Entspelzungsversuche an Dinkel mittels eines Druckluft-Prallentspelzers

S. Gräber, R. Erhardt, K. Sommer und M. Kuhn

Dehulling of Spelt by Using a Pressure Dehulling Device

1. Einleitung

Die Spelzgetreide Hafer, Dinkel und Gerste gewinnen als Nahrungsmittel wieder zunehmend an Bedeutung. Sie sind in Form von Flocken, Grütze, Schrot oder Mehl im Handel erhältlich. Auf dem Speiseplan findet man die Spelzgetreide nicht nur als Frühstückscerealien, sondern auch in Suppen, Aufläufen, Salaten, Bratlingen, Klößen, Omeletts, Kuchen und Broten. Im Gegensatz zu den klassischen Brotgetreidearten müssen die Spelzgetreide vor ihrer Weiterverarbeitung von ihrer genußuntauglichen Spelze getrennt werden. Dies geschieht in der sogenannten Schälmühle.

Um bei der Rohwarenannahme die Qualität der Spelzgetreide anhand der entspelzten Körner (Kerne) beurteilen zu können, eignet sich ein Labor-Druckluftentspelzer.

Wichtige Kriterien für den technologischen Verarbeitungswert wie das Tausendkorngewicht und das Hektolitergewicht sind an den nackten Kernen sicherer festzustellen. Analytische Bestimmungen des Protein-, Fett-, Mineralstoff- und Ballaststoffgehaltes werden mit entspelztem Material durchgeführt. Für eine Entspelzung von Hand ist der Zeitaufwand viel zu groß (MEYER und ZWINGELBERG, 1982).

Der Spelzanteil der Spelzgetreide Hafer, Dinkel und Gerste ist in Abhängigkeit von Sorte und Wachstumsbedingungen starken Schwankungen unterworfen. Da die Spelzen entfernt werden müssen, ist ein kleiner Spelzanteil wertgebend für Spelzgetreide. Für die Züchter und für die Verarbeiter von Spelzgetreide ist die Kenntnis des Spelzanteils somit von großer Bedeutung (FRITZ, 1970). Mit dem Labor-Druckluftprallentspelzer ist die Bestimmung des Spelzanteils jeder Charge möglich.

Prinzipiell ist die Entfernung der Spelzen bei Gerste als Schälprozeß zu bezeichnen, da die Spelzen mit der Fruchtwand verwachsen sind. Beim Dinkel sind die Spelzen nur an den Enden zusammengewachsen und somit leichter zu entfernen, weshalb man von Entspelzen sprechen kann. Ziel dieser Untersuchungen war es, die Betriebsoptima des

Summary

Spelt kernels can be dehulled by a pressure dehulling device. The process parameters pressure, sample amount, and process time have to be adapted to the sample as good as possible to get the best result. Depending on moisture content of the sample the pressure has to reach a specific value to break the hulls. But using pressures to high leads to a bigger amount of damaged kernels.

A high amount of sample covers the spelt from dehulling, a low amount leads to damaging of the kernels.

A longer process time has also a negative influence on damaging of the kernels and you are not able to compensate a too low pressure.

Using a response surface methodology the optimum parameters for different moisture contents of the spelt kernels are calculated. But it has to be proven whether these parameters are valid only for the sample investigated.

Key words: Spelt, Dehulling.

Zusammenfassung

Mit einem Druckluft-Prallentspelzer läßt sich Dinkel gut entspelzen. Die Parameter, mit denen der Entspelzer betrieben wird, müssen so gut wie möglich der Probe angepaßt werden. Der Arbeitsdruck muß, je nach Produktfeuchte, einen gewissen Wert erreichen, um die Spelzen aufzubrechen. Wird dieser Wert deutlich überschritten, tritt vermehrt Bruchkornbildung auf. Eine große Probenmenge „schützt" die Vesen vor dem Entspelzen, der Schälgrad wird schlechter. Eine längere Durchlaufzeit erhöht die Bruchkornbildung, kann aber fehlenden Arbeitsdruck nicht ersetzen.
Die in dieser Arbeit angegebenen Betriebsoptima für Dinkel verschiedener Feuchten berücksichtigen die oben angeführten Zusammenhänge. Ob sie allerdings auf jede Aufgabenstellung unreflektiert zu übertragen sind, ist zweifelhaft. Denn der Rohstoff Dinkel kann sich, je nach Sorte, Anbauort, Anbaujahr usw. unterschiedlich verhalten, so daß es eigentlich nötig wäre, für jeden Rohstoff eine separate Optimierung durchzuführen. Eine andere Vorgehensweise ist die, mit definierten Bedingungen die Entspelzung durchzuführen und die Resultate als Spezifika der einzelnen Proben zu betrachten.
Auch ist zu beachten, daß der Labor-Druckluftprallentspelzer, obwohl er äußerlich immer ähnlich aussieht, in mehreren Ausführungen auf dem Markt ist. Gerade die geometrischen Dimensionen wie Pralltopfgröße, Druckluftkanaldurchmesser und Zyklongröße und auch die Saugleistung sind von entscheidender Bedeutung für das Entspelzungsergebnis.

