingungen für naßaufbereitete Partien 0,35% und für trocken aufbereitete Partien 0,70% (Massenanteil).

Im Vergleich zur herkömmlichen Trockenaufbereitungsvariante erhöht sich durch die Naßaufbereitung die Versorgungswirksamkeit überlagerter Kartoffeln um etwa 6% (Mehrausbeute). Außerdem werden im Verfahrensabschnitt Auslagern bis Vermarkten abpack- und schälfähiger Kartoffeln Arbeitszeit eingespart (rd. 0,45 AKh/t) und Verfahrenskosten gesenkt (rd. 3,30 M/t). Der spezifische Bedarf an technischer Energie (Dieselkraftstoff, Elektroenergie, Material) und an Frischwasser ist für beide Verfahrensvarianten etwa gleich groß (Mehrfachnutzung des Wassers), obwohl bei der Naßaufbereitungsvariante das gesamte Lagergut und bei der Trockenaufbereitungsvariante nur der zu schälende Anteil von etwa 55% naßaufbereitet wird. Staub-, Schmutz- und Geruchsbelästigungen im Verlese-, Abpack- und Schälbereich sowie im Handel entfallen.

Unzureichend ist bisher die Reduzierung des nach dem Waschen an der Kartoffeloberfläche befindlichen Wassers gelöst. Ein hoher Oberflächenwasseranteil kann während des Förderprozesses, des Verlesens und des Abpackens zur Spritzwasserbildung führen. Außerdem wird die Abtrocknung der Kartoffeln zeitlich verzögert, wodurch ihre Haltbarkeit negativ beeinflusst werden kann. Die abgepackten Kartoffeln sollten nach etwa 24 Stunden abgetrocknet sein [2].

Nachfolgend wird über Untersuchungen an verschiedenen technischen Lösungen zum mechanischen Oberflächenwasserreduzieren berichtet.

## 2. Ergebnisse von bisher genutzten technischen Arbeitsmitteln zum Oberflächenwasserreduzieren

In den ALV-Anlagen der DDR, in denen die Kartoffeln nach der Auslagerung naßaufbereitet werden, kamen bisher zum mechanischen Oberflächenwasserreduzieren Stabkettenförderer mit gummiummantelten Stäben und Stahlglatzwalzenförderer zum Einsatz. Durch einen Stabkettenförderer mit einer Länge von 5,5 m, der ein Abtropfen des Wassers in Verbindung mit einem kontinuierlichen Transport der Kartoffeln ermöglichte, wurde bei einem Durchsatz von 10 bis 15 t/h und einer Verweilzeit von max. 50 s eine Oberflächenwasserreduzierung bis auf 1% Restfeuchte erreicht. Durch Versuche mit einem Stahlglatzwalzenförderer bei einem Gutstrom von 20 bis 25 t/h konnte ein Restfeuchteanteil von 0,7% nicht unterschritten werden. Beim Stahlglatzwalzenförderer treten besonders bei Kartoffeln mit glatter Schale Förderprobleme auf.

Durch den zusätzlichen Einsatz von Gebläsen in Verbindung mit einem Stabkettenförderer oder einem Stahlglatzwalzenförderer konnte keine wesentliche Verbesserung der Oberflächenwasserreduzierung bewirkt werden. Diese einfachen, im wesentlichen empirisch entstandenen technischen Lösungen bewirken nur eine unzureichende Entfernung des Waschwassers, so daß sie für das Verfahren der Naßaufbereitung als wenig geeignet erscheinen.

Ziel der Fest-Flüssig-Trennung ist es, Kartoffeln und Oberflächenwasser möglichst wirtschaftlich voneinander zu trennen. Prinzipiell stehen dafür mechanische und/oder thermische Trennverfahren zur Verfügung. Die mechanische Oberflächenwasserreduzierung stellt eine billige und sehr wirksame Vorstufe der Kartoffelab-trocknung dar.

Durch systematische Erarbeitung und Bewertung von Lösungsvarianten zum mechanischen Oberflächenwasserreduzieren wurde als Vorzugslösung ein Walzenförderer ausgewählt, der mit beschichteten Walzen und Andrückrollen ausgerüstet ist.

## 3. Theoretische Betrachtungen und Laboruntersuchungen

Die Kartoffeln verlassen die Waschmaschine mit einem Oberflächenwasseranteil von etwa 2%. Entsprechend den vorhandenen Kraftwirkungen läßt sich das Oberflächenwasser, bestehend aus abtropfbarem Wasser und Haftwasser, unterteilen (Bild 1).

