

Bewegung von Schüssel und Messer(-welle) beim Kuttern – physikalische Betrachtungen

Movement of bowl and knives during chopping – physical considerations

G. F. HAMMER und S. STOYANOV

Zusammenfassung

Der zeitliche Abstand, mit welchem die Messer auf das Zerkleinerungsgut treffen, ist bei konstanter UpM der Messerwelle nicht abhängig von den Abständen der Messer auf der Welle, der Messergeometrie oder der Scheibendicke. Er ist abhängig vom Winkel zwischen den nacheinander einschlagenden Messern. Während einer Zerkleinerung mit konstanter UpM der Welle und konstantem Messeraufbau legt die Geschwindigkeit der Schüssel fest, welches Messer fördern kann. Bei einem Messeraufbau auf 2 oder 3 Messerebenen und Verwendung der zum Fixieren der Messer notwendigen Zwischenscheiben ist der Abstand zwischen den Messerebenen groß. Deshalb drehen die Messer der Ebenen 2 und 3 bei den meisten Schüsselgeschwindigkeiten leer.

Summary

At a constant rpm of the knives the time difference with which the knives hit the batter one after another does not depend upon the distance of the knives or their geometry or the thickness of the discs, which hold the knives. The time difference depends on the angle between the knives. On comminuting with a constant rpm of the knives and holding the angle between the knives constant, the speed of the bowl determines, which knife can transport batter. The distance between the planes of the knives, holding two knives each, is big, if two or three planes are used and if discs, which hold the knives, are used. Therefore the knives of the planes two and three rotate empty at most speeds of the bowl.

Schlüsselwörter Kutter – Kuttermesser – Kutterschüssel – Brättransport

Key Words chopper – chopper knives – chopping bowl – transport of batter

Einleitung

Letztes Jahr berichteten wir zur Kulmbacher Woche über die Wirkung des Kutterns mit Messern verschiedener Geometrien auf Brühwurst. Es wurden unter anderem Video-Aufnahmen einer Schnellbildkamera vorgestellt. Sie entstanden beim Kuttern von Brät in einem 65L-Kutter. Die Messerwelle drehte mit 3000 UpM, die Schüssel lief im Schnellgang. Dabei war zu beobachten, dass nicht alle der 6 auf der Messerwelle stehenden Messer förderten. Vielmehr bewegte nur die erste auf die Welle aufgesetzte Messerebene das Brät. Förderung

war durch das erste und das vierte einschlagende Messer zu beobachten. Diesem aus der Sicht der Anwendung des Kutters in der Praxis vielleicht nicht wesentlichen Ergebnis gingen wir nach. Es sollte entweder als Zufallsbefund erkannt werden, der bei einer bestimmten Messeraufstellung und -geometrie in einem Kutter definierter Baugröße bei einer festliegenden UpM von Welle und Schüssel auftrat. Sollte sich die Beobachtung andererseits als physikalisch begründbar und generell, also für alle Kutter geltend herausstellen, wäre ein Beitrag zu einem tieferen Verständnis des Kutterprozesses möglich.

Es erwies sich dazu als notwendig, theoretische Betrachtungen über die Bewegung von Kutterschüssel und Messerwelle anzustellen.

Definition des Zerkleinerungssystems

Die Aufstellung der Messer auf der Messerwelle erfolgt in der Regel in Paaren. Dabei wird das erste Messer auf eine Scheibe aufgesetzt und das nächste Messer um 180° versetzt auf das erste Messer geschraubt. Nach Zusammenbau von 3 Messerpaaren werden die Paare mit einem Versatz von 60° auf die Hülse der Messerwelle montiert. Die Dicke der Scheiben, auf welchen die Messer festgeschraubt werden, lässt sich ebenso variabel gestalten wie die Dicke der Durchmesser der Kuttermesser. Auch variieren die Messerformen. Für die durchzuführenden Berechnungen erwies sich die Messerform als unerheblich. Wir arbeiteten mit theoretischen Messerdicken zwischen 2 und 5 mm. Inwiefern variable Abstände zwischen den Messern und Messerebenen einen Einfluss aufweisen, wird sich folgend ergeben.

Es wurden Kutter verschiedener Baugrößen modelliert. Den Winkel zwischen der Drehachse der Messerwelle und dem oberen Schüsselrand setzten wir auf 160° . Dies ist ein nicht unüblicher Wert bei Kuttern verschiedener Baugrößen. Sind Schüsselvolumen und Winkel festgelegt, lassen sich der mittlere Schüsselradius und der Radius, in welchem die Messer drehen, berechnen. Das Verhältnis der Radien wurde auf 1 zu 1,292 festgesetzt.

