

Kuttern mit einem und mit zwei Messern bei gleichen Verhältnissen von Wellen- zu Schüsselgeschwindigkeiten

Chopping with one or two knives at equal ratios of the speeds of shaft and bowl

G. F. HAMMER und S. STOYANOV

Zusammenfassung

Es wurde den Wirkungen von Wellengeschwindigkeit und Verhältnis zwischen Schüssel- und Wellengeschwindigkeit sowie dem Effekt des Kutterns mit nur einem oder mit zwei Messern auf die Momentanleistung des Kutters, die Brättemperatur, die Kutterdauer bis auf 10 °C Brättemperatur, die Zerkleinerung des Bräts, die während des Prozesses verbrauchte Energie sowie auf einige Produkteigenschaften nachgegangen. Eine höhere Leistungsaufnahme, hiermit einhergehend eine raschere Temperatursteigerung und ein schnelleres Kuttern bis zum Stopp-Kriterium sowie eine zunehmend intensive Brätzerkleinerung resultierte aus einem Vermehren von Schüssel- und Wellengeschwindigkeit. Waren die Winkel, welche die Schüssel zwischen dem Abscheren von Brätsegmenten durchschritt, vergleichbar, existierten keine Zerkleinerungsunterschiede zwischen Bräten, die mit einem oder mit zwei Messern gekuttert waren. Die bis zum Stoppkriterium des Kutterns verbrauchte Energie, die Ausprägung der Wasserbindung von Konserven, die Bruchfestigkeit und die Härte der Würste wurde von den untersuchten Faktoren nicht beeinflusst.

Summary

The effects of a) the variability of the speed the shaft, b) the variability of the ratio between the speed of the bowl and the speed of the shaft and c) the number of knives on the shaft (one or two knives), were examined on the power of the chopper, the temperature of the batter, the time to chop the batter to 10 °C, the intensity of comminution of the batter, the energy used for chopping and some characteristics of the sausages. A higher power consumption, along with a higher temperature increase of the batter and a faster chopping, as well as better comminuted batters arose from an increase of the speed of the bowl and an increase of the speed of the shaft. If the bowl rotated through comparable angles during two consecutive shearings of the batter, no differences existed between the degree of comminution when chopping with only one or with two knives. The energy, which was consumed during chopping to a constant temperature of the batters, the water holding capacity of the batters, the hardness and the consistency of the sausages were not influenced by the examined factors.

Schlüsselwörter Brühwurst – UpM Welle – UpM Schüssel – Gewebezerkleinerung

Key Words cooked sausage – rpm of the shaft – rpm of the bowl –
disintegration of tissues

Einleitung

Einerlei, ob mit 3, mit 6 oder mit mehr Messern bis zur maximalen Drehzahl der Welle gekuttert wird – die Messeranzahl ist durch den Sechskant der Messerhalterung vorgegeben –, der Kutterhersteller sorgt durch Empfehlungen für ihre Aufstellung dafür, dass keine wesentliche Wellen-

Unwucht auftritt. Denn durch Unwucht ausgelöste Vibrationen und Schwingungen führen zu einer verminderten Standzeit dieses Werkzeuges des Wurstherstellers. Mit der vorgeschlagenen Messerverteilung soll gleichzeitig eine vom Verwender des Kutters erwünschte Dispergierung der bearbeiteten Rohstoffe erreicht werden.

Ganz klar ist aber nicht, inwiefern eine erwünschte Dispergierung der Rohstoffe durch eine vorgeschlagene Messerverteilung tatsächlich erreicht wird oder ob nicht manche Messer mehr dazu dienen, Unwucht der Welle zu mindern als Fleisch zu bearbeiten, sie also leer drehen. Denn dem Beobachter des Kuttervorganges stellt sich die Schüssel unter den Messern bis auf Brätreste leer dar.

Für dieses Phänomen gibt es eine Erklärung (1). Hierzu ist zunächst die Messeraufstellung auf der Welle zu betrachten. Zum Kuttern von Brühwurstbrät sind die Messer gewöhnlich paarweise so auf der Welle befestigt, dass das eine etwa nach oben und das andere, um 180° gedreht, nach unten zeigt. Solche Messerpaare bilden Messerebenen. Nach Aufsetzen der ersten Messerebene auf die Welle werden die weiteren nach Drehen der Welle um jeweils 60° montiert.

Bei einer solchen Messeraufstellung ist für die Schüssel-Leere im Rotationsbereich der Messerebenen weniger ein Ansammeln von Brät in der Haube über den Messern verantwortlich. Sie entsteht vielmehr dadurch, dass ein oder beide Messer der ersten auf die Welle gesteckten Messerebene während einer Umdrehung der Welle jeweils ein Brätsegment vom Brätstrang abscheren. Die dem Segment vom rotierenden Messer aufgeprägte Bewegungsenergie beschleunigt es, schleudert es weg, und zwar in Drehrichtung der Schüssel und in Richtung des Messeranschliffes. Dabei tritt es durch die weiteren Messerebenen hindurch, ohne notwendig Kontakt mit ihnen zu bekommen. Dem Auge bleibt dieser Vorgang verborgen, da er sich, bei 3000 UpM der Welle, 100-mal pro Sekunde wiederholt. Die nicht scherenden anderen Messer durchziehen an der Schüssel klebende Brätreste, sorgen dadurch für eine derzeit noch nicht näher quantifizierbare zusätzliche Gewebezerkleinerung und bringen Wärme in das Brät ein.

Aber sogar die Fähigkeit der beiden Messer der ersten Messerebene, die Zutaten einer Wurstrezeptur zu dispergieren, ist zu hinterfragen. Denn während das erste in Drehrichtung der Schüssel stehende im-

mer auf seinem ganzen Weg zwischen innerer und äußerer Schüsselfüllhöhe Segmente von dem durch die Schüsselbewegung voran gebrachten Brät abscheren und beschleunigen kann, trifft dies auf das zweite Messer nur unter einer Bedingung zu: Es sitzt „Kopf an Kopf“ auf dem ersten, also in einer Ebene mit ihm, zwischen den beiden Messern liegt kein axialer Abstand (2). Existiert ein Abstand zwischen ihnen, bestimmt der Winkel, den die Schüssel während einer halben Drehung der Welle zurücklegt, von welchem Schüsselpunkt an das zweite Messer beim Rotieren Kontakt mit dem Brätstrang bekommt und Brät abschert/beschleunigt.

Es ist dann doch von einigem Interesse, ob Brühwurstbrät überhaupt gekuttert werden kann, wenn auf diejenigen Messerebenen verzichtet wird, die sich vielleicht hauptsächlich aus maschinentechnischen Gründen auf der Welle befinden. Deshalb wurde einer Beeinflussung der Intensität der Gewebedestruktion durch variable Wellengeschwindigkeiten unter Verwendung von Zwei- und Sechsmessersätzen nachgegangen und es stellte sich heraus, dass eine Brätherstellung mit einem Zweimessersatz ohne weiteres möglich war. Durch Erhöhen der Wellen-UpM von 2500 auf 3750 kam eine zunehmend intensive Brätzerkleinerung zustande (3).

