

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

Thermische und mechanisch-thermische Verfahren zur Konservierung von Kartoffeln

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

In der Bundesrepublik wurden im Jahre 1962 etwa 25 Mill. t Kartoffeln erzeugt. Wie **Tafel 1** zeigt, wurden davon etwa 7,5 Mill. t für die Ernährung und etwa 12 Mill. t, also fast die Hälfte, für die Verfütterung verwendet. Ein sehr großer Teil der zuletzt genannten Menge muß konserviert werden. Für diesen Zweck gibt es physikalische, chemische und biochemische Methoden. Die bekanntesten sind die Kartoffeltrocknung und das Einsäuern.

Tafel 1. Verwendung der in der Bundesrepublik im Jahre 1962 erzeugten Kartoffeln.

Erzeugung	25 091 000 t
Bestandsveränderung in erster Hand (Silo u. dgl.)	930 000 t
Einfuhr	293 000 t
Ausfuhr	98 000 t
Gesamtverbrauch	24 356 000 t
Verwendung:	
Saat und Schwund	4 310 000 t
Ernährung	7 548 000 t
Industrie	433 000 t
Fütterung	12 065 000 t
	24 356 000 t

Während das Einsäuern vorwiegend zur Konservierung der Futterkartoffel im eigenen Betrieb dient, schafft die Kartoffeltrocknung ein marktfähiges Produkt und damit die Möglichkeit zur besseren Verwertung von örtlichen oder zeitlichen Überschüssen. Ferner hat die Trocknung den Vorteil, daß sich das Produkt mit geringerem Arbeitsaufwand gegebenenfalls und mit einfachen Apparaten automatisch verfüttern läßt. Dennoch hat sich die Kartoffeltrocknung aus wirtschaftlichen Gründen bisher nur in kleinem Umfang eingeführt.

Bezeichnungen

Im folgenden umfaßt die Bezeichnung „thermisches Verfahren“ den Feuchtigkeitsentzug durch Wärmeenergie, im Gegensatz zum „mechanischen Verfahren“, wobei der Entzug auf mechanische Weise geschieht. Die Kombination beider Verfahren wird als mechanisch-thermisches Verfahren bezeichnet.

Bei Trocknungs- und Entwässerungsvorgängen wird der Fortschritt des Verfahrens durch die Angabe der im Material enthaltenen Flüssigkeitsmenge charakterisiert. Die Angabe dieser Menge²⁾ kann auf verschiedene Weise geschehen, wodurch man zu unterschiedlichen Zahlenwerten kommt. So bezieht man die in dem Gut enthaltene Flüssigkeitsmenge sowohl auf die feuchte Gesamtmasse (wet-basis):

$$\text{Feuchtegehalt des Gutes } U = \frac{m_w}{m_w + m_s}$$

¹⁾ Bei der Niederschrift und Auswertung hat Herr Dipl.-Ing. Dipl.-Landw. *Frithjof Schoedder* mitgewirkt. Alle Messungen- und die Darstellung der Ergebnisse wurden von Herrn *Helmut Dost* ausgeführt. Die Arbeiten wurden finanziell vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, gefördert. Allen sei auch an dieser Stelle bestens gedankt.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse einleitender Untersuchungen zu dem genannten Thema mitgeteilt.

Prof. Dr.-Ing. W. Batel ist Direktor des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

als auch auf die Trockensubstanz (dry-basis):

$$\text{Feuchtegrad des Gutes } X = \frac{m_w}{m_s}$$

Zwischen diesen beiden Werten besteht die Beziehung

$$X = \frac{U}{1 - U} \text{ oder } U = \frac{X}{1 + X}$$

die sich graphisch darstellen läßt, **Bild 1**.

Mit diesem Bild ist ein schneller Übergang von U auf X möglich. Ein Beispiel dafür ist eingezeichnet. Es seien 100 kg Kartoffeln gegeben, die 20 kg Trockenmasse und 80 kg Wasser enthalten. Es ist also der Feuchtegehalt $U = 80/100 = 0,8 = 80\%$ und der Feuchtegrad $X = 80/20 = 4 = 400\%$.

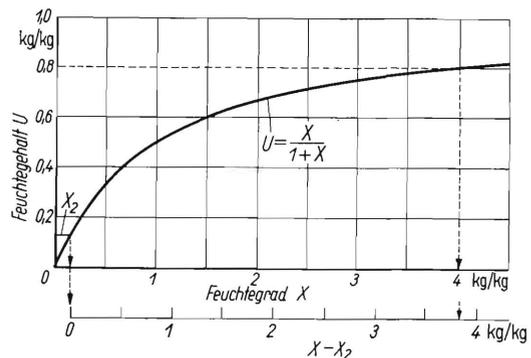


Bild 1. Zusammenhang zwischen dem Feuchtegehalt U und dem Feuchtegrad X sowie der bei der Trocknung zu entfernenden Wassermenge.

Beide Feuchteangaben werden nebeneinander verwendet. Der Feuchtegehalt U gibt ein anschauliches Bild eines Gutzustandes, indem sofort zu erkennen ist, welcher Bruchteil der vorhandenen Gesamtmasse Flüssigkeit ist. Der Feuchtegrad X dagegen gibt Veränderungen des Gutzustandes übersichtlicher wieder, weil hier die Bezugsgröße die Masse der Trockensubstanz ist, die bis auf die meist zu vernachlässigenden Verlustmengen während eines Trocknungsprozesses konstant ist, wogegen sich die Gesamtmasse als Bezugswert für U fortlaufend ändert. Bei der Massenbilanz von Trocknungsprozessen ergeben sich daher bei Verwendung des Feuchtegrades X einfachere Beziehungen.

In Bild 1 lassen sich der X -Skala weitere Skalen zuordnen. So kann man z. B. an einen Maßstab denken, der um den Feuchte-

²⁾ Verwendete Bezeichnungen in Anlehnung an die „Trocknungstechnischen Grundbegriffe“ des VDMA-Arbeitsblattes 24 351 (Okt. 1963):

m_w	kg	Masse der im Gut enthaltenen Flüssigkeit
m_s	kg	Masse der Trockensubstanz
U	kg/kg	Feuchtegehalt (Feuchtigkeitsgehalt) des Gutes.
	%	Feuchte bezogen auf die feuchte Gesamtmasse.
X	kg/kg	Feuchtegrad des Gutes. Feuchte bezogen auf die Masse der jeweiligen Trockensubstanz.
	%	Bezogener Feuchtegrad (Quotient aus dem jeweiligen Feuchtegrad und dem Anfangsfeuchtegrad des Gutes)
X/X_0	%	
H_u	kcal/kg	unterer Heizwert
i	kcal/Nm ³	Wärmeinhalt
p	kp/cm ²	Kolbendruck
t	min	Preßzeit
z	—	Beschleunigungsziffer $r \omega^2/g$,

worin $2r$ den lichten Durchmesser der Zentrifugentrommel, ω die Winkelgeschwindigkeit und g die Schwerebeschleunigung bedeuten.