Das Nennvolumen der Schüssel ist beim Kuttern von Brät nicht auszunutzen. Die tatsächlich möglichen Schüsselfüllungen ergaben sich aus Multiplikation von Nennvolumen und Brätdichte (sie wurde als $960 \text{ kg pro Kubikmeter}$ angesetzt) und einem Sicherheitsfaktor von 0,8. Dann betrug der Winkel zwischen der Drehachse der Messerwelle und dem Brätspiegel 145° .

Problemstellung

Welche Messer fördern, wenn gleichzeitig die Umdrehungen von Schüssel und Messerwelle variieren?

Ergebnisse

Die Schüsseldrehzahl wird gewöhnlich in Umdrehungen pro Minute angegeben. Dann verhält es sich aufgrund der variablen Schüsselradien bei Kuttern unterschiedlicher Baugröße so, dass das Brät mit differierenden Geschwindigkeiten zu den Messern transportiert wird. Wir wollten die Fördergeschwindigkeiten konstant halten. Mit zunehmender Baugröße der Kutter vergrößert sich der mittlere Schüsselradius. Die pro Zeiteinheit zurückgelegte Strecke ist bei einem größeren Radius länger als bei einem kleineren. Damit muss zum Erreichen einer Geschwindigkeit von beispielsweise etwa $0,2 \text{ m/s}$ die Schüssel des 200L-Kutters 5,4-mal, die des 50L-Kutters dagegen 8,6-mal pro Minute drehen.

Bei bekanntem Versatz der nacheinander einschlagenden Messer kann der zeitliche Abstand des Einschlages jedes einzelnen Messers angegeben werden. Der Versatz der Messer betrug 60° . Bei 500 UpM der Welle schlagen die 6 Messer nacheinander mit einem Zeitunterschied von 20 ms, bei 2000 UpM nacheinander im Abstand von 5 ms und bei 5000 UpM im Abstand von 2 ms ein. Bei einer häufig angewandten UpM der Welle von 3000 liegt der Zeitversatz des Messereinschlages bei 3,33 ms. Eine Verdopplung der UpM der Welle bzw. eine Halbierung der Umlaufzeit der Welle verbindet sich mit einer Halbierung des Zeitversatzes des nacheinander erfolgenden Einschlages der einzelnen Messer.

Der Zeitversatz des Messereinschlages erwies sich somit als abhängig vom Winkel zwischen den nacheinander einschlagenden Messern. Der Zeitversatz war nicht abhängig von axialen Abständen der Messer, also nicht abhängig von der Messergeometrie und nicht abhängig von der Dicke der Haltescheiben der Messer.

Die mittlere Bewegung der Schüssel während einer Umdrehung der Messerwelle ist das Verhältnis zwischen mittlerer Schüsselgeschwindigkeit und UpM der

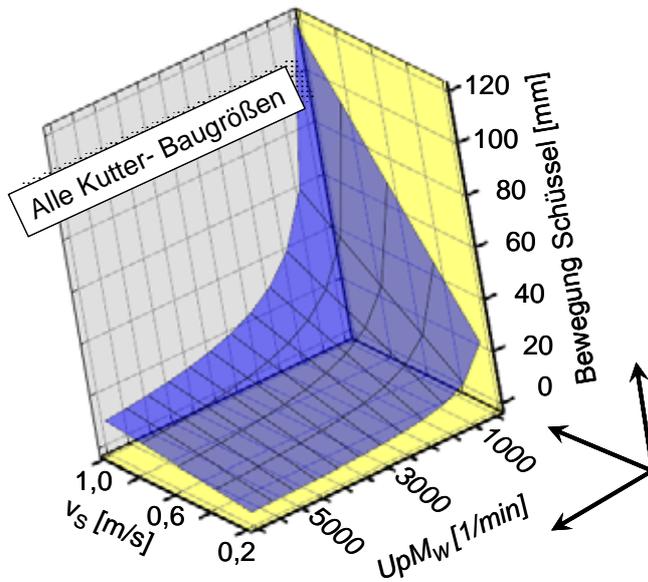


Abb. 1: Bewegung der Schüssel während einer Umdrehung der Messerwelle in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit Schüssel (v_s) und der UpM der Messerwelle (UpM_w)

Messerwelle. Damit lassen sich Zusammenhänge für alle Baugrößen von Kuttern aufzeigen. Bei konstanter UpM der Welle ist die Bewegung der Schüssel ihrer Geschwindigkeit proportional. Ist die Schüsselgeschwindigkeit konstant, ist die Bewegung der Schüssel umgekehrt proportional den UpM der Welle. Dies lässt sich dreidimensional darstellen (Abb. 1).