In der gewerblichen Praxis werden nun auch Messeraufstellungen verwendet, bei denen nach unseren Modellrechnungen nicht auszuschließen ist, dass nur ein einziges Messer Brätsegmente abschert/beschleunigt. Deshalb wurde auch die Frage untersucht, ob tatsächlich Bräte mit nur einem einzigen scherenden Messer gefertigt werden können. Da für das Kuttern mit nur einem Messer dann doch deutliche Wellenunwucht zu befürchten war, kam eine Messerebene mit zwei axial versetzten Messern zum Einsatz. Der axiale Abstand war derart gewählt, dass das zweite in Förderrichtung der Schüssel stehende Messer kein Brät vom Brätstrang abscheren konnte. Nach drei Minuten Kuttern mit dieser Messeraufstellung erfolgte die Prüfung, ob unterschiedliche Schüsselgeschwindigkeiten auf die Homogenität der Bräte Einfluss nahmen (4). Kuttern mit nur einem scherenden Messer erwies sich

sehr wohl als möglich und ein Steigern der Schüsselgeschwindigkeit von 5 UpM in Schritten von 4 auf 17 UpM resultierte in einer zunehmenden Brätzerkleinerung. Allerdings ergab Kuttern mit zwei „Kopf an Kopf“ stehenden Messern für die angegebene Zeit bei 17 UpM der Schüssel homogenere Bräte als Kuttern mit nur einem Messer.

Hiernach ist der Verzicht auf Messerebenen und sogar das Kuttern mit nur einem Messer durchaus möglich. In den Ergebnissen über den Zerkleinerungsgrad von Bräten steckt allerdings eine logische Diskrepanz: Denn dass beim Vermehren der Wellengeschwindigkeit die vom Brätstrang abgescherten Segmente immer kleiner werden und aus diesem Grund die Zerkleinerung des Bräts zunimmt, entspricht der Anschauung. Dass aber auch eine zunehmende Schüsselgeschwindigkeit dafür sorgen soll, dass eine bessere Bräthomogenität entsteht, widerspricht ihr. Denn die Brätmasse, die von der rotierenden Schüssel während einer Wellenumdrehung transportiert wird, ist dem von der Schüssel durchschrittenen Winkel proportional und folglich verbreitern sich mit zunehmender Schüsselgeschwindigkeit auch die Brätsegmente, die von einem Messer abgeschert/beschleunigt werden.

Versuchsplanung

Um die Ursache für diese Diskrepanz zu finden, bot sich an,

1. Die UpM der Welle zu erhöhen, aber den Winkel konstant zu halten, den die Schüssel zwischen einem wiederholten Brätscheren durchlief. (Faktor 1 der Versuchsplanung). Hiermit konnte dem Effekt einer variablen Wellen-UpM bei konstanter Dimension der abgescherten Brätsegmente nachgegangen werden. Gleiche Drehwinkel der Schüssel wurden durch Konstanthalten des Verhältnisses von Schüssel- zu Wellen-UpM erreicht.
2. Das Verhältnis von Schüssel- zu Wellengeschwindigkeit zu variieren (Faktor 2 der Versuchsplanung). Dies erlaubte, den bei einer fixen UpM der Welle auftretenden Effekt einer variablen abgescherten Brätmasse zu quantifizieren.
3. Ein oder zwei Messer zum Kuttern zu verwenden (Faktor 3 der Versuchsplanung). Steht nur ein Messer auf der Welle, schert/beschleunigt das Messer einmal pro Wellenumdrehung Brätsegmente, sind zwei Messer auf sie montiert, kommt es während einer Wellenumdrehung zu zwei Brätscherungen/-beschleunigungen. Der von der Schüssel zwischen zwei Brätscherungen/-beschleunigungen durchschrittene Winkel ist damit im Falle der Verwendung eines Messers doppelt so groß wie im Falle der Verwendung von zwei Messern. Anders gewendet: um unter Verwendung von einem Messer die Schüssel zwischen zwei Brätscherungen den gleichen Winkel durchschreiten zu lassen wie unter Verwendung von zwei Messern, musste entweder die Welle doppelt so rasch rotieren – was technisch nicht möglich war – oder die Schüsselgeschwindigkeit musste halbiert werden. Dies erlaubte eine weitere Differenzierung der Wirkung des Schüsselwinkels auf die zu prüfenden Effekte.

Durch das Aufnehmen der drei Faktoren in den gleichen Versuchsplan wurde es möglich, nicht nur die Größe der von jedem einzelnen Faktor hervorgebrachten Effekte abzuschätzen, sondern auch zu untersuchen, ob sich die Effekte in ihrer Wirkung etwa auf die Momentanleistung des Kutters oder, hiermit ursächlich verknüpft, auf die Temperatursteigerung des Bräts, die Dauer des Kutters oder auf Produkteigenschaften addieren, einander dämpfen oder verstärken. Der Bezug auf die von einer Schüssel während des Drehens der Welle durchschrittenen Winkel macht die Ergebnisse insbesondere auch unabhängig von der Baugröße eines Kutters.

Folgende Werte der Faktoren wurden geprüft: UpM der Welle: 3000 oder 4000, Verhältnis UpM Schüssel zu UpM Welle: 3×10^{-3} zu eins oder 6×10^{-3} zu eins, Anzahl der Messer: Eins oder zwei. Den 2^3 -faktoriellen Versuchsplan mit jeweils einem Zentralpunkt, bei dem mit 3510 UpM der Welle und einem UpM-Verhältnis von $4,5 \times 10^{-3}$ zu eins gekuttert wurde, zeigt Tabelle 1.

Versuchsdurchführung

Zum Zerkleinern und Dispergieren der nach Vorzerkleinern durch den Vorschneider eines Wolfes (13 mm) über Nacht bei 2 °C gekühlten Gewebe diente ein 45 L-Kutter der Fa. K+G Wetter, die Chargengröße war 25 kg, das Kuttern geschah im Gesamtbrätverfahren mit folgendem Messer: Gleitwinkel 20°, Anschliffwinkel 32°, effektiver Anschliffwinkel, das ist der, in welchem die Messer schnitten, 30°. Beim Kuttern mit zwei Messern waren beide nach dem Tarieren „Kopf an Kopf“ auf einer Haltescheibe befestigt, und auf der Welle rotierten sie so nah wie möglich an der Pilzmitte durch die Schüssel. Das Kuttern mit nur einem auf der Haltescheibe befestigten Messer war möglich, da der Zweitautor ein ausgewuchtetes, an die Messergeometrie angepasstes Gegengewicht ohne Schneide konstruierte und fertigen ließ, das an der Stelle des anderen Messers stand (Abb. 1).

