

## Titel

# **Produktivitäts- und Qualitätsverbesserung in der Lebensmittelindustrie durch optimierte Zerkleinerung in Wolfmaschinen mittels formoptimierter Scheiben, die additiv (LPBF) aus Schnellarbeitsstahl gefertigt werden**

IGF-Nr.: 01IF22327N

---

## Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW)  
Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid

Forschungseinrichtung 2: Hochschule Anhalt (HSA)  
Bernburger Straße 55, 06366 Köthen



Ansprechpartner beim IFW:

Dr.-Ing. Robin Roj  
+49 (2191) 5921-122  
roj@fgw.de

Ansprechpartner der HSA:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wolfram Schnäckel  
+49 (3471) 355-1194  
wolfram.schnaeckel@hs-anhalt.de

## Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 22327 BG der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

## Ausgangssituation

Bereits seit Jahrzehnten ist im Lebensmittelhandwerk und der -industrie die Zerkleinerung von Rohstoffen, insbesondere in einer Wolfmaschine, die gängigste Methode zur Erzeugung feiner Grundmassen bspw. für die Wurstproduktion. Grundlegend besteht der Fleischwolf aus drei Baugruppen (A-C): (A) Gehäuse und Aufnahmebehälter, (B) Schneidesatz, Förder- sowie Druckschnecke und (C) Motor (vgl. Abb. 1, links) [WeB05]. Der halb feste, inhomogene Rohstoff Fleisch wird mittels einer Förderschnecke in feststehende Lochscheiben gepresst, dort fixiert und von rotierenden Messern geschnitten und zunehmend feiner zerkleinert (vgl. Abb. 1, rechts).

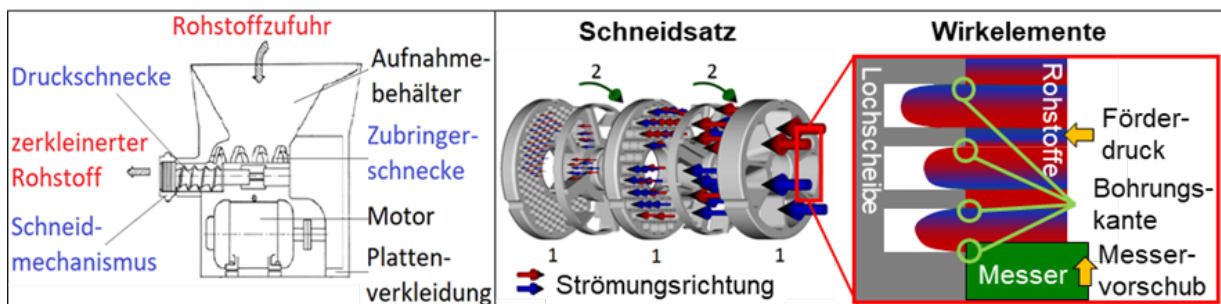
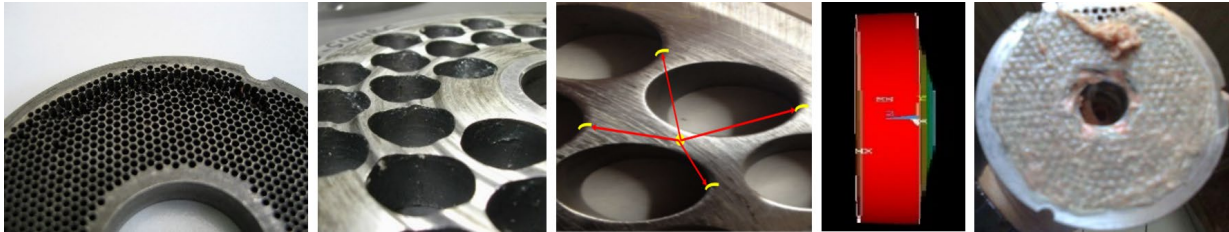