Der Index 0 gibt an, daß sich die Werte auf das Rohgut beziehen.

grad X_2 eines lagerfähigen Gutes verschoben ist und der es gestattet, sofort abzulesen, wieviel kg Flüssigkeit aus dem Rohstoff pro kg der Trockensubstanz abzuscheiden sind. Durch Multiplikation mit der in 100 kg Rohstoff enthaltenen Trockenmasse ergibt sich dann aus diesem Wert die Flüssigkeitsmenge, die aus 100 kg Rohstoff entfernt werden muß. Hiermit hat man für die thermischen Verfahren einen Anhalt für die aufzuwendende Wärmeenergie.

Während die Trocknung beim rein thermischen Feuchtigkeitsentzug meist ohne Trockensubstanzverlust abläuft, ist bei den mechanischen Verfahren mit Verlusten, besonders an löslichen Substanzen, zu rechnen. Bei dem thermischen Verfahren genügt es daher, den Ablauf durch Angabe des Feuchtegrades zu kennzeichnen. Dagegen muß bei den mechanischen Verfahren, neben der Änderung des Feuchtegrades, auch die Änderung der Trockensubstanzmenge angegeben oder zumindestens beachtet werden.

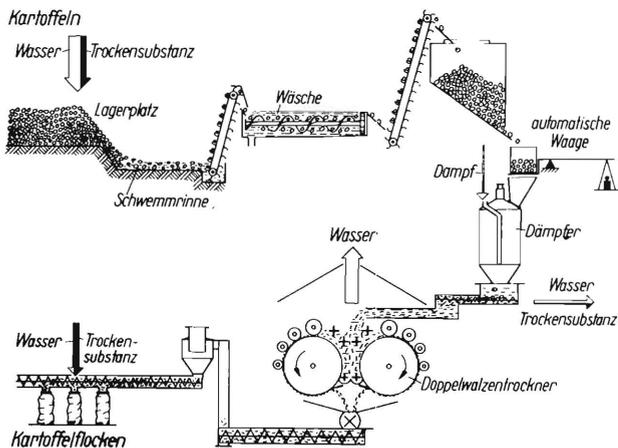


Bild 2. Verfahrensschema der Herstellung von Kartoffelflocken.

Ist die Rohstoffmenge $m_0 = m_{S0} (1 + X_0)$, so verbleibt hiervon nach mechanischer Abtrennung von Flüssigkeit die Masse $m = m_S (1 + X)$.

Betrachtet man den im vorentwässerten Feuchtgut verbliebenen Flüssigkeitsrest im Hinblick auf die beim anschließenden thermischen Verfahren erforderliche Wärmeenergie, so ist hierfür das Mengenverhältnis

$$\frac{m_W}{m_{W0}} = \frac{m_S}{m_{S0}} \frac{X}{X_0}$$

aufschlußreich. Hieraus ist der Trocknungsaufwand für vor- und nicht vorentwässertes Gut zu erkennen. Dieser ist abhängig vom Verhältnis der Trockensubstanzmengen und vom Verhältnis der Feuchtegrade. Bei einem mechanischen Entfeuchtungsverfahren soll das Verhältnis m_S/m_{S0} nur wenig vom Wert 1 abweichen, und das Verhältnis X/X_0 möglichst klein werden. Zur Bewertung der mechanischen Flüssigkeitsabtrennung bei den verschiedenen Verfahren wird im folgenden, neben dem erzielten Feuchtegrad X , dieses Verhältnis X/X_0 , das bezogene Feuchtegrad genannt werden soll, angegeben.

Im Hinblick auf die später angegebenen Meßwerte sei vorweg darauf hingewiesen, daß die bei den Versuchen zur mechanischen Flüssigkeitsabtrennung aufgetretenen maximalen Verluste an Trockensubstanz in Bild 19 angegeben sind.

Thermische Verfahren der Flüssigkeitsabtrennung

Seither werden im wesentlichen zwei Arten der Kartoffeltrocknung angewandt: die Trocknung von gedämpften Kartoffeln mit dem Walzentrockner (Kartoffelflocken) und die Trocknung von zerschnitzelten Kartoffeln im Trommel- oder Stromtrockner (Kartoffelschnitzel). In Bild 2 ist das Verfahrensschema für Kartoffelflocken dargestellt. Die Kartoffeln gelangen über eine Schwemmrinne und eine Wäsche in einen Bunker. Daran schließt sich der Dämpfvorgang an. Nun wird das Gut in einen breiähnlichen Zustand gebracht und im Walzentrockner auf die beheizten, sich langsam drehenden Walzen aufgetragen. Das

getrocknete Gut wird durch Schaber von den Walzen abgenommen und anschließend abgesackt. Um 1 kg Wasser auszutrocknen, sind etwa 1200 kcal notwendig.

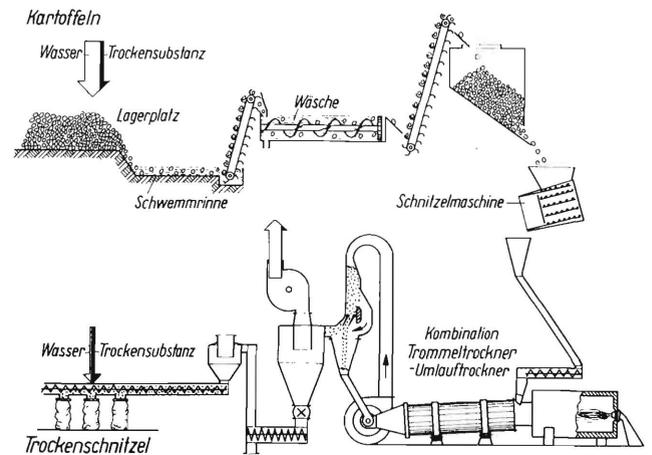


Bild 3. Schema des Herstellungsverfahrens von Kartoffelschnitzeln.

In Bild 3 ist das Schema der Trocknung von geschnitzelten Kartoffeln angegeben. In den ersten Stufen unterscheidet sich das Verfahren nicht von dem soeben erklärten. Vom Bunker gelangen die Kartoffeln in eine Schnitzmaschine, wo sie auf eine bestimmte Größe zerkleinert werden. Anschließend gibt man die Schnitzel in einen Trommel- oder in einen kombinierten Trommelumlauf Trockner. Das getrocknete Gut wird in einem Zyklon abgeschieden. Der Energiebedarf der Trommeltrockner liegt aus mehreren Gründen niedriger als der der Walzentrockner. Beim Trommeltrockner wendet man für vorliegenden Zweck eine direkte Beheizung an. Es entfällt somit der Wirkungsgrad des Lufterhitzers oder des Dampferzeugers. Des weiteren hängt die notwendige spezifische Wärmeenergie wesentlich von dem Temperaturabfall im Trockner ab. Um dieses deutlich zu machen, sei auf den Wirkungsgrad

$$\eta_{tr} = \frac{i_1 - i_2}{i_1}$$

hingewiesen, wobei i_1 den Wärmeinhalt der zugeführten Verbrennungsgase und i_2 den der Abgase in kcal/Nm³ angibt. Schwieter und Huber [1] haben diesen Wirkungsgrad für einen Trommeltrockner und verschiedene Parameter errechnet. Die Ergebnisse sind in Bild 4 dargestellt. Aus obigen Ausführungen folgt, daß die Wärmeenergie um so besser ausgenutzt wird, je