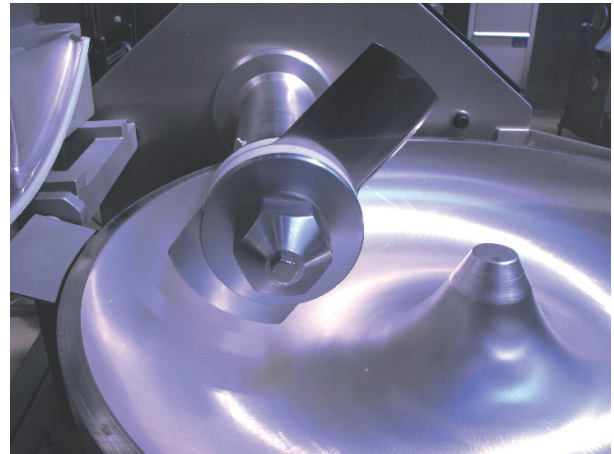


Abb. 1: Kuttern mit einem Messer.
Gegengewicht schräg nach unten links, Messer mit Gleitwinkel 20° und effektivem Anschliffwinkel 30° schräg nach oben rechts

Tab. 1: Versuchsplan, ergänzt um die Angaben: A: Drehwinkel der Welle zwischen wiederholtem Scheren von Brät durch ein Messer; B: Winkel, den die Schüssel in dieser Zeit zurücklegte; t: Brättemperatur nach Kuttern für 9000 Brätscherungen; T: Dauer zum Kutter für 9000 Brätscherungen; P: Mittlere Momentanleistung bei Kuttern für 9000 Scherungen, W: Energieverbrauch beim Kuttern für 9000 Scherungen, T: Dauer zum Kutter auf 10 °C; P: Mittlere Momentanleistung beim Kuttern auf 10 °C; W: Energieverbrauch beim Kuttern auf 10 °C

Faktoren der Versuchsplanung				9000 Scherungen				10 °C				
UpM _{Welle}	UpM-Verhältnis [x10 ⁻³ zu 1]	Messer-Anzahl	UpM Schüssel	A [Grad]	B [Grad]	t [°C]	T [sec]	P [kW]	W [kWh]	T [sec]	P [kW]	W [kWh]
3000	3	1	9	360°	1,08	0,7	180	4,62	0,23	359	4,74	0,47
4000	3	1	12	360°	1,08	3,2	135	7,82	0,30	217	7,88	0,48
3000	6	1	18	360°	2,16	5,3	180	7,04	0,35	247	6,98	0,48
4000	6	1	24	360°	2,16	8,2	135	11,73	0,44	151	11,75	0,50
ZP	3510	4,5	15,8	360°	1,62	4,6	154	7,72	0,33	223	7,65	0,48
	3000	3	9	180°	0,54	-1,1	90	5,61	0,14	296	5,67	0,47
	4000	3	12	180°	0,54	-0,4	68	10,12	0,19	173	10,00	0,48
	3000	6	18	180°	1,08	0,4	90	8,96	0,22	193	8,87	0,48
	4000	6	24	180°	1,08	2,2	68	15,03	0,24	117	14,96	0,49
ZP	3510	4,5	15,8	180°	0,81	0,5	77	10,07	0,22	168	9,93	0,47

Da miteinander vergleichbare Ergebnisse über Kutterleistungen und Temperaturverläufe der Bräte erzielt werden sollten, war die Ausgangstemperatur der Kutterschüssel bei jeder Charge möglichst gleich zu halten. Deshalb erfolgte vor jedem Experiment ein Temperieren der Schüssel mit Wasser und Eis auf 10 °C. Nach Beschicken des Kutters wurde bei still stehender Schüssel sofort auf die jeweilige UpM der Welle geschaltet und nach ihrem Einlaufen, etwa 8 sec, die Schüssel zugeschaltet. Während des Kutters wurde das Drehmoment der Welle mittels Dehnungsmessstreifen festgestellt und abgeleitet (STOYANOV, in Vorbereitung). Aus ihm konnte die zur Bewegung der Welle erforderliche Momentanleistung des Hauptmotors errechnet werden. Die Brättemperatur wurde mittels des kuttereigenen Moduls CutVision 10-mal pro Sekunde erfasst. Sobald durch ein oder durch zwei Messer 9000 Brätscherungen erfolgt waren (jeweilige Kutterdauer: Tab. 1, Spalte 9000 Scherungen, T), wurden Brätproben zur fotografischen Dokumentation ihres Zerkleinerungsgrades entnommen. Das Kuttern endete bei einer Brättemperatur von 10 °C.

Gestaltung der Rezeptur, Füllen der Bräte, ihre Erhitzung und die Untersuchungen erfolgten wie in (3).

Ergebnisse

Kuttern auf 10 °C Brättemperatur

Was den Verlauf der Leistung während des Kutters auf eine Brättemperatur von 10 °C angeht, so war zu erwarten, dass er bei den unterschiedlichen Versuchsanstellungen mehr oder weniger unterschiedlich ausfiel. Denn insbesondere scherte/beschleunigte ein Messer nach Verdoppeln des UpM-Verhältnisses (Tab. 1) ja die zweifache Brätmasse und es war anzunehmen, dass der die Welle drehende Hauptmotor hierfür ein Mehr an Momentanleistung verlangte. Wegen des ursächlichen Zusammenhanges zwischen der Momentanleistung und der Temperatursteigerung des Bräts war auch zu vermuten, dass sich dies im Gang der Brättemperatur bemerkbar machte. Beide An-

nahmen bestätigten sich (Abb. 2 und 3: Leistung logarithmisch aufgetragen). Zu höheren Werten verschob sich der mehr oder weniger horizontal verlaufende Teil der Leistungskurven bei Verwendung von einem wie von zwei Messern allerdings nicht nur dann, wenn die Masse der abgescherten Brätsegmente zunahm, sondern, ohne weiteres einsichtig, auch mit zunehmender Wellengeschwindigkeit. Dem entsprechend stellten sich die Kurven als nach der Wellengeschwindigkeit gruppiert dar. Drehte die Welle mit 4000 UpM, lagen die Kurvenverläufe höher als beim Drehen mit 3000 UpM. Kuttern an den Zentralpunkten des Versuchsaufbaus lieferte Leistungskurven zwischen den beiden Extremen.

Definiert man als „mittlere Leistung“ des Kutters einmal das arithmetische Mittel der Leistung während der Kutterdauer, wird statistisch überprüfbar, wie sie von den Faktoren der Versuchsplanung beeinflusst wurde. Die Einzelwerte sind in Tabelle 1 (Spalte 10 °C, P) angegeben. Es bestanden statistisch signifikante lineare Beeinflussungen der mittleren Leistung durch die Faktoren ($R^2 = 0,959$), Wechselwirkungen lagen nicht vor.