Ein Großteil des nach dem Naßaufbereiten an den Kartoffeln haftenden Oberflächenwassers wird durch Adhäsion an den beschichteten Walzen des Walzenförderers von den Kartoffeln abgeführt. Das Phänomen der Adhäsion läßt sich letztlich immer auf die intermolekularen Kraftwirkungen in der Grenzflächenschicht zurückführen. Zur Beschreibung der Adhäsionsphänomene ist die Adhäsionsenergie  $W_{sl}$  nach Dupre als grundlegende Größe anzusehen:

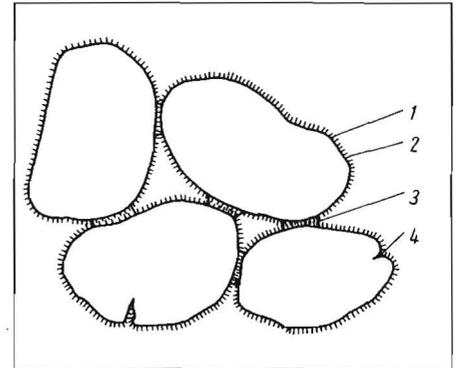


Bild 1. Oberflächenwasserbindungsarten in einem Kartoffelverband;  
1 Adsorptionswasser, 2 Adhäsionswasser, 3 Zwickelkapillarwasser, 4 Grobkapillarwasser

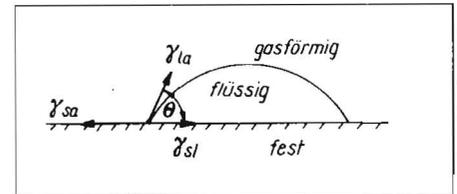


Bild 2. Randwinkelgleichgewicht

$$W_{sl} = \gamma_s + \gamma_{la} - \gamma_{sl} \quad (1)$$

Ihre direkte Bestimmung wäre wünschenswert. Aber unter Berücksichtigung der Youngschen Beziehung (Bild 2)

$$\cos \Theta = \frac{\gamma_{sa} - \gamma_{sl}}{\gamma_{la}} \quad (2)$$

geht Gl. (1) in die sog. Young-Dupresche Formel über, die nur noch meßbare Größen enthält [3]:

$$W_{sl} = \gamma_{la} (1 + \cos \Theta) \quad (3)$$

Die Gl. (3) macht die physikalische Bedeutung des Randwinkels als Ausdruck für das maximal erreichbare Adhäsionsvermögen besonders deutlich.

Wird somit zum Beschichten der Arbeitselemente ein Werkstoff hoher Oberflächenenergie (hydrophiler Festkörper) gewählt, so ist eine Voraussetzung für das Spreiten der Flüssigkeit auf der Unterlage erfüllt. Weiterhin läßt sich durch Aufrauen der Beschichtungsoberfläche im Mikrobereich die Benetzung verbessern. Eine weitere Reduzierung des noch an den Kartoffeln haftenden Wassers kann durch kapillaren Flüssigkeitstransport erreicht werden. Zur Auswahl geeigneter saugfähiger Beschichtungswerkstoffe für die Arbeitselemente technischer Arbeitsmittel wurden Versuche durchgeführt, um die Wasseraufnahme verschiedenartiger saugfähiger Werkstoffe zu ermitteln. Gemessen wurden der verbleibende Haftwasseranteil sowie der zeitliche Verlauf der Oberflächen-

wasserabnahme an den Kartoffeln. Zur Anwendung kamen hauptsächlich Werkstoffe mit einem ausgebildeten Kapillarsystem und mit einem guten Wasseraufnahmevermögen. Bild 3 zeigt die durch den kapillaren Flüssigkeitstransport erreichte Oberflächenwasserabnahme, wobei eine geringere Restfeuchte von 0,4% als beim Abtropfen von einer freihängenden Kartoffel erzielt wurde [4].

#### 4. Beschreibung des Fest-Flüssig-Trennprozesses eines Walzenförderers mit beschichteten Walzen

Von der Bürstenwalzen-Düsen-Waschmaschine BDW 1200 werden die Kartoffeln über eine Giterrutsche dem Oberflächenwasserreduzierer zugeführt. Beim mechanischen Oberflächenwasserreduzieren auf dem Walzenförderer werden 3 Abschnitte des Fest-Flüssig-Trennprozesses unterschieden.