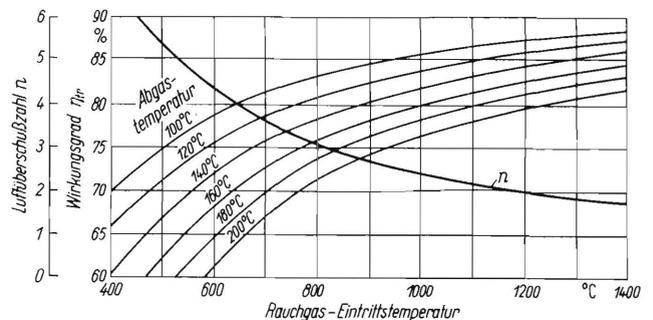


Bild 4. Wirkungsgrad von direkt beheizten Trommeltrocknern nach Schwieter und Huber [1].
Ölfeuerung; unterer Heizwert $H_u = 9700$ kcal/kg; Verluste 5%.

größer die Differenz zwischen i_1 und i_2 ist. Da die Abgastemperatur aus Gründen der Luftsättigung nicht beliebig abgesenkt werden kann, strebt man an, die Rauchgaseintrittstemperatur möglichst hoch zu wählen. Inwieweit diesem Bestreben durch das Verhalten des zu trocknenden Stoffes Grenzen gesetzt sind, bleibt noch zu erörtern.

Für die Bewertung eines Trockners ist weiter der spezifische Energiebedarf, also der Bedarf an Wärmeinheiten pro ausgedampfte Wassermenge (kcal/kg Wasser) aufschlußreich. Mit

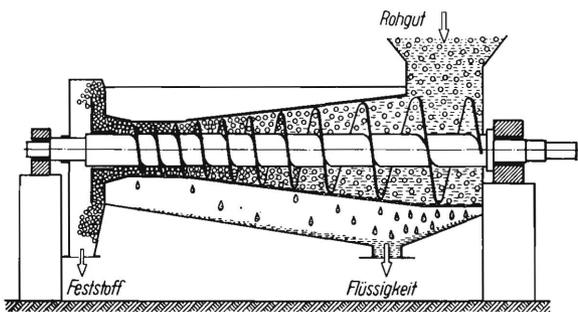


Bild 5. Schema einer Seiherschneckenpresse.

Hilfe von Bild 4 läßt sich dieser Wert näherungsweise berechnen, indem man die für die Verdunstung notwendige Wärmeenergie, die sich aus der Energie zur Erwärmung des Gutes und der Verdampfungswärme des Wassers zusammensetzt, durch den in Bild 4 gezeigten Wirkungsgrad dividiert.

Nach Bild 4 ergibt sich z. B. für eine Eintrittstemperatur von 900°C und eine Abgastemperatur von 120 °C ein Wirkungsgrad von etwa 82%. Nimmt man für die notwendige Verdunstungsenergie einen Wert von etwa 600 kcal/kg Wasser an, so ergibt sich damit ein spezifischer Wärmeverbrauch von etwa 730 kcal/kg Wasser. Dieser Wert soll in direkt beheizten Trommeltrocknern mit Diffusionsschnitzeln als Trockengut nahezu erreicht werden. Die Stoffeigenschaften von Kartoffeln erfordern jedoch gewisse trocknungstechnische Maßnahmen dahingehend, daß man mit einem spezifischen Wärmebedarf von etwa 800 kcal/kg Wasser überschlägig rechnen muß.

Aus dem Vorstehenden mag sichtbar werden, daß man sich über den Energieverbrauch ein recht gutes Bild verschaffen kann. Schwieriger ist die Frage nach den zulässigen Temperaturen. Die Lufttemperatur sagt über die Höhe der Temperaturen in dem zu trocknenden Gut noch nichts aus. Aufschlußreich allein ist die Guttemperatur, die wesentlich von dem jeweiligen Feuchtezustand abhängt.

Damit wird eine weitere wichtige Frage, die gleichmäßige Trocknung des Materials im Trockner, angeschnitten. Dieser Vorgang hängt im wesentlichen von der Größenverteilung des zugeführten Gutes ab. Wenn man in der Lage wäre, ein völlig einheitliches Material nach Größe und Form dem Trockner zuzuführen, so wäre es sicher möglich, für alle Teile eine bestimmte Grenztemperatur einzuhalten. Da sich aber eine solche Forderung praktisch nicht verwirklichen läßt, muß man in Kauf nehmen, daß kleine Teilchen übertrocknet werden und unter Umständen Temperaturen annehmen, die über der zulässigen Grenztemperatur liegen.

Aus diesen Gründen könnte daran gedacht werden, das dem Trockner zugeführte Material vorher zu klassieren und an verschiedenen Stellen in die Trommel einzuführen.

Mechanisch-thermische Verfahren der Flüssigkeitsabtrennung

Bei Massengütern wie Kartoffeln sind im allgemeinen hohe Konservierungskosten aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu vertreten. Es wurde schon erwähnt, daß die bisherigen Trocknungskosten so hoch sind, daß das getrocknete Gut noch nicht hinreichend konkurrenzfähig ist. Um zu einer Kostensenkung zu kommen, könnte man daran denken, vor dem Trocknen einen Teil der Flüssigkeit aus der Kartoffel auf mechanische Weise zu entfernen. Bei einem solchen Verfahren ist keine Energie zum Erwärmen des Gutes und vor allem zum Verdunsten des Wassers, also zur Überführung in den gasförmigen Zustand, erforderlich.

Zur mechanischen Flüssigkeitsabtrennung muß man die Kartoffel zerkleinern, damit die Zellflüssigkeit freigelegt wird. Diese freie Flüssigkeit läßt sich auf verschiedene Weise abtrennen, beispielsweise durch Sedimentieren und Verdichten im Zentrifugalfeld oder durch Filtrieren in Zentrifugen oder in Hochdruckfiltern. Es sind auch schon Versuche in dieser Hinsicht gemacht worden. So sei nur an die Arbeit von Schardey [2] erinnert, der

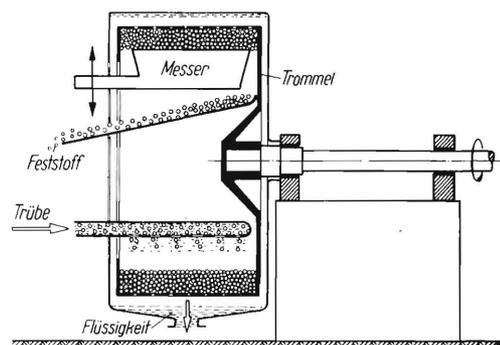


Bild 6. Schema einer Schältschleuder. Der Programmablauf: Füllen, Schleudern und Ausschälen bei verminderter Drehzahl.

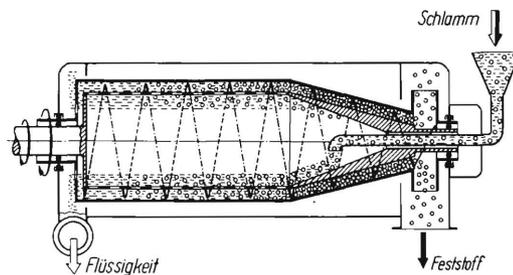


Bild 7. Schema eines Dekanters. Der Trennvorgang beruht auf Sedimentieren und Verdichten des Sediments.