Beim Erhöhen der Wellengeschwindigkeit wurde der von der Schüssel zwischen einem wiederholten Brätscheren durchschrittene Winkel konstant gehalten (Tab. 1, B). Das Umschalten der UpM der Welle von 3000 auf 4000 ließ die mittlere Leistung von 6,6, bei 3000 UpM, auf 11,2 kW, bei 4000 UpM, damit um $4,6 \pm 0,29$ kW ansteigen. Dieser Leistungs-Mehrbedarf kam einzig durch die Drehzahlzunahme der Welle zustande. Nun förderte die Schüssel bei der hohen Wellengeschwindigkeit pro Sekunde 1/3 mehr an Brätmasse als bei der niedrigen (Tab. 1, UpM Schüssel) und dieses Mehr an Masse wurde von einem rascher rotierenden Messer bearbeitet. Dass das häufigere Bearbeiten gleich dimensionierter Brätsegmente durch ein Messer bei 4000 UpM der Welle aber keine höhere Leistung forderte als das weniger häufige bei 3000 UpM der Welle, ergab sich bei der Betrachtung der mittleren Leistung beim Kuttern für 9000 Scherungen.

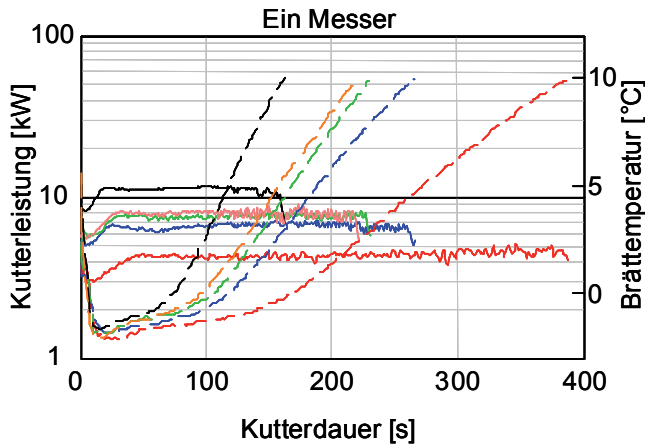


Abb. 2: Kuttern mit einem Messer.
 Motorleistung und Brättemperatur beim Kuttern auf 10 °C in Abhängigkeit von der Kutterdauer.
 Durchgezogene Kurven: Kutterleistung, gestrichelte Kurven: Brättemperatur

Farbe	UpM		Schüsselwinkel
	Welle	Schüssel	
rot	3000	9	1,08
blau	3000	18	2,16
grün	4000	12	1,08
schwarz	4000	24	2,16
orange	3510	15,8	1,62

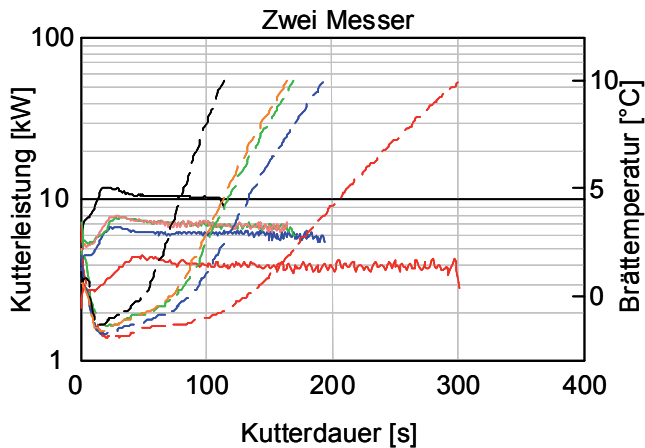


Abb. 3: Kuttern mit zwei Messern.
 Motorleistung und Brättemperatur beim Kuttern auf 10 °C in Abhängigkeit von der Kutterdauer.
 Durchgezogene Kurven: Kutterleistung, gestrichelte Kurven: Brättemperatur

Farbe	UpM		Schüsselwinkel
	Welle	Schüssel	
rot	3000	9	0,54
blau	3000	18	1,08
grün	4000	12	0,54
schwarz	4000	24	1,08
orange	3510	15,8	0,81

Eine Zunahme des UpM-Verhältnisses von 3 auf 6×10^{-3} zu eins wurde durch Verdopplung der Schüsselgeschwindigkeit bei konstanter UpM der Welle bewerkstelligt (Tab. 1 Spalte UpM Schüssel). Hiermit verdoppelte sich auch der von der Schüssel zwischen zwei Brätscherungen durchschrittene Winkel (Tab. 1 Spalte B) und damit die abgescherte/beschleunigte Brätmasse. Durch diese Maßnahme stieg die mittlere Leistung von $7,1$, bei dem niedrigen UpM-Verhältnis, um $3,6 \pm 0,29$ auf $10,7$ kW bei dem hohen UpM-Verhältnis an. Durch die Methode der Leistungsermittlung war ausgeschlossen, dass die zum Drehen der Schüssel erforderliche Leistung mit erfasst wurde.

Was den Faktor Anzahl der Kuttermesser betrifft, so wurde von der Schüssel zwischen einem wiederholten Brätscheren beim Kuttern mit einem Messer ein Winkel von im Mittel $1,62^\circ$, beim Kuttern mit zwei Messern einer von nur $0,81^\circ$ überstrichen. Die Schüssel bewegte sich also während einer vollen Drehung der Welle in beiden Fällen um $1,62^\circ$ voran. Stand nur ein Messer auf der Welle, wurde die entsprechende Brätmasse in einem Teil vom antransportierten Brätstrang abgeschert, standen zwei Messer auf der Welle, erfolgten zwei Scherungen dieser Masse. Das zweimalige Bearbeiten der gleichen Masse, durch zwei Messer, verlangte allerdings eine höhere Leistung als ein nur

einmaliges, durch ein Messer. Denn die mittlere Leistung stieg von 7,9, beim Kuttern mit einem scheren Messer, um $2,0 \pm 0,26$ auf 9,9 kW an, wenn zwei Messer scherten. Diese Leistungszunahme kam jedenfalls nicht durch Unterschiede in der zu drehenden Wellenmasse zustande; dem wurde beim Kuttern mit nur einem scheren Messer durch Aufstellen des Gegengewichtes begegnet (siehe Versuchsplanung und Abb. 1).