In Abbildung 1 ist an der x-Achse die Schüsselgeschwindigkeit zwischen 0,2 und 1,0 m/s, an der y-Achse die UpM der Messerwelle zwischen 500 und 6000 aufgetragen. Die sich aus verschiedenen Kombinationen von Schüsselgeschwindigkeit und Messerwellenumdrehung ergebenden Bewegungen der Schüssel sind an der z-Achse abzulesen. Bei beispielsweise konstanten 5000 UpM der Messerwelle legt die Schüssel während einer Umdrehung der Welle einen Weg von 2,4 mm zurück, wenn ihre Geschwindigkeit 0,2 m/s ist. Sie legt bei dieser UpM der Welle 12 mm zurück, wenn die Schüsselgeschwindigkeit 1 m/s beträgt.

Nun der andere Fall, in welchem die Schüsselgeschwindigkeit konstant ist. Liegt die Schüsselgeschwindigkeit etwa bei 0,2 m/s, bewegt sich die Schüssel während einer Wellenumdrehung um 12 mm, wenn 1000 UpM der Welle eingestellt sind. Dreht die Welle mit 5000 UpM, ist

der Schüsselvorschub 2,4 mm. Nicht unübliche Kuttereinstellungen beim Kuttern von Brühwurstbrät sind 3000 UpM der Welle bei einer Schüsselgeschwindigkeit von 0,4 m/s. Die Schüssel bewegt sich dann während einer Umdrehung der Messerwelle um 8 mm. Dies trifft für Kutter aller Baugrößen zu. Aus diesem Beispiel ergibt sich bereits das folgend im Detail Dargestellte. Denn wer einen Kutter mit Messern bestücken muss, kennt die Abstände zwischen den Messern und den Messerebenen. Für wohl die allermeisten Messeraufstellungen beträgt der Abstand zwischen erstem und letztem Messer mehr als 8 mm; während einer Umdrehung der Welle kann die Schüssel also Brät gar nicht zu allen Messern fördern. Manche Messer drehen leer.

Bevor die Fragestellung weiter verfolgt wird, sind verschiedene Beobachtungen aufzuzeigen. Daraus wird sich ergeben, dass während des Kutterprozesses Brät nicht chaotisch in Haube und Schüssel verwirbelt wird.

1. Der Zerkleinerungsbereich ist nicht völlig mit Brät gefüllt, Brät „umspült“ die Messer nicht.
2. Brät besitzt in der Schüssel eine hohe Viskosität (geringe Schubspannung).

- Nach Abschneiden von Brät durch ein Messer fließt Brät nicht momentan nach.
- Es existiert ein definiertes Ende des Brätstranges, Brät „steht“ vor der ersten Messerebene.
- Die Schüssel muss Brät zu den Messern transportieren.
- Anstauen von Brät zwischen verschiedenen Messern/Messerebenen ist nicht zu beobachten.

Es stellte sich die Frage, wie schnell die Schüssel vorschieben muss, um den Abstand zwischen Messer 1 und den anderen Messern zu durchlaufen, um überhaupt Zerkleinerungsgut zu einem Messer zu transportieren. Diese „Sollgeschwindigkeit“ der Schüssel ist das Verhältnis zwischen dem Abstand des jeweiligen Messers vom Messer 1 und dem Zeitversatz seines Einschlages.

Die Zusammenhänge sind in Abbildung 2 graphisch dargestellt. An der x-Achse ist die UpM der Messerwelle, an der y-Achse die Messer in der Reihenfolge ihres Durchganges durch den tiefsten Punkt der Schüssel aufgetragen. An der z-Achse ist die Schüsselgeschwindigkeit abzulesen, die notwendig ist, um das jeweilige Messer

im Moment seines Durchganges durch den tiefsten Punkt der Schüssel zu erreichen, um dieses Messer mit Brät zu versorgen, damit es fördern kann. Um Missverständnissen vorzubeugen: Die z-Achse stellt nicht einen Weg, sondern einen Weg pro Zeiteinheit, eine Geschwindigkeit dar.