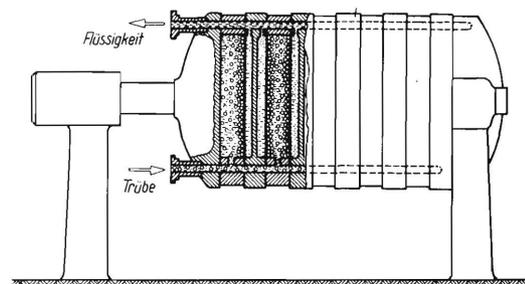


Bild 8. Wirkungsweise einer Filterpresse. Die Wirkungsweise ist: Füllen, Entfeuchten mittels Druckluft und Entleeren durch Öffnen der Kammern.

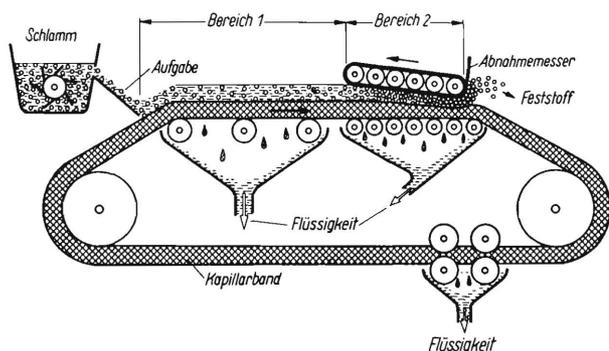


Bild 9. Kapillarbandfilter, Bauart Gutschow. Im Bereich 1 wandert die Flüssigkeit durch Schwere und Kapillarwirkungen in das Kapillarband; im Bereich 2 wird dieser Vorgang durch Anpressen unterstützt.

dem Trockner eine Packpresse vorgeschaltet hat, oder an Arbeiten, wo versucht worden ist, mit einer Schneckenpresse eine Vorentwässerung zu erzielen [3]. Diese Vorschläge haben sich bisher jedoch deswegen nicht durchgesetzt, weil die Packpresse auf der einen Seite zu viel Arbeitsaufwand erfordert und bei der derzeitigen Bauart der Schneckenpresse zu große Verluste auftreten. Es wurde deshalb durch nachstehend beschriebene Laborversuche zunächst prinzipiell zu klären versucht, auf welche Weise und in welchem Umfang man aus zerkleinerten Kartoffeln Flüssigkeit mechanisch abtrennen kann und welche Verluste an Nährstoffen

dabei auftreten. Die Laborversuche werden dabei im wesentlichen auf die Verfahren beschränkt, die sich großtechnisch auf anderen Gebieten bereits bewährt haben. In Frage kommen beispielsweise die Schneckenpresse, **Bild 5**, die Filter- und Siebschleudern, z. B. die Schältschleuder, **Bild 6**, der Dekanter, **Bild 7**, die Filterpresse, **Bild 8**, und das Kapillarbandfilter, **Bild 9**.

Laborversuche über die mechanische Entfeuchtung von Kartoffeln

Die Laborversuche wurden, wie bereits erwähnt, mit Geräten durchgeführt, die den großtechnischen im Prinzip entsprechen, und zwar mit

- a) einer Kolbenpresse
- b) einer Laborfilterpresse und
- c) drei Anordnungen zum Ausschleudern der Flüssigkeit.

Die Versuche mit der Kolben- und der Laborfilterpresse wurden mit geriebenen Kartoffeln mit einer Teilchengröße von 0,05 bis 1,0 mm durchgeführt, während mit den Ausschleudergeräten, außer dem Kartoffelreibsel, auch Kartoffelschnitzel von 0,4; 1,5 und 4,5 mm entwässert wurden.

Als Kolbenpresse wurde eine Vorrichtung nach **Bild 10** verwendet, wobei die nötige Kraft durch eine nicht gezeigte hydraulische Einrichtung erzeugt wird. Der Preßzylinder hat eine kreisförmige Querschnittsfläche von 50 cm² und ist an seinem unteren Ende durch eine Lochplatte geschlossen, die ein Sieb und ein Filtertuch abstützt. Der Kolben ist gegen den Zylinder durch einen eingelegeten Ring abdichtet. Mit dieser Anordnung wurden unterschiedliche Einfüllmengen verschieden großen Drücken ausgesetzt. Die im Preßkuchen verbleibende Feuchte wurde bestimmt.

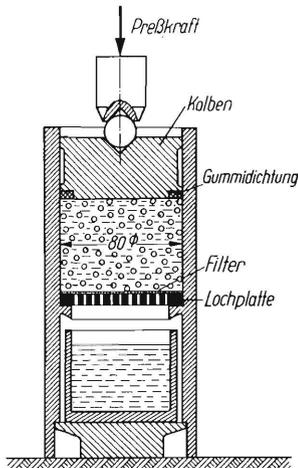


Bild 10. Versuchsanordnung zum Auspressen von geriebenen Kartoffeln.

Bild 11 zeigt den Verlauf der im Gut verbleibenden Feuchte beim Auspressen einer konstanten Füllmenge, die eine Füllhöhe von 50 mm ergab, in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen hohen Drücken als Parameter. Die Feuchte läßt sich bei höheren Drücken von einem Ausgangswert von $U_0 = 80\%$ bis auf $U_{min} = 43\%$ herabsetzen.

Was eine solche Entfeuchtung für die sich anschließende Trocknung bedeutet, ist aus **Bild 12** besser ersichtlich. Hier ist für dieselben Versuche der Feuchtegrad X und der bezogene Feuchtegrad X/X_0 über der Zeitachse aufgetragen. Nach diesem Bild ergibt sich ein bezogener Feuchtegrad $X/X_0 = 18,8\%$. Setzt man als Wert für ein dauerhaftbares Produkt einen zulässigen Feuchtegehalt $U_2 = 13\%$ an, was einem Feuchtegrad $X_2 = 0,149$ entspricht (**Bild 1**), so ergibt das für ein Rohgut mit einem Anfangsfeuchtegehalt $U_0 = 80\%$ einen bezogenen Feuchtegrad $X_2/X_0 = 3,7\%$. Mit diesen Zahlen ermittelt man die Flüssigkeitsmenge (in % der im Rohstoff vorhandenen Flüssigkeit), die beim Trocknen noch abgeschieden werden muß:

$$\frac{m_w}{m_{w0}} = \frac{m_s}{m_{s0}} \left(\frac{X}{X_0} - \frac{X_2}{X_0} \right) = \frac{m_s}{m_{s0}} (18,8 - 3,7) = \frac{m_s}{m_{s0}} 15,1.$$

Beim Abpressen mit der Kolbenpresse wurde ein Trockensubstanzverlust von 19% bestimmt, also $m_s/m_{s0} = 0,81$. Damit wird