Schlagworte: Dinkel, Entspelzen, Prallentspelzer.

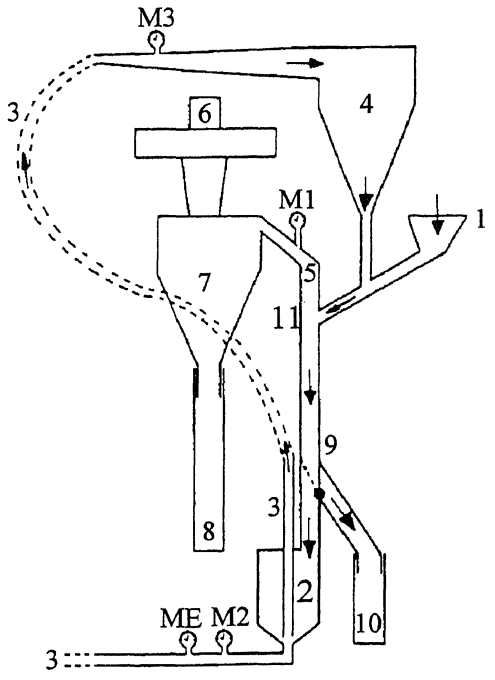
Labor-Druckluftentspelzers für das Spelzgetreide Dinkel zu finden.

2. Der Labor-Druckluftentspelzer

Vor ca. 30 Jahren wurde der Labor-Druckluftentspelzer in der Literatur zum ersten Mal erwähnt. Wo und von wem der Prototyp entwickelt wurde, konnten KITTLITZ und VETTERER (1972) nicht mehr feststellen. Von den Autoren wurden Untersuchungen zur maschinellen Entspelzung von Hafer mit diesem Gerät durchgeführt. Auch MEYER und ZWINGELBERG (1981 und 1982) sowie VORWERCK (1995) führten Hafer-Schälversuche an einem Druckluftentspelzer durch.

2.1 Prinzip und Funktionsweise des Labor-Druckluftentspelzers

Der in Abbildung 1 dargestellte Druckluftentspelzer ist mit einem Druckluft- und einem Saugsystem ausgestattet. Die Druckluftseite wird durch einen externen Kompressor versorgt, für die Saugseite steht ein Ventilator (6) zur Verfügung. Die zu entspelzende Probe gelangt über einen Einfülltrichter (1) mit Verschlußklappe in das Druckluftsystem. Der Arbeitsdruck ist manuell am Manometer (ME) einstellbar. Die bespelzten Körner werden in den Pralltopf (2) geführt, von dort aus gelangen sie in den Druckluftkanal (3). In dem Druckluftsystem werden die Körner durch Prallen und Reibung untereinander und an der Seitenwand des Pralltopfes beziehungsweise an der Rohrwand des Druckluftkanals von den Spelzen gelöst. Der Druckluftkanal leitet außerdem das nun bestehende Spelzen-Kern-Gemisch in den Zyklon (4). Durch die Querschnittserweiterung kommt es hier zu einem Druckabfall auf Umgebungsdruck. Die noch bespelzten Körner erfahren hier eine Entspannung, was das Lösen der Spelzen von den Kernen unterstützt. Nach dem Zyklon gelangt das Gemisch in den Absaugkanal (5). Hier werden die abgeriebenen Spelzenteile, Haare, aber auch Fruchtschale- und Endospermabrieb abgesaugt und befinden sich somit im Saugsystem des Gerätes. Sie werden über den Zyklon (7) im Spelzenabgang (8) gesammelt. Die Einstellung des Saugwindes kann über eine Klappe am Luftaustrittsrohr und durch eine größenverstellbare Öffnung unterhalb des Ventilators dem Produkt angepaßt werden. Das Kornmaterial, in dem sich noch viele bespelzte Kerne befinden, gelangt in einem weiteren Umlauf wieder in das Druckluftsystem, bis die Betätigung der Richtungsklappe (9) die Körner in den Körnerabgang