Abbildung 1: Beispielhafter Aufbau und Bauelemente eines Standardwolfs [PFS88] (links), schematische Darstellung der Funktionsweise eines 5-teiligen Schneidsatzes [\*HaH09] sowie Wirkelemente eines Schneidsatzes [\*Kri15] (rechts)

Dieses einfach erscheinende Funktionsprinzip setzt technisch komplexe Maschinen voraus [WGS18]. Die Anforderungen an Fleischwölfe und ihre Bauteile haben sich über die Zeit stetig erhöht. Mit dem Druck, nachhaltiger zu produzieren, werden die Maschinen insbesondere in der Fleischbranche energetisch immer effizienter, leistungsfähiger und qualitätsschonender. Gleichzeitig erhöhen sich fortlaufend die Ansprüche an die Lebensmittelsicherheit [\*BaH90]. Darüber hinaus verlangt jedes herzustellende Erzeugnis nach individuellen Anpassungen, Änderungen bzw. Einstellungen an der Maschine sowie dem eingesetzten Schneidsatz. Gewolfte Fleisch für die Frischvermarktung muss andere Eigenschaften aufweisen als bspw. die Rohmasse zur Formung von Hamburgern oder als das Brät einer Brüh- bzw. einer Rohwurst [\*SKO11].

Maßgeblich entscheidend dafür sind, neben den maschinellen Einstellungen (Rohstoffzufuhr- und Messergeschwindigkeit), die Rohstoffeingangstemperatur sowie der Grad der Vorzerkleinerung, vor allem aber die Auswahl des benötigten Schneidsatzes und dessen Komponenten. Einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität und die Durchsatzmenge des zu produzierenden Erzeugnisses besitzen neben der Form und dem Aufbau der Schneidmesser im Besonderen der Durchmesser, die Anzahl sowie die Geometrie der Bohrungen der Lochscheibe [\*BaH90].

Um ein qualitativ hochwertiges Produkt möglichst effizient zu erzeugen, müssen sämtliche Komponenten in diesem System exakt aufeinander abgestimmt sein [\*BaH90]. Fehler, wie bspw. unscharfe Schneidmesser und Lochscheiben, eine zu hohe bzw. zu geringe Fördergeschwindigkeit oder mangelnde Planlage der Messer auf den Lochscheiben, führen zur Durchbiegung und Versehnung dieser. Dies wiederum bringt Qualitätseinbußen mit sich (vgl. Abb. 2) [Lau03].



*Abbildung 2: Beispiele mangelhafter Schneidwerkzeuge infolge mechanischer Beanspruchung: Zerstörte Lochscheibe (links), Einkerbungen an Lochscheibe [\*HaS04] (Mitte links), verrundete Bohrungen einer Lochscheibe an Eintrittsebene [\*HaS04] (Mitte), FEM-Darstellung der Durchbiegung von Lochscheiben [\*HaH09] (Mitte rechts), versehnte Lochscheibe [\*HaS04] (rechts)*

Zahlreiche technische Innovationen bzgl. der Geometrie der Lochscheiben, der Bohrungsanordnung sowie des Einsatzes neuartiger und verbesserter Werkstoffe führten (insbesondere aufgrund der für die Durchsatzleistung maßgeblichen steigenden Durchlassfläche) zu kontinuierlichen Leistungssteigerungen bei der Verworfung [IGH11]. Da die Bohrungen von konventionellen Lochscheiben in einem abtragenden Verfahren gebohrt werden, ergeben sich aber fertigungstechnische Einschränkungen, die eine Weiterentwicklung stark limitieren.