Die hypothetische Messerdicke, der axiale Abstand zwischen den einzelnen Messern ist in der Abbildung gekennzeichnet. Die gelben Säulen stellen Messer von 2 mm, die roten von 3 mm, die blauen von 4 mm und die schwarzen von 5 mm Dicke dar. Beträgt die Messerdicke, ihr Abstand voneinander, 2 mm, dann ist das Messer zwei von Messer eins 4 mm entfernt, das Messer drei 8 mm und das Messer sechs 10 mm. Beträgt die hypothetische Messerdicke 2 mm, müsste bei einer UpM der Messerwelle von 5000 UpM und mehr die Schüsselgeschwindigkeit etwa einen Meter pro Sekunde betragen, um die Messer 5 und 6 mit Brät zu versorgen (Abb. 2). Diese Schüsselgeschwindigkeit bedeutet für einen Kutter der Baugröße 50 L ca. 43 UpM, für einen der Baugröße 200 L immerhin noch 27 UpM der Schüssel. Zum Versorgen von Messer 2 und 3 mit Brät sind für alle modellierten Messerdicken unrealistische Schüsselgeschwindigkeiten von mehr als 2 m/s notwendig.

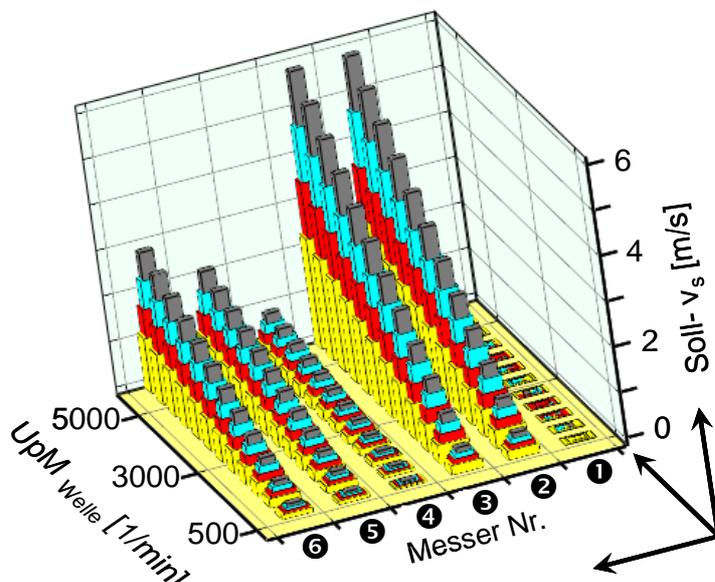


Abb. 2: Notwendige Schüsselgeschwindigkeit ($Soll-v_s$), um das jeweilige Messer (Nr. 1 bis 6) zum Zeitpunkt seines Durchganges durch den tiefsten Punkt der Schüssel zu erreichen in Abhängigkeit von der UpM der Messerwelle (UpM_{Welle}). Dicke der Messer gekennzeichnet durch verschiedenfarbige Säulen (gelb: 2 mm, rot: 3 mm, blau: 4 mm, grau: 5 mm)

Die Sollgeschwindigkeit zum Erreichen der Messer 2 und 3 liegt höher als die zum Erreichen von Messer 5 und 6. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass in die Sollgeschwindigkeit der Schüssel der Einbauabstand der Messer und der Zeitversatz des Messereinschlages eingehen. Messer 5 und 6 stehen zwar weiter von Messer 1 entfernt als Messer 2 und 3; dafür ist aber der Zeitversatz ihres Einschlages deutlich größer als der von Messer 2 und 3 und die Sollgeschwindigkeit der Schüssel folglich kleiner.

Aus Abbildung 2 ist weiterhin zu entnehmen, dass mit zunehmendem axialen Einbauabstand der Messer voneinander, mit zunehmender Messerdicke, die Geschwindigkeit zunimmt, mit der die Schüssel Brät transportieren muss, um es unter das jeweilige Messer zu bringen. Es verhält sich so, dass bei den allermeisten Aufstellungen der Messerebenen auf der Welle außer dem Messer 1 nur noch das einschlagende Messer 4 Brät fördern kann. Im verwendeten Modell standen Messer 1 und 4 auf einer Messerebene, und es stellte sich die Frage: Ist Küttern mit nur einer Messerebene möglich (Abb. 3)?



Abb. 3: Kutter, ausgerüstet mit 2 Messern auf einer Ebene

Zur Beantwortung führten wir praktische Untersuchungen mit einem 45- und einem 65 L-Kutter durch. Für den 65 L-Kutter sind die rechnerischen Zusammenhänge zwischen der UpM der Messerwelle und der zum Erreichen von Messer 2 notwendigen Schüsselgeschwindigkeit in Abbildung 4 dargestellt. Die Schüssel bewegte sich im Langsamgang mit 0,19 m/s. Messer 2 drehte leer, wenn die Messerwelle mit 2000 UpM oder einer höheren Drehzahl drehte.