Beim Kuttern mit einem und mit zwei Messern wurden von der Schüssel zwischen einem wiederholten Abscheren/ Beschleunigen von Brät sowohl bei 3000 als auch bei 4000 UpM der Welle auch identische Winkel durchschritten. Sie lagen bei $1,08^\circ$, und je nach Anzahl der verwendeten Messer beschleunigte während einer Umdrehung der Welle entweder nur eins (Ein-Messersatz) oder beide (Zwei-Messersatz) die diesem Winkel entsprechende Brätmasse. Es handelt sich hier also, anders als im Falle der gleichen Masseförderung pro Wellenumdrehung (oben), darum, dass während einer Wellenumdrehung von zwei Messern die doppelte Masse wie von einem Messer behandelt wurde. Hier stellte sich die Leistung beim Kuttern mit zwei Messern etwa doppelt so hoch dar wie im Falle des Kutters mit einem Messer (siehe Tab. 1 bei B: $1,08^\circ$ und Spalte 10° : P).

So aufgegliedert wird klar, warum sich bei Verwendung von einem und zwei Messern die Verläufe der horizontalen Bereiche der Leistungskurven nicht sehr unterschieden (Abb. 2 und 3). Denn nach Aufsetzen eines zweiten Messers an Stelle des Gegengewichtes nahm die mittlere Leistung nur um 2,0 kW zu. Die deutliche Gruppierung der Leistungsverläufe nach der Wellengeschwindigkeit resultiert aus einem um 4,6 kW höheren Leistungsbedarf zum Drehen der Welle mit 4000 anstatt mit 3000 UpM. Der Effekt des UpM-Verhältnisses lag zwischen dem der Wellen-UpM und dem der Messeranzahl.

Es bleibt festzuhalten:

1. Erhöhen der Wellengeschwindigkeit führte zu einem höheren Leistungsbedarf des Kutters und zwar unabhängig von der Messeranzahl oder vom Dreh-

winkel der Schüssel. Durch die Versuchsplanung war hier, anders als in der früheren Arbeit (3), die Unabhängigkeit zwischen dem Effekt der Wellen-UpM und dem einer Masseförderung durch die Kutterschüssel sichergestellt.

2. Ein Erhöhen des UpM-Verhältnisses, damit ein Vermehren der vom angelieferten Brätstrang abzuscherenden/ zu beschleunigenden Brätsegmentmasse erforderte eine höhere Kutterleistung.
3. Das Drehen von zwei auf die Welle montierten Messern ließ im Vergleich zum Drehen der Welle mit einem Messer plus Gegengewicht den Bedarf an Kutterleistung unabhängig von der genauen Wellendrehzahl und unabhängig vom UpM-Verhältnis ansteigen.

Die zum Erreichen einer Brättemperatur von 10°C notwendige Kutterdauer (Tab. 2 Spalte 10° : T) konnte beim Arbeiten mit einem sowie mit zwei Messern ganz erheblich verkürzt werden durch 1. Steigerung der Schüsseldrehzahl bei 3000 sowie bei 4000 UpM der Welle, 2. Erhöhung der Wellengeschwindigkeit bei kleinerem sowie größerem UpM-Verhältnis und 3. Gleichzeitige Vermehrung von UpM Welle und UpM Schüssel von 3000 auf 4000 bzw. von 9 auf 24. Die Prozessdauer verminderte sich durch diese Maßnahmen bei Verwendung von einem Messer um 58 %, von 359 auf 151 Sekunden, und bei Verwendung von zwei Messern um 60 %, von 296 auf 117 Sekunden.

Im Detail war es so, dass durch Erhöhen der Wellendrehzahl von 3000 auf 4000 UpM die Kutterdauer am deutlichsten, um 40 %, reduziert wurde. Durch Erhöhen des UpM-Verhältnisses von 3 auf 6×10^{-3} kam es zu einer Verringerung um 32 % und den geringsten Einfluss hatte die Verwendung von zwei anstatt nur eines Messers. Nach Verwendung von zwei Messern war die Zeitspanne für das Kuttern um nur 20 % verkürzt.

Die zum Kuttern verbrauchte Energie ist ebenfalls in Tabelle 2 (Spalte 10°C : W) dargestellt. Sowohl mit nur einem wie auch mit zwei Kuttermessern stieg sie mit

zunehmender Wellendrehzahl und auch mit einer Vermehrung des UpM-Verhältnisses geringfügig, nicht statistisch signifikant an. Zum Kuttern auf eine bestimmte Brättemperatur ist nun einmal das Einbringen einer entsprechenden Wärmeenergie

in das Brät notwendig. Dies konnte entweder innerhalb einer kürzeren Kutterdauer, dann war die Momentanleistung hoch, oder, bei geringerer Momentanleistung, innerhalb einer längeren geschehen (siehe Abb. 2 und 3).

Tab. 2: Effekte der Faktoren der Versuchsanstellung auf die Produkteigenschaften.
Die Effekte entstanden beim Variieren der Faktoren vom niedrigen zum hohen Wert

abhängige Variable			Effekt von			R ²
			UpM _{Welle} 3000 → 4000	UpM-Verhältnis 3*10 ⁻³ → 6*10 ⁻³	n Messer 1 → 2	
L*- Wert	a)	66,3	n. s.	n.s.	-1,2 ± 0,17	0,215
a*- Wert	a)	20,4	n. s.	n.s.	1,0 ± 0,13	0,229
Bruch [N]	\bar{x}	20,5	n. s.	n.s.	n.s.	-
Härte [N]	\bar{x}	37,7	n. s.	n.s.	n.s.	-
Dichte [g/cm ³]	a)	0,968	- 0,004 ± 0,009	- 0,005 ± 0,009	0,007 ± 0,009	0,434
Geleeabsatz [g/100 g]	\bar{x}	18,2	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

a): Achsenabschnitt der Regressionsgeraden
 \bar{x} : Mittelwert der unabhängigen Variablen
 n. s.: Effekt nicht statistisch signifikant ($\alpha = 0,05$)