---

### **Forschungsziel**

Durch eine Gestaltung der Wolfscheiben mit einer Art Knicklochbohrung, jedoch mit einer spannungsreduzierenden Wölbung anstelle eines Knicks sowie einer Verjüngung des Kanals an der Austrittsebene zur Verpressung des zu verarbeitenden Rohstoffs sollte es möglich werden, die Prozesseigenschaften und die Produktqualität spürbar zu verbessern (vgl. Abb. 3). Der Stand der Technik und die eigenen Vorversuche zeigten, dass es dabei theoretisch möglich ist, den Anteil der produktivitätsentscheidenden Durchsatzfläche zu vergrößern, ohne die Durchbiegung der Wolfscheibe negativ zu beeinflussen. Es wurde beabsichtigt, die Vorteile, die sich aus der Schräglochbohrung ergeben, mit denen der Geradlochbohrung in einer neuartigen Lochscheibe zu vereinen. Da diese Geometrien der Wolfscheiben konventionell nicht herzustellen sind, wurde entschieden, diese additiv zu fertigen.

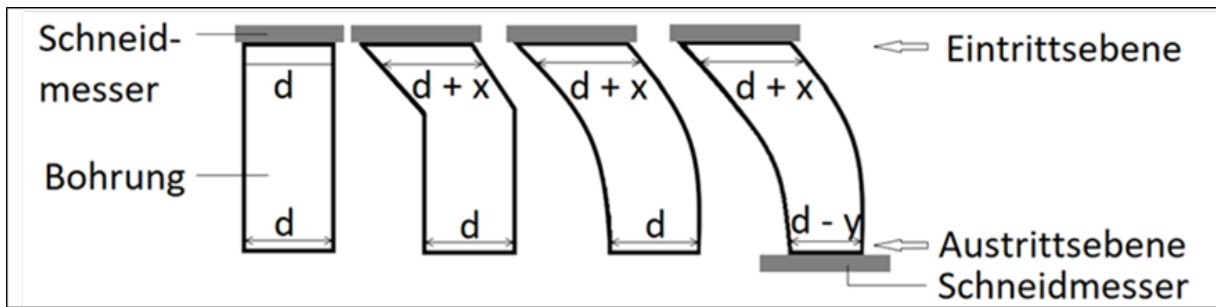


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer kreisrunden Geradlochbohrung (links), Knicklochbohrung (Mitte links), gewölbten Knicklochbohrung (Mitte rechts) und der angedachten gewölbten Knicklochbohrung mit Verjüngung an der Austrittsebene (rechts)

Um die höheren Fertigungskosten von 3D-gedruckten Bauteilen gegenüber konventionell hergestellten Produkten zu rechtfertigen, musste mindestens ein Material mit hoher Verschleißbeständigkeit, Schneidhaltigkeit und bestehender Lebensmitteltauglichkeit für den LPBF-Prozess (Laser Powder Bed Fusion) qualifiziert werden. Die korrosionsträgen Eigenschaften von HSS entsprechen den Anforderungen der Lebensmittelindustrie. Durch ein Strömungsschleifen der Knicklochbohrungen und finalen Planschleifen der Wolfscheiben war es angedacht, die erforderlichen Oberflächengüten zu erzielen.

**Das übergeordnete Ziel des Projektes war es, den Fertigungsprozess von konturoptimierten und im LPBF-Verfahren additiv gefertigten Wolfscheiben aus HSS erfolgreich zu definieren, um die Potenziale der Formfreiheit vollständig nutzen zu können und den Nachweis der Effizienzsteigerung und Gesamtkosten senkung im industriellen Einsatz zu erbringen.**

Bezogen auf die Vorgehensweise während der Bearbeitung konnten die Teilziele wie folgt formuliert werden:

1. Qualifizierung von PM23 für das LPBF

Auf Basis der Erkenntnisse aus Vorversuchen im Rahmen der Antragsphase wurde eine HSS-Sorte mit dem Namen PM23 ausgewählt. Das erste Teilziel bestand darin die grundlegenden Prozessparameter für die additive Verarbeitung zu ermitteln und die generelle Verarbeitbarkeit im LPBF-Verfahren sicherzustellen.

2. Adaption der Prozessparameter auf komplexe Geometrien

Mit der Spezifizierung der zunächst ermittelten Prozessparameter schloss das zweite Teilziel direkt an das erste an und es galt den Parametersatz auf die additive Fertigung von beliebig komplexen Geometrie zu übertragen, so dass unabhängig von der im Projekt zu erzeugenden Wolfscheibengeometrien qualitativ hochwertige Komponenten beliebiger Form mittels LPBF additiv herzustellen sind.