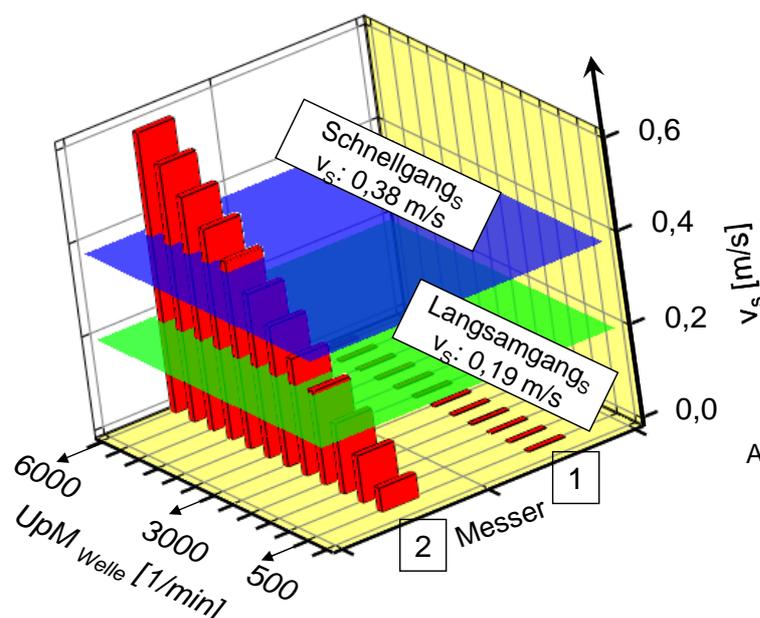


Abb. 4: Modellierung der Sollgeschwindigkeit der Schüssel (v_s), um Brät an Messer 1 bzw. Messer 2 bei variabler UpM der Welle anzuliefern. Ebenen: Langsam- bzw. Schnellgang des verwendeten 65 L-Kutters

Im Schnellgang der Schüssel, sie bewegte sich dann mit 0,38 m/s, drehte Messer 2 leer und förderte kein Brät, wenn 4000 UpM der Welle oder mehr eingestellt waren.

Aus der theoretischen Fragestellung „Gemeinsame Bewegung von Schüssel und Messerwelle“, die zur Abklärung eines beobachteten Phänomenes diente, erwachsen also durchaus praktische Resultate. Deren nähere Verfolgung steht im laufenden Jahr an. Zunächst überprüften wir, welche Auswirkungen das Kuttern mit einer Messerebene auf ein fein zerkleinertes Brühwurstbrät hat.

Unter Verwendung der Rezeptur der Tabelle 1 fertigten wir im Mager- und im Gesamtbrätverfahren Bräte nach Aufstellen von einer oder von 3 Messerebenen auf die Welle eines 65- und eines 45-L Kutters.

Tab. 1: Brühwurstrezeptur

Rinderschulter	28 %
Schweineschulter	28 %
Speck (Rücken)	24 %
Scherbeneis	18,30 %
NPS	1,65 %
Na-Ascorbat	0,05 %

Die Gewebe wurden durch die 3 mm-Endlochscheibe eines Wolfes vorzerkleinert und lagerten vor der Kutterzerkleine-

rung über Nacht in einem Kühlraum bei 2 °C. Nach gemeinsamem Kuttern des Fleisches, des Eises und der Salze auf 2 °C erfolgte die Zugabe des Fettgewebes. Die Zerkleinerung wurde in jedem Fall bei einer Brättemperatur von 12 °C beendet. Nach Füllen in Kunstdärme Kal. 60 erfolgte die Erhitzung auf 70 °C Kerntemperatur. Ein Teil der Bräte wurde in Konservendosen verschlossen und auf einen F-Wert von 3 autoklaviert.

Beim Abmustern der Wurstanschnitte konnten keine wesentlichen Unterschiede im Zerkleinerungsgrad der Würste gefunden werden. Unterschiede in der Wasserbindung der konservierten Ware existierten nicht.

Schlussfolgerungen

Da das Brät gering viskos ist, strömt es nicht spontan in den Zerkleinerungsbereich ein. Es ist Aufgabe der Schüssel, es zu den Messerebenen zu transportieren. Die Messerebenen sind in der Regel durch Scheiben voneinander getrennt, die Messer einer Ebene stehen in den meisten Fällen zwar exakt gegenüber, sind aber häufig durch Einspannvorrichtungen achsial versetzt. Deshalb sind die Schüsselgeschwindigkeiten meist zu gering, um Brät zu den Messerebenen 2 und 3 zu fördern. Es wird nicht dafür plädiert, die Schüsselgeschwindigkeiten anzuheben. Vielmehr ist Kuttern von Brühwurstbrät mit 2 Messern auf einer Ebene möglich.