##### 1. Abschnitt

Auf der Giterrutsche und den ersten Walzen fließt das abtropfbare Wasser hauptsächlich durch den Einfluß der Gewichtskraft von den Kartoffeln ab. Unter dem Druck der nachdrängenden Flüssigkeit bilden sich an der Unterseite der Kartoffeln Tropfen aus. Die Tropfenmasse erreicht einen oberen Grenzwert, da die Gewichtskraft mit wachsender Tropfengröße steigt und die der Gewichtskraft entgegenwirkende Oberflächenspannung die Tropfen nicht mehr zu halten vermag.

Das an den Kartoffeln abfließende Wasser sammelt sich auch als Zwickelwasser zwischen Kartoffeln und Walze. Dieses Zwickelwasser wird im wesentlichen durch den Einfluß von Gewicht-, Reibungs- und Adhäsionskräften an die rotierenden Walzen übertragen und abgeführt.

Im 1. Abschnitt des Trennprozesses ist ein Abrollen der Kartoffeln während des Förderns über die Walzen unerwünscht. Deshalb ist mit einer niedrigen Walzenumfangsgeschwindigkeit zu arbeiten, so daß die Kartoffeln im Verband über die ersten Walzen geschoben werden.

##### 2. Abschnitt

Der 2. Abschnitt des Trennprozesses beginnt, wenn die Dicke des anhaftenden Wasserfilms so gering ist, daß im wesentlichen keine Filmströmung an der Kartoffeloberfläche mehr stattfindet und somit das abtropfbare Wasser weitgehend entfernt ist. Das noch an der Kartoffel verbleibende Wasser haftet als persistenter ganzflächiger Wasserfilm und besteht aus Adsorptionswasser und Adhäsionswasser.

Im 2. Abschnitt ist ein vielfaches Abrollen der Kartoffeln auf den Walzenoberflächen Voraussetzung für die mechanische Oberflächenwasserreduzierung durch Adhäsion. Infolge des nicht abgesättigten Kraftfeldes der Oberflächenmoleküle der Walzenbeschichtung bleibt beim Abrollen der nassen Kartoffeln Wasser durch die größere Adhäsion auf den Walzenoberflächen haften. Dieses abgetrennte Wasser wird durch unter den Walzen angeordnete Andrückrollen von den Walzen weitgehend abgeführt. Dadurch können die Walzen wieder Feuchtigkeit annehmen, bis sich ein Kräftegleichgewicht zwischen den die Flüssigkeit an die Kartoffel bindenden Kräften und dem äußeren, die mechanische Oberflächenwasserreduzierung bewirkenden Kraftfeld einstellt.

Bild 3

Oberflächenwasser in Abhängigkeit von der Verweilzeit auf verschiedenen Materialien; 1 freihängend, 2 Leinen, 3 Schwammtuch, 4 Filz, 5 Malimo, 6 Viskoseschwamm

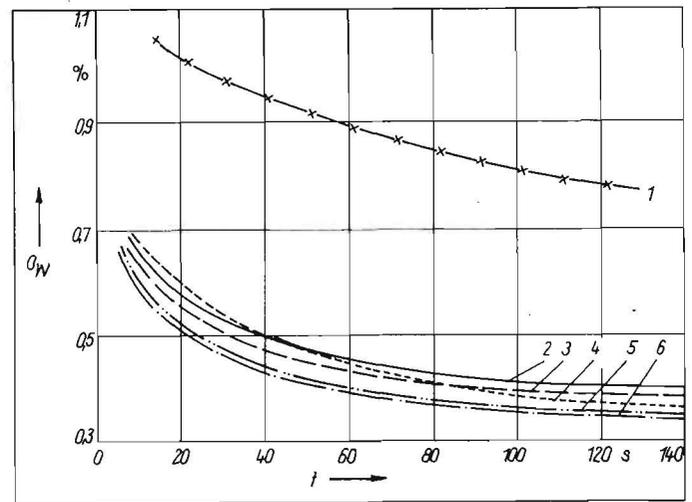
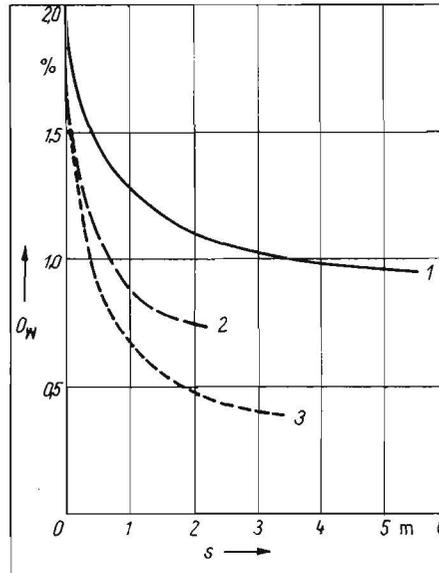