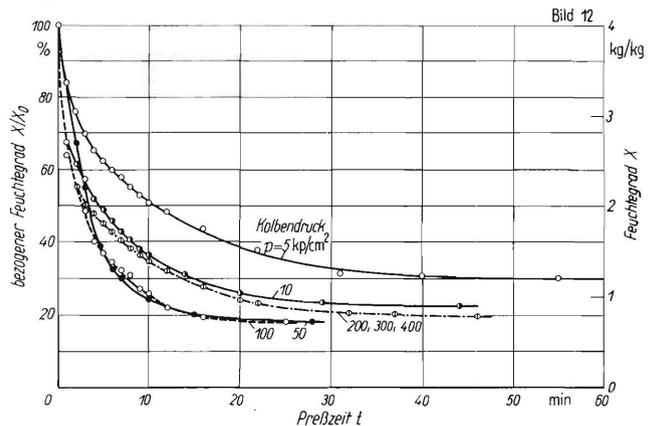
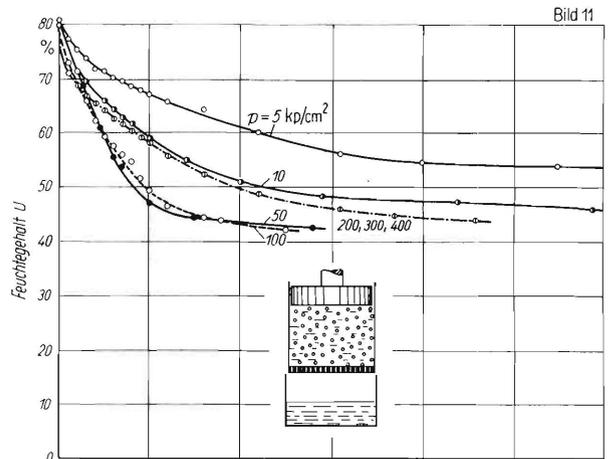


Bild 11 und 12. Verlauf der Entfeuchtung beim Auspressen in der Kolbenpresse, gekennzeichnet durch den Feuchtegehalt und den bezogenen Feuchtegrad, in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Drücken. Die konstante Füllmenge ergab eine Füllhöhe von 50 mm.

$m_w/m_{w0} = 0,81 \cdot 15,1 = 12,2\%$. Diesem niedrigen Wert steht allerdings der Trockensubstanzverlust von 19% gegenüber.

Aus **Bild 11** und **12** ist auch zu erkennen, daß es keinen Zweck hat, den Druck über ein bestimmtes Maß hinaus zu steigern. Das läßt sich noch anschaulicher zeigen, wenn man den bezogenen Feuchtegrad X/X_0 in Abhängigkeit vom Druck darstellt, mit der Preßzeit als Parameter, **Bild 13**. Danach wird bei einem Kartoffelschlamm die beste Entfeuchtung bei Drücken zwischen etwa 50 bis 100 kp/cm² erreicht.

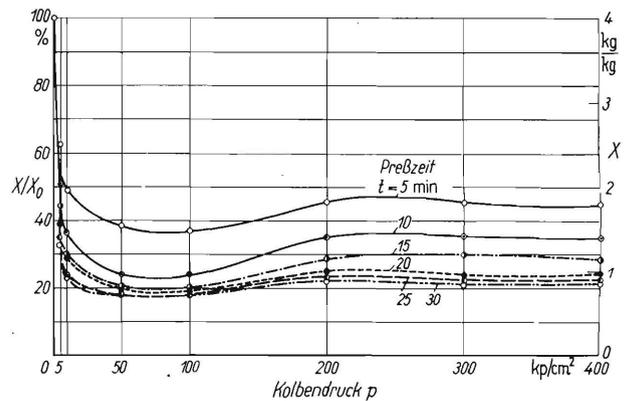


Bild 13. Bezogener Feuchtegrad X/X_0 in Abhängigkeit vom Kolbendruck, mit der Preßzeit als Parameter.

Als weitere wichtige Einflußgröße beim Auspressen ist die Schichtdicke bzw. Einfüllmenge zu nennen. In **Bild 14** ist der bezogene Feuchtegrad bei konstantem Preßdruck und verschiedener Einfüllmenge aufgetragen. Alle Kurven streben gegen einen etwa gleichen Grenzwert. Die Geschwindigkeit der Ent-

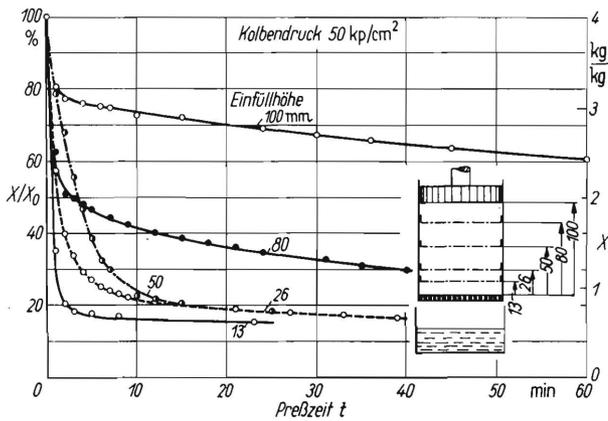


Bild 14. Verlauf des bezogenen Feuchtegrades X/X_0 beim Auspressen in Abhängigkeit von der Preßzeit für verschiedene Einfüllhöhen.

feuchtung ist jedoch sehr unterschiedlich, vor allem steigt sie mit abnehmender Einfüllmenge stark an. Um beim Auspressen einen bezogenen Feuchtegrad X/X_0 von etwa 20% in einer vertretbaren Zeit (20 min) zu erreichen, sind nur Einfüllhöhen bis maximal 50 mm zulässig. Damit scheidet diese Anordnung für eine Massenverarbeitung aus. Man könnte daran denken, kontinuierliche Walzen- oder Innenwalzenpressen zu entwickeln, bei denen mit einer Dünnschichtauspressung gearbeitet wird.

Bild 15. Versuchsanordnung mit einer Laborfilterpresse.

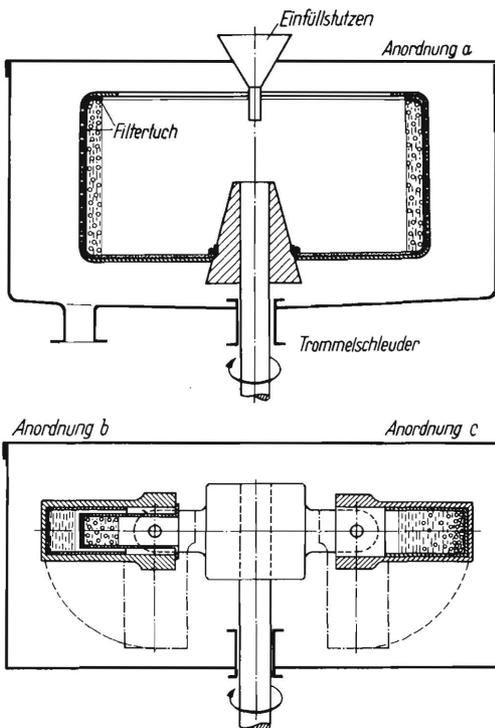
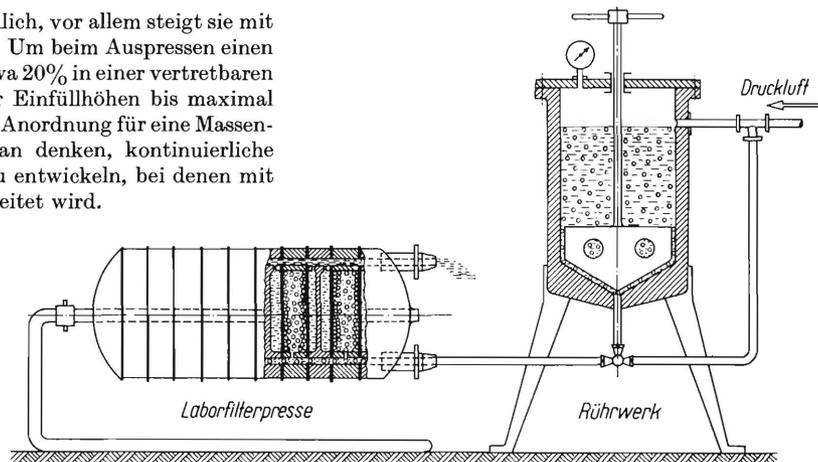