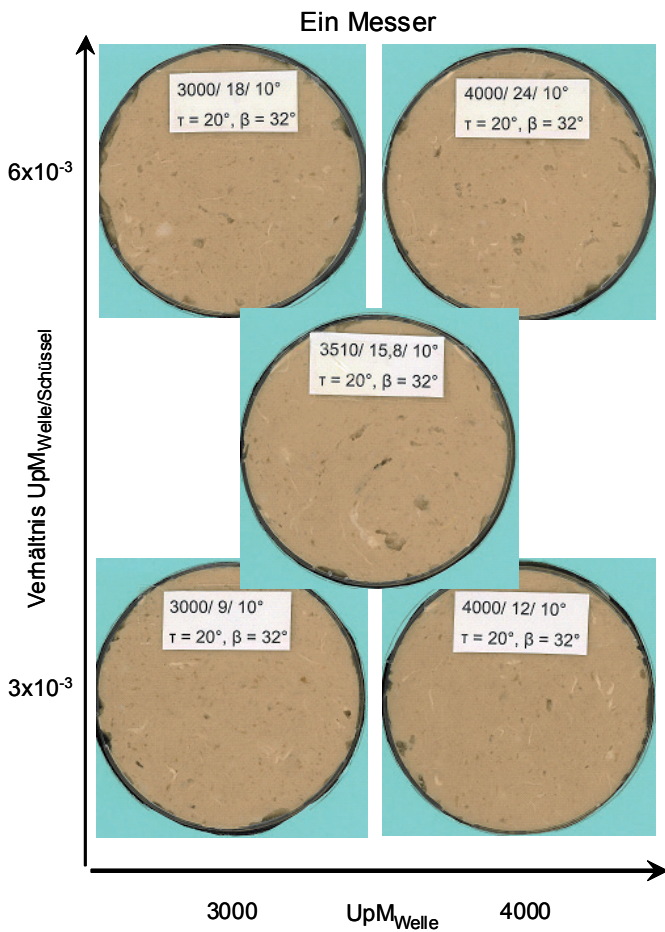


Abb. 4: Kuttern mit einem Messer.
Bräte nach Kuttern auf 10 °C

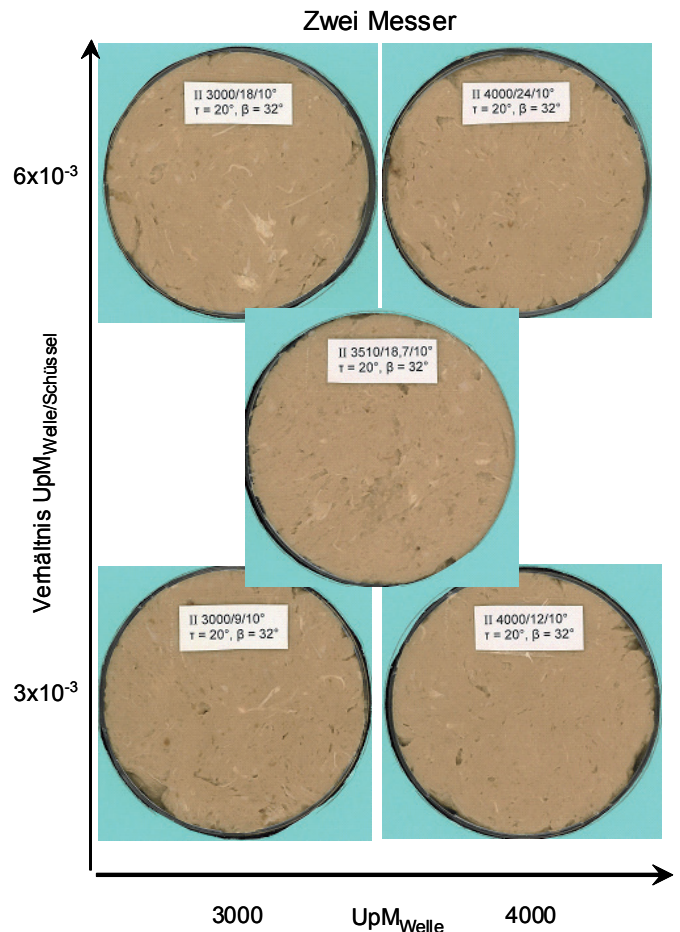


Abb. 5: Kuttern mit zwei Messern.
Bräte nach Kuttern auf 10 °C

Nach Kuttern auf 10 °C entnommene Brätproben (Abb. 4 und 5) stellten sich, sieht man von den Bindegeweberesten ab, welche bei Versuchswiederholungen bei unterschiedlichen Faktorenkombinationen auftraten, in der Zerkleinerung im Wesentlichen ähnlich dar.

Die durch die Faktoren UpM der Welle, UpM-Verhältnis und Messeranzahl bewirkte Variabilität der Produkteigenschaften wurde regressionsanalytisch untersucht, wobei auch mögliche zwei- und dreifaktorielle Wechselwirkungen einbezogen wurden (Tab. 2). Die Ergebnisse zeigten, dass solche Wechselwirkungen nicht vorlagen. Die von den Faktoren der Versuchsplanung hervorgerufenen Effekte waren linear und additiv. Zwischen den Faktoren der Versuchsplanung und dem Ausmaß einer Geleeseperation bei Konserven, der Härte und der Bruchfestigkeit der Würste bestand kein statistisch signifikanter Zusammenhang. Die UpM der Welle und das UpM-Verhältnis nahmen keinen Einfluss auf die Produkthelligkeit (L^* -Wert) oder den Rotton (a^* -Wert). Die Ausprägungen dieser Produkteigenschaften hingen aber davon ab, mit wie vielen Messern das Kuttern erfolgte. Kuttern mit zwei Messern führte im Vergleich zum Kuttern mit nur einem Messer zu einer um 1,2 Einheiten geringeren Produkthelligkeit, dafür stieg der Rotton um 1,0 Einheiten an. Der Zusammenhang zwischen den Faktoren der Versuchsplanung und dem L^* - sowie dem a^* -Wert (Bestimmtheitsmaß R^2 in Tab. 2) war mit 0,215 bzw. 0,229 sehr gering, aber statistisch signifikant und durch das Kuttern mit einem oder zwei Messern konnten nur ca. 23 % der Variabilität der Werte erklärt werden. Die Produktdichte stellte sich mit einer von 3000 auf 4000 UpM zunehmenden Drehzahl der Welle um $0,004 \text{ g/cm}^3$, mit einem von 3 auf 6×10^3 zu eins zunehmendem UpM-Verhältnis um $0,005 \text{ g/cm}^3$ geringer dar. Beide Maßnahmen führten somit zu vermehrten Lufteinschlüssen im Brät. Nach Kuttern mit zwei Messern war die Dichte um $0,007 \text{ g/cm}^3$ höher als nach Kuttern mit nur einem Messer. Das Bestimmtheitsmaß R^2 für diese Zusammenhänge lag mit 0,434 deutlich höher als das im Falle des L^* - und des a^* - Wertes.

Kuttern für 9000 Brätsegmente

Was die Intensität der Gewebezerkleinerung nach 9000 Scherungen angeht, so stieg sie sowohl bei Verwendung von nur einem wie von zwei Messern an, wenn die UpM der Welle von 3000 auf 4000 zunahm (Abb. 6 und 7 jeweils untere und obere Zeile. 3000 UpM links, 4000 UpM rechts).

Damit war die einleitend formulierte Hypothese, ein Erhöhen der Wellendrehzahl führe deshalb zu einer zunehmenden Brätzerkleinerung, weil schmalere Brätsegmente geschert werden, zu verwerfen. Für die bessere Brätzerkleinerung war vielmehr einzig die zunehmende Drehzahl der Welle, die höhere Winkelgeschwindigkeit des/der Messer verantwortlich, welche auch eine höhere mittlere Momentanleistung erforderte.