1 Einfülltrichter
2 Pralltopf
3 Druckluftkanal
4 Zyklon
5 Absaugkanal
6 Saugwindsystem
7 Zyklon
8 Spelzenabgang
9 Richtungsklappe
10 Kernabgang
11 Sichtfenster

ME Manometer Eingang
Meßbereich 0 - 8,0 bar
M1 Kontrollmanometer 1
Meßbereich 0 - 10,0 bar
M2 Kontrollmanometer 2
Meßbereich 0 - 999 mbar
M3 Kontrollmanometer 3
Meßbereich 0 -10,0 bar
→ Durchlaufrichtung des Kornmaterials

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Labor-Druckluftentspelzers
Figure 1: Scheme of the pressure dehulling device

(10) leitet. Der Schäl- oder Entspelzungsvorgang ist damit beendet. Optimalerweise befinden sich in diesem Sammelbehälter nur entspelzte Kerne ohne Beschädigung oder Bruch. Bei dem Schäl- oder Entspelzungsvorgang werden circa 300 l/min an Luft benötigt (STRECKEL und SCHRADER KG, 1995).

Für die Arbeiten wurde ein Labor-Druckluftentspelzer der Firma Friedrich Falke aus Lemgo, Baujahr 1995, eingesetzt.

3. Systemanalytischer Ansatz

Nach den in 2.1 dargestellten Funktionsmerkmalen des Labor-Druckluftentspelzers ist zu erwarten, daß die Durchlaufzeit, die Probemenge und der herrschende Druck im Druckluftsystem das Ergebnis der Entspelzung wesentlich beeinflussen. Außerdem spielt die Produktfeuchte der zu entspelzenden Probe eine nicht unbedeutende Rolle. Um den Entspelzungsvorgang hinsichtlich der oben angeführten Parameter optimieren zu können, wurde ein systemanalytischer Ansatz gewählt, bei dem sowohl die Wirkungen der einzelnen Parameter als auch etwaige Interaktionen bestimmt werden können. Die Versuchsplanung und Modellrechnung erfolgte mit dem Software-System APO, die Darstellung und die simultane Optimierung mit einem hauseigenen Programm (APO_THEK) (NOLL, 1995).

Die Einstellniveaus der Parameter sind Tabelle 1 zu entnehmen. Aus diesen Vorgaben wurde ein verkürzter Versuchsplan mit 21 Versuchen berechnet, und diese dann durchgeführt. Die Ober- und Untergrenzen der Parameter wurden in Vorversuchen ermittelt. Aufgrund der mathematischen Auswertung der Versuche können nur Aussagen für Parametereinstellungen innerhalb der gewählten Grenzen getroffen werden.

Tabelle 1: Niveaus der veränderten Parameter für die Versuchsplanung
Table 1: Parameters and their levels

Niveau	Arbeitsdruck [bar]	Probenmenge [g]	Durchlaufzeit [s]	Feuchtegehalt [%]
1	3,0	50	60	12,1
2	4,0	75	90	14,1
3	5,0	100	120	16,3
4	6,0	125	150	-
5	-	-	180	-

Als Zielgrößen wurden die Kernausbeute, der Bruchkornanteil, der Schälgrad und die Spelzanzahl im Körnerabgang ermittelt. Weitere Größen, wie die optische Beurteilung der Beschädigung der Kerne und die Keimfähigkeit wurden ebenfalls erhoben, sind aber hier nicht dargestellt.

Unter der Kernausbeute versteht man den prozentualen Anteil der ganzen, entspelzten Getreidekerne, bezogen auf die eingesetzte Probemenge. Sie ist ein Maß für die Entspelzungsleistung der Apparatur oder die Entspelzbarkeit der Probe.

Bruchkerne sind die beim Entspelzen zu Bruch gegangenen Teile, bezogen auf die Probeneinwaage. Liegt dieser Wert zu hoch, sind die Entspelzungsbedingungen nicht schonend genug.

Als Maß für den Anteil der noch bespelzten Körner im Gemisch des Körnerabganges gibt VORWERCK (1995) den Schälgrad an. Die nicht entspelzten Körner werden aus dem Gemisch ausgelesen und gewogen. Der Schälgrad gibt somit Auskunft über die Qualität der Entspelzung, je höher der Schälgrad, desto besser ist die Entspelzung. Der Begriff „Schälgrad" wird in dieser Arbeit beibehalten, obwohl ein Entspelzungsvorgang vorliegt.