Bild 16. Ausführung drei verschiedener Anordnungen zum Ausschleudern:
a Filtrationstrommelschleuder $z = 1000$
b Filtrationsflaschenschleuder $z = 1000$
c Sedimentationsflaschenschleuder $z = 2100$ (als Modell für den Dekanter)

Die verwendete Laborfilterpresse ist in **Bild 15** dargestellt. Es wurden bisher nur Tastversuche durchgeführt, die aber zeigen, daß sich bei einem Druck von etwa 6 kp/cm² ein bezogener Feuchtegrad von 20% erzielen läßt. Dieses Ergebnis ist sehr zu beachten, weil die Hochdruckfiltration ein recht billiges und bewährtes Verfahren ist.

Die Entfeuchtung durch Beschleunigungsfelder wurde in drei Anordnungen nach **Bild 16** untersucht. Der wirksame Durchmesser und die Drehzahl waren bei den Anordnungen a und b mit porösen Böden gleich, somit auch die Beschleunigungsziffer $z = 1000$. Bei der Anordnung c betrug $z = 2100$.

In **Bild 17** ist die durch Abschleudern zu erzielende Entwässerung bei unterschiedlicher Vorzerkleinerung der Kartoffeln dargestellt. Während in der Trommelschleuder a nur Kartoffelreibsel verarbeitet wurde, wurden die Becher der Schleuderanordnung b auch mit Kartoffelschnitzeln von 4,5; 1,5 und 0,4 mm Dicke in konstanter Höhe von 50 mm gefüllt. In **Bild 17** ist zu sehen, daß der bezogene Feuchtegrad in dem Maße sinkt, wie die Zellflüssigkeit freigelegt wird. Bei geriebenen Kartoffeln

ist eine Entfeuchtung auf $X/X_0 = 20\%$ des ursprünglichen Feuchtegrades möglich; doch hängt die Schleuderzeit von der Schichtdicke ab. Zwischen den beiden Schleuderarten müssen sich in der Abhängigkeit der Entfeuchtung von der Schleuderzeit auch noch deswegen Unterschiede ergeben, weil bei der Trommelschleuder der Schlamm gleichmäßig während des Betriebes zugeführt wird und sich der Filterkuchen allmählich aufbaut, während die Becher der Flaschenschleuder im Stillstand der Maschine voll gefüllt werden.

Bei der Versuchsanordnung c, die dem Vorgang im Dekanter entspricht (Sedimentation und Kompression im Zentrifugalfeld), erreicht man einen bezogenen Feuchtegrad $X/X_0 = 26\%$, bei einer allerdings doppelt so großen Zentrifugenzahl z wie bei den Filtrationsschleudern.

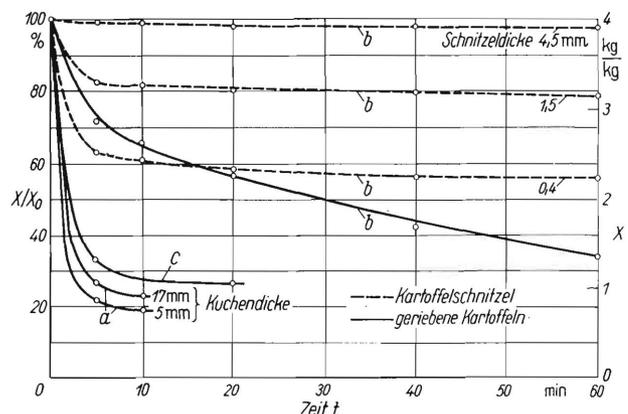


Bild 17. Bezogener Feuchtegrad X/X_0 bei den verschiedenen in **Bild 16** dargestellten Anordnungen zum Schleudern.
Einfüllhöhe bei b ≈ 50 mm

Eine Zusammenstellung der Meßergebnisse beim Pressen und Schleudern zeigt **Bild 18**. Dazu sind auf einer beliebig gewählten Zeitachse weitere Ergebnisse eingetragen. Mit der Labornutsche *f*, die das Vakuumfilter und bis zu einem gewissen Grade auch das Kapillarbandfilter repräsentiert, ist nur eine verhältnismäßig geringe Entfeuchtung mit einem Wert $X/X_0 = 55\%$ möglich. Als ausschließliche mechanische Entfeuchtungsmethoden scheiden diese Verfahren aus. Die Werte für die Laborfilterpresse *d* sind mit einem Wert $X/X_0 = 28$ bzw. 19% eingetragen. Der ungünstigere Wert von 28% ist auf eine schlechte Betriebsweise zurückzuführen.

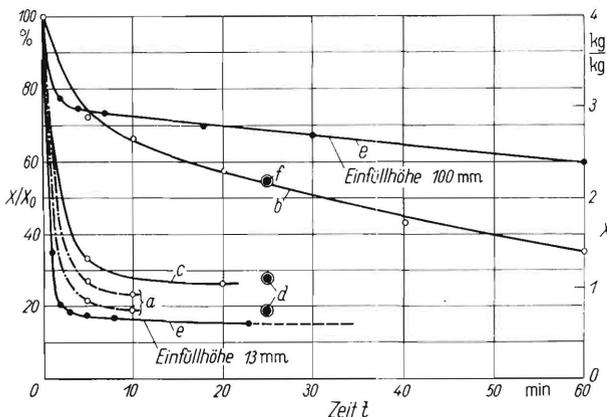


Bild 18. Zusammenstellung der Ergebnisse für die bei Laborversuchen erzielte Entfeuchtung von geriebenen Kartoffeln.

- a Filtrationsstrommelschleuder (Bild 17)
- b Filtrationsfläschenschleuder (Bild 17)
- c Sedimentations- und Kompressions-Fläschenschleuder (Bild 17)
- d Filterpresse (Bild 15)
- e Kolbenpresse (Bild 14)
- f Labornutsche als Modell für das Vakuumfilter
Dieses Ergebnis repräsentiert bis zu einem gewissen Grade auch das Kapillarbandfilter.