Dass ein Abscheren schmalerer anstatt breiterer Segmente gar nicht zu einer besseren Gewebezerkleinerung führte, sondern ganz im Gegenteil gerade das Scheren/Wegschleudern breiterer Segmente nach 9000 Scherungen homogenere Bräte entstehen ließ, ist in den Abbildungen 6 und 7 demonstriert. Mit Wechsel des UpM-Verhältnisses von 3 auf 6×10^3 zu eins gestaltete sich der von der Schüssel zwischen zwei Scherungen durchschrittene Winkel größer (Tab. 1, B), die Schüssel drehte rascher und das jeweils scherende Messer bearbeitete breitere Brätsegmente. Um es zu betonen: Die Zerkleinerung verbesserte sich, wenn ein Messer 9000 größere anstatt 9000 kleinerer Brätsegmente vom Brätstrang abscherte.

Dieser experimentelle Befund wurde dadurch erhärtet, dass nach 9000 Scherungen mit dem Zwei-Messersatz die Bräte weniger homogen ausfielen als nach der gleichen Anzahl an Scherungen mit dem Ein-Messersatz (Vergleich der Abb. 6 und 7). Hinter dieser Beobachtung steckte ebenfalls der Effekt des von der Schüssel zwischen einem wiederholten Scheren durchschrittene Winkels. Denn mit zwei Messern wurden nur halb so große Brätsegmente vom Brätstrang abgeschert/beschleunigt, wie mit einem Messer (Tab. 1, Spalte B).

Es wurden aber auch 9000-mal gleich dimensionierte Brätsegmente durch jedes Messer geschert. Dies fand statt, wenn die Schüssel zwischen dem Scheren jedes der beiden Messer des Zwei-Messersatzes und zwischen dem wiederholten Scheren des Einzelmessers einen Winkel von $1,08^\circ$ durchlief. Nicht verwunderlich fiel bei beiden Wellengeschwindigkeiten und UpM-Verhältnissen die Zerkleinerung sehr ähnlich aus (für 3000 UpM der Welle: Abb. 6 unten links sowie Abb. 7 oben links; für 4000 UpM der Welle: Abb. 6 unten rechts sowie Abb. 7 oben rechts).

Damit gilt festzuhalten: Es ist nicht die Anzahl an Messern, eins oder zwei, welche den Grad der Gewebezerkleinerung be-

stimmt. Neben der UpM der Welle ist es vielmehr der Drehwinkel der Schüssel bzw. ihre Geschwindigkeit.

Gleichzeitig nahmen beim Kuttern für nur 9000 Scherungen auch die mittlere Momentanleistung sowie der Energieverbrauch des Kutters mit Zunahme der UpM der Welle und des UpM-Verhältnisses zu, wobei allerdings zwischen der Verwendung von einem und von zwei Messern deutliche Differenzen im Ausmaß der Erhöhungen bestanden (Tab. 1, Spalte 9000 Scherungen). An vergleichbaren Punkten des Versuchsplanes wurde mit einem Messer zwar eine geringere Momentanleistung verlangt als mit zwei Messern.

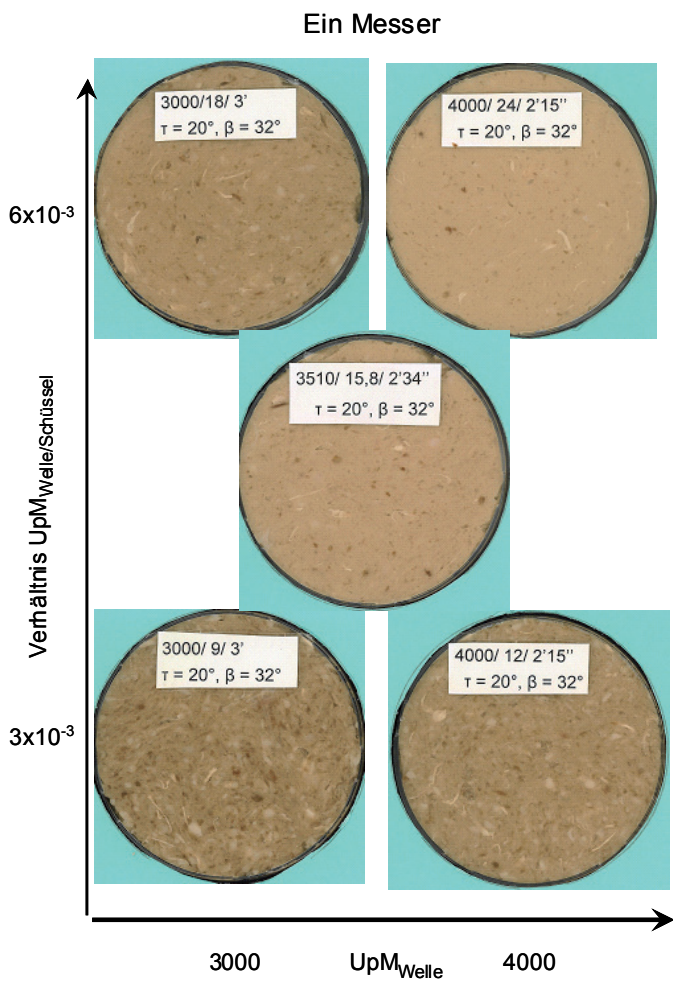


Abb. 6: Kuttern mit einem Messer. Summe der Brätscherungen 9000. Die jeweilige Kutterdauer ist an den Brätproben oben rechts angegeben

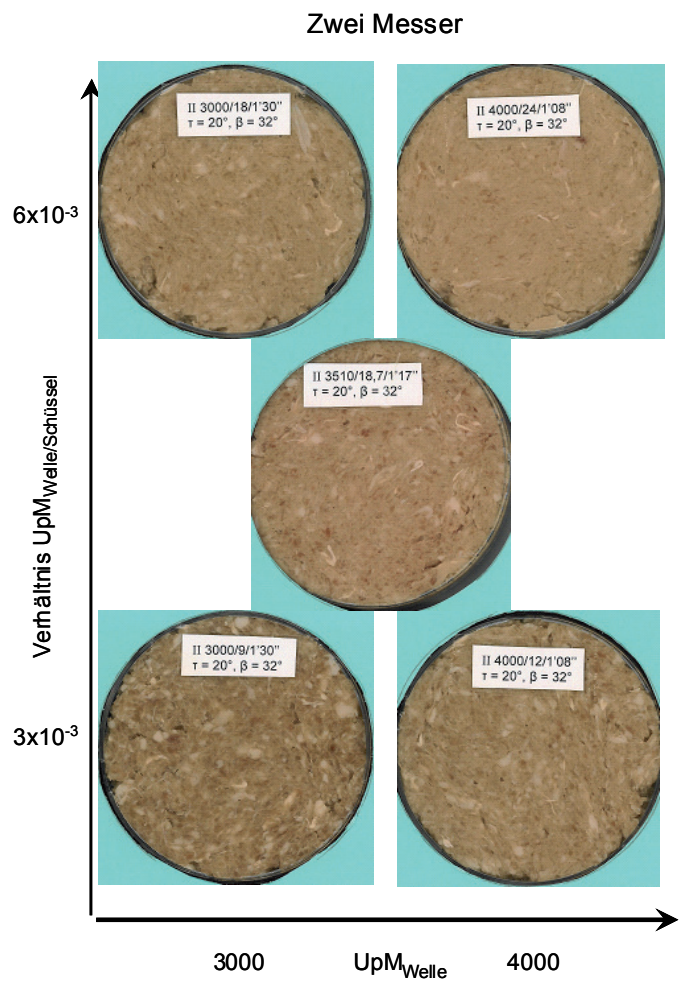


Abb. 7: Kuttern mit zwei Messern. Summe der Brätscherungen 9000. Die jeweilige Kutterdauer ist an den Brätproben oben rechts angegeben