Die Spelzanzahl wird ermittelt als Anzahl der Spelzen im Entspelzungsgemisch, bezogen auf die Probeneinwaage. Sie liefert Erkenntnisse über die Trennleistung des Ventilators von Spelze und Kern.

4. Rohmaterial

Dinkel:	Sorte:	Schwabenkorn
	Herkunft:	Ihinger Hof
	Erntejahr:	1996
	Spelzanteil	
	– handentspelzt	78 %
	– maschinell entspelzt	76,3 %

Die für die Versuche erforderlichen Befeuchtungen wurden durch Wasserzugabe und Abstehenlassen realisiert. Der Feuchtigkeitsgehalt der Proben wurde jeweils vor dem Entspelzen kontrolliert und der reale Wert in die Berechnung mit einbezogen.

5. Ergebnisse

Die prozentualen Einflüsse der Parameter auf die einzelnen Zielgrößen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Kernausbeute

In Abbildung 2 ist die Kernausbeute als Funktion der Durchlaufzeit und des Arbeitsdrucks zu sehen. Bei geringer Durchlaufzeit hat der Arbeitsdruck keinen Einfluß auf die Kernausbeute. Mit größer werdender Durchlaufzeit nimmt die Wirkung des Arbeitsdruckes zu, die Kernausbeute wird geringer. Bei einem kleinen Arbeitsdruck hat die Durchlaufzeit nur einen geringen Einfluß auf die Kernausbeute. Mit größer werdendem Arbeitsdruck sinkt die Ausbeute mit steigender Durchlaufzeit.

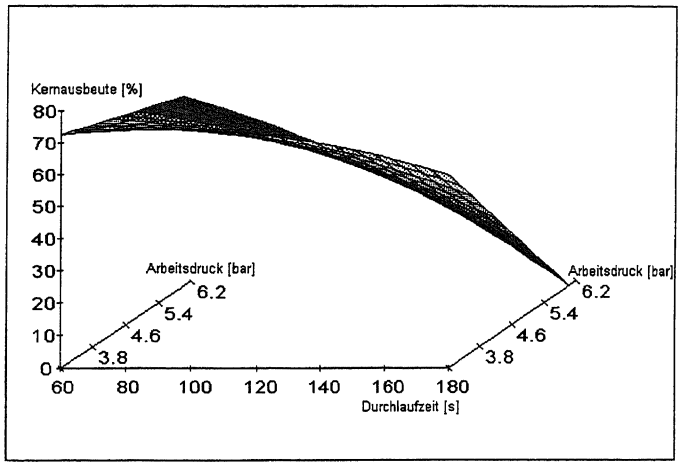


Abbildung 2: Die Kernausbeute als Funktion der Durchlaufzeit und des Arbeitsdrucks bei einer Probenmenge von 50 g und einem Feuchtegehalt von 14,1 %

Figure 2: Kernel yield depending on process time and pressure, sample amount 50 g, moisture content 14,1 %

Der Einfluß des Feuchtigkeitsgehalts und der Probenmenge auf die Kernausbeute ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Kernausbeute als Funktion der Probenmenge weist ein Maximum auf. Die Kernausbeute steigt mit zunehmender Probenmenge und ist im Maximum unabhängig vom Feuchtigkeitsgehalt des ungeschälten Dinkels.

Die maximale Kernausbeute des eingesetzten Dinkels liegt bei etwa 80 %, unterliegt jedoch den bei Naturprodukten üblichen Schwankungen. Beträgt die Kernausbeute weniger als 80 %, so hat keine vollständige Entspelzung stattgefunden oder es kam durch große Prallbeanspruchung zu einer Bruchkornbildung. Werte deutlich über 80 % Kernausbeute sind unrealistisch und auf die mathematischen Berechnungen des Versuchsauswertungsprogrammes APO_THEK zurückzuführen.

Tabelle 2: Prozentuale Einflüsse der Parameter auf die Zielgrößen
Table 2: Influence of the parameters on the measured data

Einfluß [%]	Arbeitsdruck	Probenmenge	Durchlaufzeit	Feuchtegehalt	Bestimmtheitsmaß
Kernausbeute	26,5	32,6	26,8	14,0	96,23
Bruchkornanteil	26,4	36,5	28,7	8,4	95,67
Schälgrad	47,2	18,5	34,2	0	79,20
Spelzanzahl	2,8	2,8	91,6	2,8	86,69