Bild 4

Abnahme des Oberflächenwassers in Abhängigkeit vom Förderweg durch unterschiedliche Arbeitsmittel; 1 Stabkettenförderer, 2 Stahlglattwalzenförderer, 3 Walzenförderer mit beschichteten Walzen



Im Bild 4 ist der Verlauf der Oberflächenwasserabnahme auf einem beschichteten Walzenförderer ( $\dot{m} \approx 20 \text{ t/h}$ ) im Vergleich zur Oberflächenwasserabnahme auf einem Stabkettenförderer und auf einem Stahlglattwalzenförderer dargestellt.

##### 3. Abschnitt

Die Gleichgewichtsrestfeuchte kann in einem 3. Abschnitt durch mit saugfähigen Werkstoffen beschichtete Walzen verringert werden, wobei, durch kapillare Saugwirkungen unterstützt, weitere Feuchtigkeit von den Kartoffeln abgetrennt wird.

Eine weitere Oberflächenwasserreduzierung ist auch durch einen Bandförderer möglich, der dem Walzenförderer nachgeordnet und mit saugfähigem Fördergurt sowie Ausdrückrollen ausgerüstet ist.

Der nach dem Verlassen des Oberflächenwasserreduzierers an den Kartoffeln haftende Restfeuchteanteil wird von der Dauer und der Intensität der Einwirkung bestimmt. Mit 0,3 bis 0,5% Restfeuchte ist eine Grenze für die Wirtschaftlichkeit der mechanischen Oberflächenwasserreduzierung erreicht. Aus Haltbarkeitsgründen ist jedoch eine vollständige Oberflächenwasserabführung notwendig. Bei abgepackten Kartoffeln wird das Abtrocknen durch freie Lüftung in der Versandhalle bewirkt. Es empfiehlt sich, Paletten mit perforiertem Boden einzusetzen und in einem Abstand von etwa 10 cm aufzustellen.

Der Standort ist so zu wählen, daß eine gute Luftzirkulation gewährleistet ist. Ähnliche Anforderungen gelten auch für die Zwischenlager im Handel. Durch Gebläseeinsatz kann das Abtrocknen wesentlich beschleunigt werden. Für eine Zwischenlagerung der gewaschenen Kartoffeln im Haufwerk wurde auf der Grundlage theoretischer Untersuchungen von Bathke [5] zum Stoff- und Wärmeaustausch in Schüttungen pflanzlicher Stoffe ein Rechnerprogramm in BASIC entwickelt. Der Wärme- und Stoffaustausch beim Abtrocknen und in der Lagerphase läßt sich damit in begrenztem Maß simulieren.

#### 5. Zusammenfassung

Die nach dem Naßaufbereiten an den Kartoffeln haftende Feuchtigkeit kann sich negativ auf die Haltbarkeit auswirken. Deshalb ist eine schnelle und möglichst vollständige Oberflächenwasserreduzierung unbedingt erforderlich. Auf der Grundlage theoretischer Überlegungen und experimenteller Untersuchungen werden Lösungsvarianten und Versuchsergebnisse zum mechanischen Oberflächenwasserreduzieren dargestellt. Als Vorzugslösung wird ein Walzenförderer mit beschichteten Walzen und Andrückrollen vorgeschlagen.

#### Literatur

- [1] Autorenkollektiv: Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Naßaufbereitung von Speisekartoffeln. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1984 (unveröffentlicht).
- [2] Märkisch, M.: Einfluß der Naßaufbereitung auf die Haltbarkeit von Speisekartoffeln. Humboldt-Universität Berlin, Dissertation 1983.
- [3] Bischof, C.; Possart, W.: Adhäsion – theoretische und experimentelle Grundlagen. Berlin: Akademie-Verlag 1983.
- [4] Fink, S.: Untersuchungen zur Oberflächenwasserreduzierung naßaufbereiteter Speisekartoffeln mittels saugfähiger Materialien. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1985.
- [5] Bathke, K.: Untersuchungen zum Wärme- und Stoffaustausch in Schüttungen pflanzlicher Haufwerke. Ingenieurbüro für Energetik in der Landwirtschaft Rostock, Zwischenbericht 1974 (unveröffentlicht). A 4943