An Hand der bisherigen Ergebnisse ist festzustellen, daß von den bekannten Verfahren zur mechanischen Flüssigkeitsabtrennung für die Kartoffelentfeuchtung verschiedene Schleuderbauarten und das Hochdruckfilter oder Kombinationen, wie Filter/Schleuder oder Schleuder/Schleuder (z. B. Dekanter/Schleuder mit Sieb- oder Filterboden) in Frage kommen. Welche weiteren Verfahren noch aussichtsreich erscheinen, muß durch weitere Versuche geklärt werden.

Nährstoffverluste bei der mechanischen Flüssigkeitsabtrennung

Aus den aufgefangenen Filtratmengen wurden die mit dem Entfeuchten verbundenen Nährstoffverluste bestimmt. Die wichtigsten 5 Werte sind in **Bild 19** aufgetragen. Für das Ausgangsmaterial, die Kartoffelknolle, ist in der linken Säule der

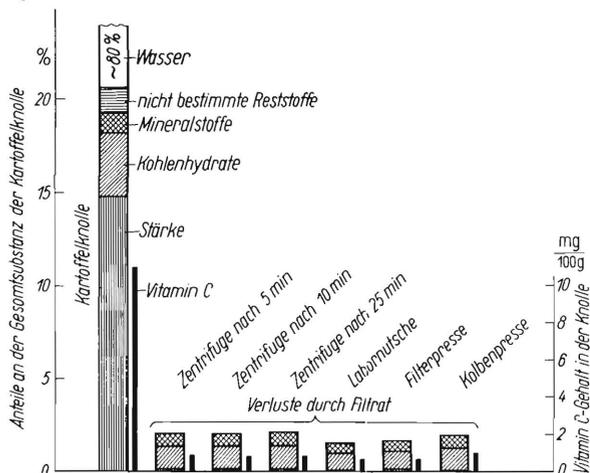


Bild 19. Anteil der Nährstoffe, die mit der bei den mechanischen Verfahren abgetrennten Flüssigkeit verloren gehen, bezogen auf die feuchte Ausgangsmasse.

Gehalt an Hauptnährstoffen angegeben. Die für die Verluste bestimmten Säulen beziehen sich auf das Ausgangsmaterial und sind in ihrer Größe direkt mit den entsprechenden Säulenabschnitten für die Kartoffelknolle zu vergleichen.

Bei diesem Vergleich erkennt man, daß vom Hauptnährstoff „Stärke“ nur ein verschwindender Anteil verlorenght, daß der mittlere Verlust an Vitamin C mit $7,5\%$ am Ausgangsvitamin-gehalt gering bleibt, während der Verlust an löslichen Kohlenhydraten $1/2$ und bei den Mineralstoffen $2/3$ des ursprünglichen Wertes erreicht und übersteigt. Diese Verluste an gelösten Substanzen sind etwa proportional der abgeführten Wassermenge. Die Größe der entstehenden Verluste muß im einzelnen noch weiter untersucht werden, besonders im Hinblick auf die biologische Wertigkeit.

Bei den thermischen Verfahren treten derartige Substanzverluste nicht auf. Trotzdem ist damit das Problem einer vergleichenden Bewertung nicht gelöst, weil bei der Trocknung Veränderungen im Produkt, z. B. durch Oxydation, auftreten können. Der Grad solcher unerwünschten Veränderungen hängt vornehmlich von der sich jeweils einstellenden Guttemperatur ab. Eine Abschätzung dieser Temperatur ist wegen der meist unbekannteren Größenverteilung des Gutes recht schwierig. In dieser Hinsicht sind noch umfangreiche Versuche erforderlich.

Anpassen des Gutes an den Trockner

Auf die Bedeutung der Größenverteilung des Gutes wurde bereits hingewiesen. Man sollte ein nach Form und Größe möglichst gleichförmiges Material anstreben, wobei der Grad der Anforderungen, je nach Arbeitsweise des vorgesehenen Trockners, verschieden ist. Aber auch die Art der Gutsführung im Trockner verlangt bestimmte (äußere) Stoffeigenschaften. Das nach einer mechanischen Stufe anfallende Gut muß daher u. U. an den nachgeschalteten Trockner, wie Trommeltrockner, Wirbelbettrockner, Umlaufrockner usw. angepaßt werden, wobei gleichzeitig bestimmte Forderungen an das Fertigprodukt zu berücksichtigen sind. Für derartige Maßnahmen kommen in Betracht: Zerkleinern des anfallenden Kuchens; Aufmischen des Feststoffes mit Trockengut oder anderen Futtermitteln, um ein rieselfähiges Produkt zu erhalten; Granulieren oder Pelletisieren; Oberflächenbehandlung des Produktes (Pudern, Antrocknen). Diese Maßnahmen können einzeln oder auch in Kombination Anwendung finden.

Abwasserfragen

Durch die mechanische Vorentwässerung fällt ein Abwasser an, das man nicht ohne Reinigung in die Kanalisation oder in die Flüsse ableiten kann. In den Fällen, in denen eine Verregnung möglich ist, treten keine besonderen Probleme auf. In anderen Fällen ist daran zu denken, die gelösten Nährstoffe durch Fäulen (Eiweiß) und durch Eindicken im Mehrstufenverdampfer (etwa 200 kcal/kg Wasser) zurückzugewinnen.

Vergleichende Kostenbetrachtung der verschiedenen Verfahren

Auf Grund vorstehender Ausführungen lassen sich auch die Kosten der Verfahren mit guter Näherung verfolgen. Dabei kommt es nicht so sehr darauf an, genaue Werte über die absolute Höhe der Kosten zu erhalten, sondern vielmehr solche, die die Größenordnungen erkennen lassen. Daraus kann man Wege zur Kostensenkung ableiten. Der hier aufzustellende Kostenvergleich kann nur unter gewissen Annahmen erfolgen. Als solche wurden gewählt: eine Stundenleistung von 5 t Rohgut/h, eine Betriebsdauer der Anlage von 2000 h/Jahr und ein Trockensubstanzanteil im Rohgut von 20% , also $U_0 = 80\%$. Die Anschaffungskosten der Anlagen werden mit je 500 000,— DM, die Gebäudekosten mit 250 000,— DM veranschlagt. In Wirklichkeit werden die Kosten für die jeweiligen Verfahren von diesen geschätzten Werten nach oben oder nach unten abweichen. Für die Bewertung der mechanischen Verfahren wird angenommen, daß eine Vorentwässerung auf $U = 45\%$ erfolgt, ein Wert, der in großtechnischen Versuchsanlagen erreicht worden ist (mündlich mitgeteilte Versuche der Bergedorfer Eisenwerke).

Die Verluste oder die Veränderungen im Gut während der Konservierung werden außer acht gelassen, weil sie wertmäßig vermutlich in beiden Fällen in etwa gleicher Größenordnung liegen. Für das thermische Verfahren wird ein Wärmebedarf von etwa 800 kcal/kg Wasser und für die Trocknung beim kombinierten Verfahren ein Wert von etwa 1200 kcal/kg angenommen, ferner ein Ölpreis von 0,10 DM/kg und ein Strompreis von 0,10 DM/kWh. Das Ergebnis der abgerundeten Berechnung ist in **Tafel 2** dargestellt.