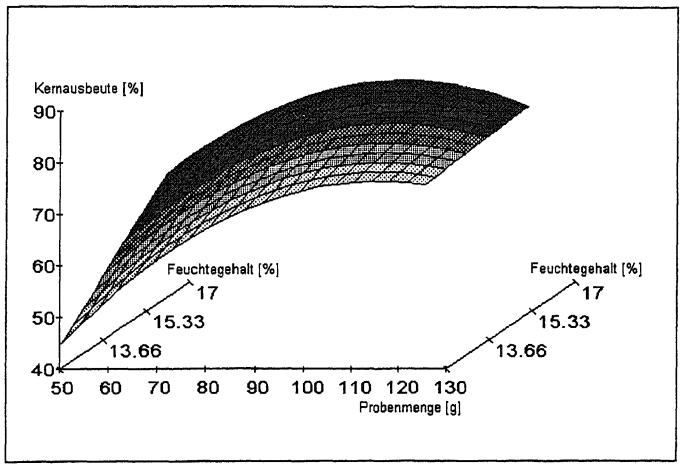


Abbildung 3: Die Kernausbeute als Funktion der Probenmenge und des Feuchtegehalts bei einem Arbeitsdruck von 4,5 bar und einer Durchlaufzeit von 120 s

Figure 3: Kernel yield depending on sample amount and moisture content, process time 120 s, pressure 4.5 bar

Bruchkorn

Bei einer optimalen Entspelzung von Dinkel wird kein Bruchkorn gebildet. Der Wert sollte also möglichst klein sein.

Die Wirkung der Probenmenge und des Arbeitsdrucks auf die Bruchkornbildung ist in Abbildung 4 zu erkennen. Bei kleiner Probenmenge steigt die Menge an entstandenem Bruchkorn. Der Arbeitsdruck hat bei großen Probenmengen kaum Einfluß auf die Bruchkornmenge.

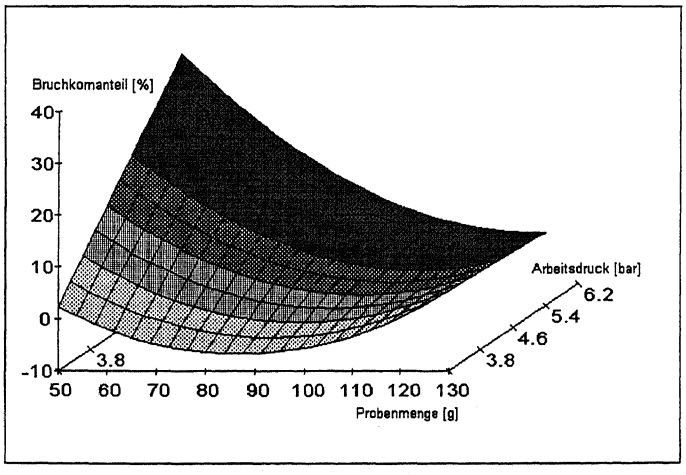


Abbildung 4: Der Bruchkornanteil als Funktion der Probenmenge und des Arbeitsdrucks bei einer Durchlaufzeit von 120 s und einem Feuchtegehalt von 14,1 %

Figure 4: Damaged kernels depending on sample amount and pressure, process time 120 s, moisture content 14,1 %

Der Bruchkornanteil als Funktion der Durchlaufzeit und des Feuchtegehalts ist in Abbildung 5 dargestellt. Je größer die Durchlaufzeit und somit die Zeit der Beanspruchung, desto größer wird der Bruchkornanteil. Bei kurzer Durchlaufzeit ist der Feuchtegehalt von unbedeutendem Einfluß auf die Bruchkornbildung. Wird die Durchlaufzeit größer, steigt der Einfluß des Feuchtegehalts. Es wird mit hohem Feuchtegehalt bei hoher Durchlaufzeit deutlich weniger Bruchkorn gebildet als bei geringer Feuchte.

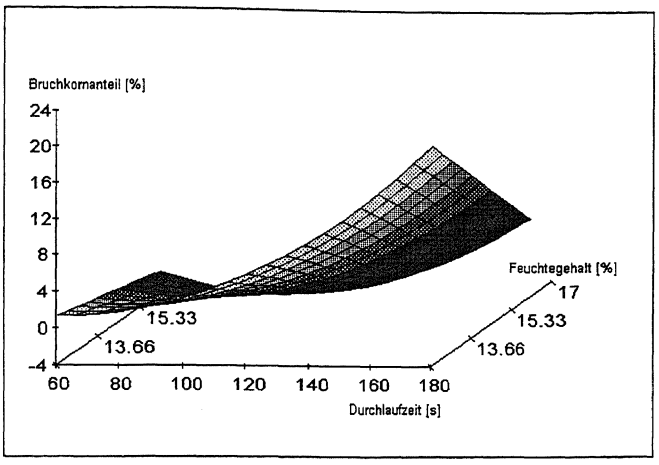


Abbildung 5: Der Bruchkornanteil als Funktion der Durchlaufzeit und des Feuchtegehalts bei einem Arbeitsdruck von 4,5 bar und einer Probenmenge von 87,5 g