3. Ermittlung geeigneter Nacharbeitsschritte

Während der reine Aufbauprozess im LPBF-Verfahren autark betrachtet werden kann, stellt die Nacharbeit, wie etwa eine geeignete Wärmebehandlung oder das

Abtrennen von der Bauplattform, zusätzliche Herausforderungen dar. Ein weiteres Teilziel war also die Definition von geeigneten Nacharbeitsschritten zur Erreichung qualitativ hochwertiger und einsatzbereiter Bauteile.

#### 4. Oberflächenbehandlung von Wolfscheiben

Aufgrund der grundlegenden Geometrie von Wolfscheiben konnte das Strömungsschleifen bereits vor Laufzeitanfang als ein geeigneter Prozess für die Glättung der Durchgänge identifiziert werden. Auch hier konnte als weiteres Teilziel der Aufbau einer geeigneten Apparatur sowie die Bestimmung von Behandlungsparametern, die zu einer zufriedenstellenden Qualität führen, definiert werden.

#### 5. Definition der Wolfscheibengeometrie

Unabhängig von den eigentlichen Vorgängen zur Fertigung galt es als weiteres Teilziel die ideale Geometrie gekrümmter und sich verjüngender Kanäle zu detaillieren. Dementsprechend galt es diese auf die unterschiedlichen Wolfscheibengrößen zu adaptieren.

#### 6. Stabilitätsprüfung der additiv gefertigten Wolfscheibenexemplare

Um die Kräfte, die während des Einsatzes in einem Fleischwolf auf die Lochscheiben wirken, nachzubilden und sicherzustellen, dass diesen schadensfrei standgehalten werden kann, galt es als weiteres Teilziel mit sogenannten Durchbiegetests die Stabilität der additiv gefertigten Wolfscheiben mit der von konventionellen Exemplaren zu vergleichen und so die Sicherheit im Einsatz zu gewährleisten.

#### 7. Qualifikation des Einsatzes

Zur Erreichung des übergeordneten Zieles bestand eines der wichtigsten Teilziele darin, die additiv gefertigten Wolfscheiben in den Einsatz zu bringen, um so die Leistungsfähigkeit in Bezug auf Standzeit bzw. Verschleißfestigkeit, Produktqualität und Durchsatz analysieren zu können. Dabei wurde eine entsprechende Effizienzsteigerung im Vergleich zu konventionellen Lösungen angestrebt.

#### 8. Definition eines industriellen Fertigungsablaufs

Als finales Teilziel galt es unter Berücksichtigung aller gesammelter Erkenntnisse sowie einer ökonomischen Bewertung der potenziellen Effizienzsteigerung eines additiven Fertigungsvorgangs diesen auf eine industrielle Serienfertigung inklusive aller vor- und nachbereitender Schritte zu übertragen. Somit sollte bewertet werden, ob das übergeordnete Ziel erreichbar ist.

---

### **Vorgehensweise und Forschungsergebnisse**

**Das übergeordnete Ziel des Projektes, den Fertigungsprozess von konturoptimierten und im LPBF-Verfahren additiv gefertigten Wolfscheiben aus HSS erfolgreich zu definieren, um die Potenziale der Formfreiheit vollständig nutzen zu können und den Nachweis der Effizienzsteigerung und Gesamtkostenenkung im industriellen Einsatz zu erbringen, wurde erreicht.**

Nachfolgend werden auf die geschilderten Teilziele eingegangen und diese mit den im Projekt erreichten Ergebnissen gegenübergestellt:

### 1. Qualifizierung von PM23 für das LPBF

Im Rahmen von zahlreichen Versuchen zur Eingrenzung des Parameterfensters sowie zur Fertigung von Probekörpern konnte letztendlich ein finaler Parametersatz ermittelt werden. Dieser ist auf die additive Verarbeitung des PM23 mit einer Aconity MIDI mit Bauplattformheizung bis zu 800 °C bezogen. Anhand metallographischer Analysen konnte gezeigt werden, dass die gefertigten Probekörper eine gute Qualität in Bezug auf Dichte und Rissfreiheit aufwiesen. Die Qualifizierung des Materials PM23 konnte somit erfolgreich abgeschlossen werden (vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Fünfstufige Vorgehensweise zur Qualifikation bzw. zur Parameterfindung eines Materials zur Verarbeitung im LPBF

### 2. Adaption der Prozessparameter auf komplexe Geometrien

Im Rahmen der Projektlaufzeit wurden zahlreiche Wolfscheiben sowohl mit einem Durchmesser von 70 mm für Laborversuche als auch mit einem Durchmesser von 130 mm für den Einsatz in Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses aus PM23 gefertigt. Wie in den Abb. 5 und Abb. 6 zu erkennen, wiesen diese variierende Geometrien auf, die nach und nach optimiert wurden (vgl. Punkt 5). Somit konnte gezeigt werden, dass der entwickelte Parametersatz mit der Produktion derart komplexer Geometrien kompatibel war.

### 3. Ermittlung geeigneter Nacharbeitsschritte

Unabhängig von der Geometrie und der Größe der Wolfscheiben konnten die nötigen Nacharbeitsschritte definiert und bei zahlreichen Exemplaren erfolgreich angewendet werden. Neben zerspanenden Verfahren zur Abtrennung der Bauteile von der Bauplattform und zur Nacharbeit der Oberflächen, konnte eine geeignete Wärmebehandlung für beliebige Geometrien definiert werden. Diese wurde zur Homogenisierung der Härte im gesamten Bauteil sowie zur Justierung der Zähigkeit verwendet.

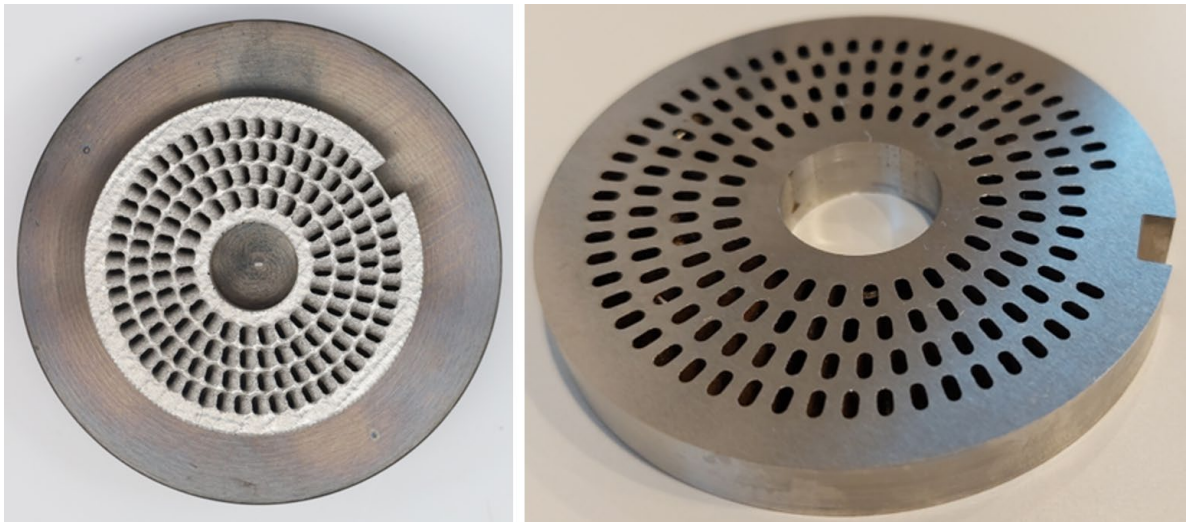


#### 4. Oberflächenbehandlung von Wolfscheiben

Mit einem eigenentwickelten Aufbau zum Strömungsschleifen konnte die generelle Machbarkeit zur Glättung der Kanäle von Wolfscheiben aus PM23 demonstriert werden. Dafür wurde für beide Lochscheibengrößen jeweils eine Halterung konstruiert und gefertigt, die an einer Umwälzpumpe befestigt wurde. Als Schleifmedium wurde eine Mischung, bestehend aus Wasser, Verdickungsmittel und Korund vorbereitet, die im Zuge der Versuche mittels der Pumpe durch die Kanäle der Wolfscheiben befördert wurde und diese somit geätzt hat.