Tafel 2. Kostenplan für die Konservierung durch Trocknung mit und ohne vorgeschaltete mechanische Flüssigkeitsabtrennung.

	reine Trocknung		Trocknung mit vorgeschalteter mechanischer Flüssigkeitsabtrennung	
	DM/100 kg Rohgut		DM/100 kg Rohgut	
Betriebskosten:				
Wärmeenergie	0,70		0,25	
Elektrische Energie	0,40		0,40	
Löhne	0,25		0,25	
Summe b. 2000 Betriebsstd.	1,35		0,90	
„ b. 4000 Betriebsstd.		1,35		0,90
Feste Kosten:				
10%ige Abschreibung der Maschinen	0,50		0,50	
6% Zinsen	0,30		0,30	
5%ige Abschreibung der Gebäude	0,12		0,12	
6% Zinsen	0,15		0,15	
General-Kosten (Organisation, Reparatur usw.)	0,50		0,50	
Summe b. 2000 Betriebsstd.	1,57		1,57	
„ b. 4000 Betriebsstd.		0,80		0,80
Gesamtkosten:	2,92	2,15	2,47	1,70

Aus dieser Tafel ist ersichtlich, daß die festen Kosten einen vergleichsweise hohen Anteil ausmachen. Hier muß in erster Linie das Bestreben angesetzt werden, um die Kosten zu senken. Dieses ist u. a. dadurch möglich, daß man die Betriebsdauer erheblich steigert. Eine Verdoppelung der Betriebsdauer, beispielsweise von 2000 auf 4000 Stunden, entspricht einer Verringerung der Kosten von 2,92 auf 2,15 DM bzw. von 2,47 auf 1,70 DM. Nun sind diesem Weg bestimmte Grenzen gesetzt, obwohl man eine Kombination mit der Grünfuttertrocknung, der Getreidetrocknung und der Trocknung von Nahrungsmitteln anstreben kann.

Auch lassen sich die Kosten senken, indem man günstigere Zins- und Abschreibungssätze über die Art der Kapitalbeschaffung erreicht. Hinsichtlich der Betriebskosten darf festgestellt werden, daß die Vorschaltung einer mechanischen Stufe durchaus Vorteile im Hinblick auf die Kosten bringen kann.

Im Hinblick auf die Kostensenkung darf man folgendes zusammenfassend feststellen:

1. Die Vorschaltung einer mechanischen Stufe erscheint aussichtsreich,
2. eine möglichst große Betriebsdauer ist anzustreben,
3. über günstige Kredite und Beihilfen sinken die festen Kosten
4. und durch betriebsorganisatorische Maßnahmen lassen sich die Generalkosten ebenfalls merklich senken.

Auf die Frage der vertretbaren Höhe der Konservierungskosten kann nur hingewiesen werden. Die Antwort hängt von vielen Ein-

flüssen ab, wie von der Zusammensetzung des Rohgutes (Stärkegehalt), dem Preis der konkurrierenden Futtermittel und dem jeweils vorliegenden Wirtschaftsverbund.

Zusammenfassung

Durch Trocknung lassen sich Kartoffeln über einen sehr langen Zeitraum haltbar machen. Die Kosten dieser Konservierungsmethode lassen sich durch Vorschalten einer mechanischen Flüssigkeitsabtrennung vermutlich merklich senken, weil bei diesem Verfahren keine Energie zum Erwärmen des Gutes und vor allem zum Verdunsten des Wassers (Überführung der Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand) erforderlich ist. Zur mechanischen Flüssigkeitsabtrennung muß man die Kartoffeln zerkleinern, damit die Zellflüssigkeit freigelegt wird. Diese Flüssigkeit läßt sich durch Sedimentation, Verdichtung und Filtration von den festen Teilchen abtrennen.

Nach den Meßergebnissen und dem derzeitigen Stand der Technik empfehlen sich als mechanische Verfahren zur Abtrennung von Flüssigkeit aus einem Kartoffelschlamm verschiedene Schleudern und die Filterpresse oder auch Kombinationen, wie Dekanter/Schubschleuder. Mit diesen Verfahren kann man den Feuchtegehalt von Kartoffeln von etwa $U_0 = 80\%$ auf etwa $U = 43\%$ senken, was bedeutet, daß mehr als 80% des ursprünglich vorhandenen Wassers abgeschieden werden. Hieran würde sich die Trocknung anschließen, um ein Produkt mit einem Endfeuchtegehalt von etwa $U = 10\%$ zu erhalten. Ein denkbare Verfahrensschema zeigt **Bild 20**. Durch Zerkleinern stellt man einen Schlamm her, der sich durch Schleudern oder Filtern mechanisch entwässern läßt. Der nach diesem Prozeß anfallende Feststoff muß u. U. dem nachgeschalteten Trockner angepaßt werden.

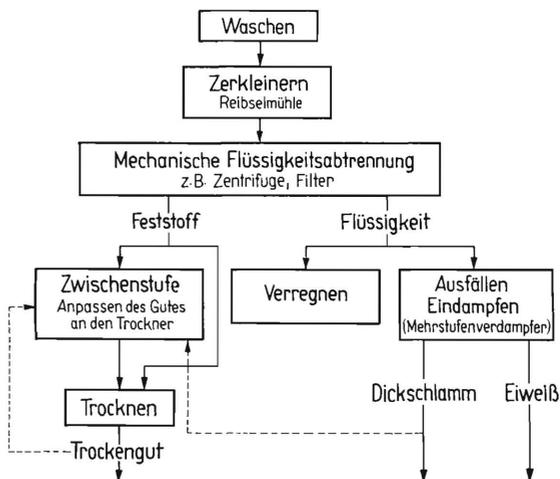


Bild 20. Mögliches Schema für eine Kombination mechanischer und thermischer Verfahren zur Konservierung von Kartoffeln.

Die Abwässer muß man entweder verregnen oder aufbereiten. Für den zuletzt genannten Fall ist ein Mehrstufenverdampfer vorzuschlagen. Die in der ersten Stufe ausfallenden Eiweißstoffe wird man wegen des großen Wertes vermutlich getrennt weiterbehandeln (Abschleudern, Trocknen). Den in der letzten Verdampferstufe anfallenden Dickschlamm kann man an geeigneter Stelle in den Grundprozeß zurückführen. Die Beheizung des Mehrstufenverdampfers kann mit Abwärme — auch aus dem Trockner — erfolgen.

Schrifttum

- [1] Schwierter, A., und H. Huber: Betrachtungen zum Wärmeverbrauch bei der Trocknung von Diffusionsschnitzeln. Zucker 15 (1962) Heft 6.
- [2] Schardey, H. D.: Haltbarmachung von Kartoffeln zu Futterzwecken. Diss. Landw. Hochschule, Hohenheim 1953 (Erschienen in: Hefte für den Kartoffelbau Nr. 6, 1954).
- [3] Wegner, H., S. Winkler und F. Hacke: Kartoffeltrocknung nach mechanischer Vorentwässerung. Kartoffelbau 11 (1960) Nr. 6, S. 116/118.