Figure 5: Damaged kernels depending on process time and moisture content, sample amount 87.5 g, pressure 4.5 bar

Die negativen Werte im Diagramm sind auf die Berechnungen des Auswertungsprogrammes APO_THEK zurückzuführen. In der Praxis müßte sich in diesen Bereichen der Wert Null ergeben.

Schälgrad

In Abbildung 6 ist der Einfluß des Arbeitsdrucks und der Durchlaufzeit auf den Schälgrad zu erkennen. Mit steigendem Druck nimmt der Schälgrad zu. Mit zunehmender Durchlaufzeit wird der Einfluß des Arbeitsdrucks geringer, das Niveau des Schälgrads ist jedoch höher. Der Verlauf des Schälgrads über der Durchlaufzeit weist ein Maximum auf. Dies ist eventuell durch eine Schwäche in der Modellberechnung zu erklären, vor allem unter Berücksichtigung der kleinen absoluten Änderungen des Schälgrades.

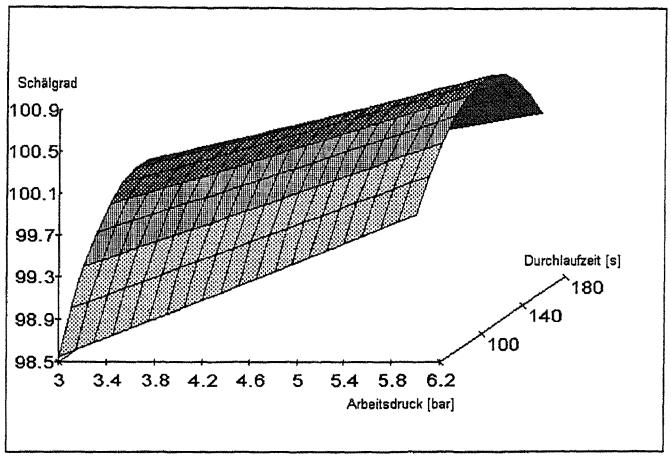


Abbildung 6: Der Schälgrad als Funktion des Arbeitsdrucks und der Durchlaufzeit bei einer Probenmenge von 87,5 g und einem Feuchtegehalt von 14,1 %

Figure 6: Dehulling degree depending on process time and pressure, sample amount 87.5 g, moisture content 14.1 %

Die Abhängigkeit des Schälgrads vom Arbeitsdruck und der Probenmenge wird in Abbildung 7 deutlich. Ist der Arbeitsdruck klein, so nimmt der Schälgrad mit zunehmender Probenmenge um ca. 1 % ab. Bei einem Arbeitsdruck über etwa 5,0 bar wird der Schälgrad mit zunehmender Probenmenge größer. Der Verlauf des Schälgrads über dem Arbeitsdruck weist bei einer kleinen Probenmenge einen Abfall auf, bei einer großen Menge eine Steigung der Kurve.

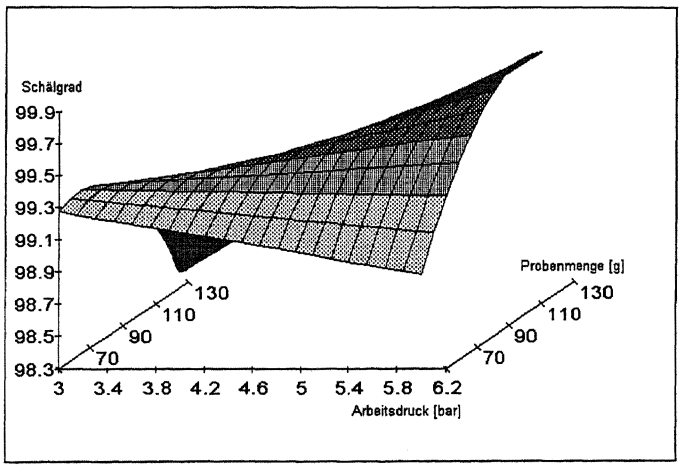


Abbildung 7: Der Schälgrad als Funktion des Arbeitsdrucks und der Probenmenge bei einer Durchlaufzeit von 120 s und einem Feuchtegehalt von 14,1 %

Figure 7: Dehulling degree depending on sample amount and pressure, process time 120 s, moisture content 14.1 %

Die Feuchtigkeit der Probe hat auf den Schälgrad keinen Einfluß.