Der Energieverbrauch beim Küttern für 9000 Scherungen war mit einem Messer, anders als beim Küttern auf die Brät- endtemperatur von 10 °C, aber fast doppelt so groß wie beim Küttern mit zwei Messern. Grund hierfür war, dass zum Erreichen der Anzahl an Scherungen mit einem Messer doppelt so lang gekuttert werden musste wie mit zwei Messern. Das Mehr an verbrauchter Energie äußerte sich darin, dass die Brättemperatur nach 9000 Scherungen durch ein Messer höher lag als nach der gleichen Anzahl an Scherungen durch zwei Messer.

Die genauen Effekte der Faktoren der Versuchsplanung auf die während des Kütterns für 9000 Brätscherungen verbrauchte Energie sowie auf die Brättemperatur stellten sich folgendermaßen dar: 1. Umschalten der Wellen-UpM von 3000 auf 4000 verband sich mit einer Zunahme des Energieverbrauches um 0,06 kWh und es ließ die Brättemperatur von im Mittel 1 °C auf 3 °C ansteigen. 2. Bei einem UpM-Verhältnis von 3×10^{-3} zu eins lag die Brättemperatur im Mittel bei 0,6 °C. Erhöhen auf 6×10^{-3} zu eins führte zu einem um 0,10 kWh gesteigerten Energieverbrauch und einer höheren Temperatur von 4,0 °C. 3. Wurde mit nur einem Messer gekuttert, lag die Temperatur im Mittel um 4,4 °C höher als beim Küttern mit zwei Messern. Beim Küttern mit zwei Messern betrug die Brättemperatur nach 9000 Brätscherungen im Mittel 0,3 °C. Küttern mit einem Messer verbrauchte 0,13 kWh mehr Energie als Küttern mit zwei Messern.

Nun hatte sich ja der Effekt der Wellendrehzahl auf die mittlere Leistung beim Küttern auf 10 °C als nicht ganz eindeutig dargestellt, da bei Küttern mit konstanter Schüsselgeschwindigkeit und 4000 UpM der Welle die pro Sekunde von einem Messer geförderte Brätmasse um ein Drittel höher lag als beim Küttern mit 3000 UpM. Diesem Masseffekt war durch das Küttern für 9000 Brätscherungen vorgebeugt. Hier war die mittlere Leistung beim Küttern mit 3000 UpM der Welle 6,6 kW, beim Küttern mit 4000 UpM 11,2 kW und einzig durch das Umschalten von der niedrigen auf die höhere Wellendrehzahl stieg sie um 4,6 kW an. Das stimmte mit dem Ergebnis beim Küttern auf 10 °C Brättem-

peratur überein. Damit ergibt sich auch, dass das häufigere Bearbeiten einer Masse pro Sekunde, was die Kutterleistung betrifft, vernachlässigbar klein war.

Es sollte nicht vergessen werden, dass hier entweder ein oder zwei Messer Brätsegmente vom antransportierten Brätstrang abscheren und in Förderrichtung der Schüssel sowie in Richtung ihres Anschliffes beschleunigen. Andere Messerebenen, die um 60 ° versetzt auf der Welle stehen oder die zwei nicht scheren- den Messer eines Dreimessersatz, bearbeiten an der Schüssel klebende Brätreste. Eine Frage danach, ob denn überhaupt mit nur einer Messerebene Bräte gefertigt werden können, wenn der Lieferant des Werkzeuges Kutter und/oder Messer doch – vielleicht wegen Schonung von Wellenlagern – so viele wie technisch möglich vorschlägt, oder ob dazu nur ein einziges Messer ausreichend ist, stellt sich nun nicht mehr.

Schlussfolgerungen für die Praxis

Es ist ohne weiteres möglich, fein zerkleinerte Brühwurstbräte mit nur einer auf die Welle gesetzten Messerebene und auch, nach Aufsetzen eines Gewichts zum Verhindern von Unwucht, mit nur einem Messer im Kutter zu fertigen. Natürlich müssen zunächst einmal die scheren- den Messer scharf sein – diesen Problemkreis wollen wir in einem folgenden Projekt näher untersuchen. Was die zum Küttern verbrauchte Energie angeht, so ist sie, wenn als Stopp-Kriterium des Prozesses die Brättemperatur dient, bei Verwendung von einem und zwei Messern gleich groß. Sie ist in diesem Fall ein Maß für die in das Brät eingebrachte Wärme und keineswegs eines für den Zerkleinerungserfolg. Küttern mit 4000 UpM der Welle resultierte in einer besseren Brätzerkleinerung als Küttern mit 3000 UpM. Mit einer Zunahme der Schüsselgeschwindigkeit verbesserte sich der Zerkleinerungserfolg ebenfalls. Wurden beide Maßnahmen zusammen ergriffen, verkürzte sich die Dauer des Kütterns bis zur Brättemperatur von 10 °C um rund 60 %. Dies trifft auf alle Baugrößen von Küttern zu.

Das Forschungsvorhaben (AIF 15 658 N) wurde im Rahmen zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (via AiF) über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI) gefördert.

Literatur

(1) Hammer, G.F., E. Haack und S. Stoyanov (2006): Unterschiedliche Qualität von Brühwurstbrät. Küttern mit verschiedenen Messern. *Fleischwirtschaft* 86, 4, 88-92.

(2) Hammer, G. F. und S. Stoyanov (2009): Schüsselkutter: Höchstens zwei Messer scheeren Brät intensiv. *Fleischwirtschaft* 89, 4, 87-92.

(3) G. F. Hammer und S. Stoyanov (2010): Über das Küttern von Brühwurstbrät I. *Fleischwirtschaft*, im Druck.

(4) G. F. Hammer und S. Stoyanov (2010): Küttern mit nur einem Messer für 3 Minuten bei unterschiedlichem Schüsselvorschub - Zerkleinerungsgrad des Bräts. *Fleischwirtschaft*, in Vorbereitung.