Der Schälgrad kann maximal 100 betragen. Nimmt er in den dargestellten Diagrammen einen höheren Wert an, so ist dies auf die mathematischen Berechnungen des Programmes APO_THEK zurückzuführen.

Spelzanzahl

Aus Abbildung 8 läßt sich der dominierende Einfluß der Durchlaufzeit auf die Spelzanzahl im Körnerabgang ableiten. Je länger die Durchlaufzeit ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Spelzen von der Aspiration erfaßt werden. Der geringe prozentuale Einfluß des Drucks auf die Spelzanzahl kann aus der Flächengeometrie im Diagramm (Abbildung 8) abgeleitet werden.

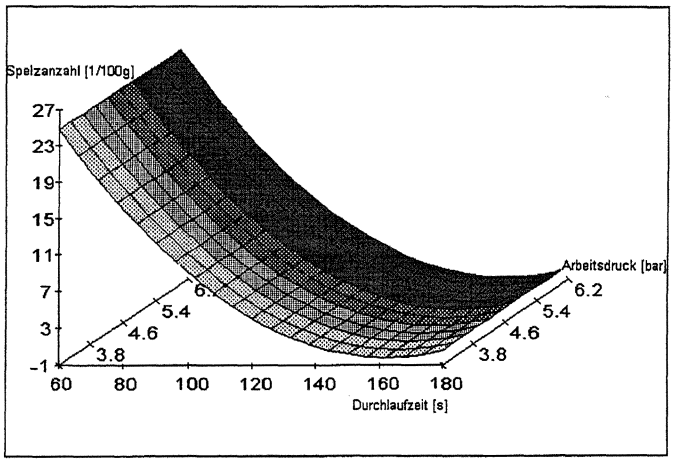


Abbildung 8: Die Spelzanzahl als Funktion der Durchlaufzeit und des Arbeitsdrucks bei einer Probenmenge von 87,5 g und einem Feuchtegehalt von 14,1 %

Figure 8: Husk content depending on process time and pressure, sample amount 87.5 g, moisture content 14.1 %

Es hat sich gezeigt, daß bei der Anwendung von Dinkel der Arbeitsdruck in Kombination mit der Durchlaufzeit den größten Einfluß auf das Entspelzungsergebnis hat. Die dadurch hervorgerufenen Reibungs- und Prallbeanspruchungen werden zum Lösen der Spelzen benötigt, eine zu große Beanspruchung führt jedoch zu einer Beschädigung der bereits entspelzten Kerne. Die Bedeutung des Feuchtigkeitsgehalts beschränkt sich auf die Beschädigung der Kerne (Bruchkornanteil), insbesondere wenn mit zu geringen Probemengen und zu hohen Durchlaufzeiten gearbeitet wird.

6. Vielzieloptimierung

Da der Feuchtegehalt der Probe in der Praxis vorgegeben ist, sich die optimalen Einstellungen des Entspelzers jedoch je nach Feuchte ändern, wurden vier Optimierungsrechnungen durchgeführt, wobei die Feuchtigkeit jeweils konstant mit 13, 14, 15 oder 16 % angesetzt wurde. Optimiert wurde auf maximale Kernausbeute, höchsten Schälgrad, kleinsten Bruchkornanteil und minimale Spelzanzahl im Körnerabgang. Die resultierenden errechneten Kompromisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Eine Gegenüberstellung der errechneten mit den gemessenen Werten (Validierung der Modelle) in Tabelle 4 zeigt, daß die theoretischen Vorgaben in allen Meßgrößen erreicht wurden, was als Indiz für die Qualität der errechneten Modelle gewertet werden kann.

Tabelle 3: Errechnete optimale Einstellungen der Variablen für die Dinkelentspelzung
Table 3: Optimal values of the parameters (calculated) for spelt dehulling

vorgegebene Feuchte [%]	Arbeitsdruck [bar]	Durchlaufzeit [s]	Probenmenge [g]
13	3,0	153	67
14	3,0	153	67
15	5,0	140	125
16	4,8	130	108

Bei den Kompromißeinstellungen fällt auf, daß sich der optimale Arbeitsdruck und die Probenmenge mit zunehmender Produktfeuchtigkeit erhöhen, während sich die Durchlaufzeit verkleinert. Die höchste Kernausbeute erhält man bei der höchsten Feuchtigkeit.

Diese Ergebnisse zeigen, daß ein vergleichendes Entspelzen von Dinkelproben mit dem Labor-Druckluftentspelzer nur dann möglich ist, wenn einige Rahmenbedingungen beachtet werden. So sind zum Beispiel die Einstellungen für den Arbeitsdruck, die Durchlaufzeit und die Probenmenge stark feuchtigkeitsabhängig. Ein Zusammenhang zwischen Arbeitsdruck und Durchlaufzeit besteht zwar, doch ist ein verminderter Druck nicht ausschließlich mit einer verlängerten Durchlaufzeit auszugleichen. Es erscheint ein gewisser Mindestdruck zum Lösen der Spelzen nötig zu sein. Auch die Probenmenge darf nicht beliebig klein oder groß sein. Ist sie zu klein, erfolgen wenig Korn-Korn-Zusammenstöße, stattdessen reiben die Körner vermehrt an der härteren Außenwand der Apparatur. Es kommt dann zu verstärkter Bruchkornbildung. Ist die Probenmenge zu groß, kann ein Teil der Körner nicht entspelzt werden, weil er von bereits entspelzten Kernen „eingehüllt" wird. Der Schälgrad nimmt ab.

Das Verfahren der Prallentspelzung birgt neben der Bruchkornbildung auch die Gefahr der mechanischen Beschädigung des Kerns oder des Keimlings. Deshalb wurden visuelle Kontrollen auf Beschädigung und Keimfähigkeitsversuche ebenfalls durchgeführt, aber nicht in die Berechnungen der Kompromißeinstellungen mit einbezogen. Deshalb wird auf eine Darstellung der Ergebnisse hier verzichtet.

Literatur

FRITZ, A. (1970): Untersuchungen an Spelzhafer zur Festlegung des Qualitätsbegriffes bei Futtergetreide. Mühle, Bd. 107, 119–121.

KITTLITZ, E. v. und H. VETTERER (1972): Untersuchungen zur maschinellen Entspelzung von Hafer mit einem Druckluftentspelzer. Deutsche Müller-Zeitung, 70 (12), 245–246.

MEYER, D. und H. ZWINGELBERG (1981): Untersuchungen zur Verwendung von inländischem Hafer in der Schälmüllerei. Getreide Mehl und Brot, 35 (9), 230–234.

MEYER, D. und H. ZWINGELBERG (1982): Erfahrungen mit dem Druckluftschäler bei der Bewertung von Hafer. Getreide Mehl und Brot, 36 (9), 227–230.

Tabelle 4: Vergleich der berechneten und der ermittelten Werte für die vier Betriebsoptima
Table 4: Comparison of calculated and measured values of the data

Feuchte [%]		Kernausbeute [%]		Bruchkornanteil [%]		Schälgrad		Spelzanzahl [1/100 g]	
Soll	Ist	berechnet	ermittelt	berechnet	ermittelt	berechnet	ermittelt	berechnet	ermittelt
13,0	12,5	75,9	74,7	-0,4 *	0	100	100	-0,4 *	0
14,0	13,9	77,3	76,3	-1,4 *	0,1	99,9	99,8	1,1	2
15,0	14,6	77,2	77,4	0	0,4	100	100	1,2	1
16,0	15,7	78,6	78,0	-1,3 *	0,1	100	100	-0,3 *	2

* berechnete Werte, in der Praxis sind keine Werte kleiner 0 möglich

NOLL, B. (1995): Bildanalyse zur berührungslosen Volumenmessung von Weizenteiglingen während der Gär- und Backphase und zur Charakterisierung des Porenbildes von Gebäcken – Meßmethoden, Einflußgrößen, Modellbildung. Dissertation, Universität Hohenheim.

STRECKEL & SCHRADER KG (1995): Betriebsanleitung Laborschälaggregat. Hamburg.

VORWERCK, K. (1995): Schäleigenschaften verschiedener Hafersorten. Getreide Mehl und Brot, 49 (1), 10–15.

Anschrift der Verfasser

Dr. Stefan Gräber und **Prof. Dr. Manfred Kuhn**, Universität Hohenheim 150, Institut für Lebensmitteltechnologie, D-70593 Stuttgart (Korrespondenzadresse).
Dipl-LM-Ing. Ruth Erhardt und **Prof. Dr. Karl Sommer**, Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde, TU München-Weihenstephan.

Eingelangt am 19. Februar 1998
Angenommen am 20. Juli 1998