#### 5. Definition der Wolfscheibengeometrie

Auf Basis der Recherchetätigkeiten und Untersuchungen unmittelbar nach Laufzeitanfang konnte eine zufriedenstellende Geometrie mit gekrümmten und sich verjüngenden Kanälen definiert und erfolgreich auf Wolfscheiben mit einem Durchmesser von 70 mm und 130 mm übertragen werden. Auch die weiteren Parameter durch Definition der Gestalt wurden erfolgreich bestimmt und auf Basis der gesammelten Erkenntnisse während des Einsatzes der Wolfscheiben noch feinjustiert. Abb. 5 zeigt beispielhaft zwei unterschiedliche Geometrien von Wolfscheiben mit einem Durchmesser von 70 mm.



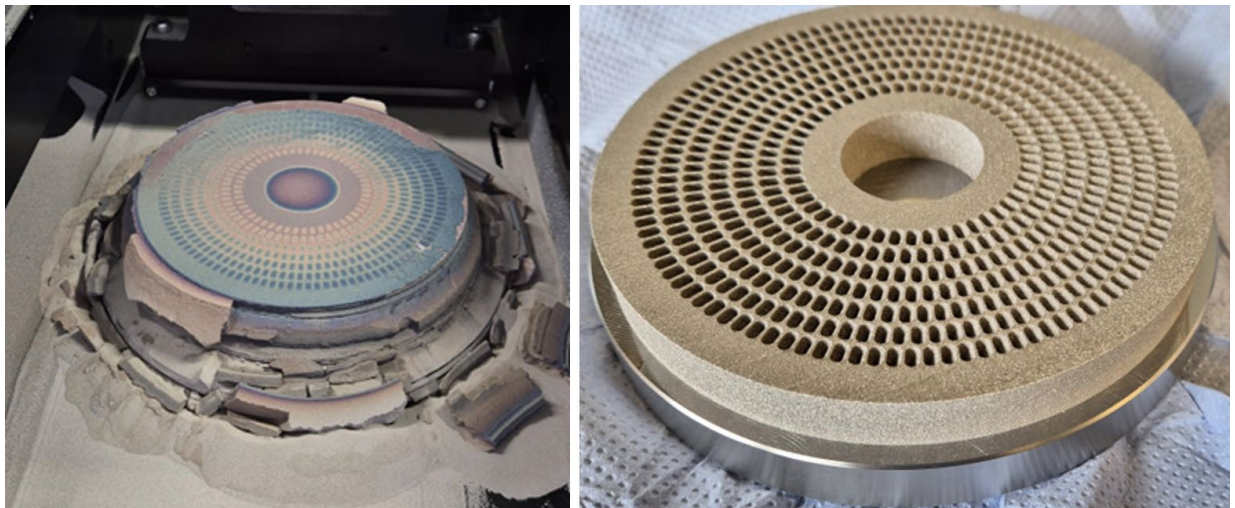
*Abbildung 5: Wolfscheiben mit einem Durchmesser von 70 mm: Unmittelbar nach der additiven Fertigung auf der Bauplatzform (links) und im nachbearbeiteten und einsatzbereiten Zustand (rechts)*

#### 6. Stabilitätsprüfung der additiv gefertigten Wolfscheibenexemplare

Mittels durchgeführter Durchbiegetests konnte die Stabilität und Einsatzsicherheit von jedem additiv gefertigten Exemplar sowohl mit 70 mm als auch mit 130 mm Durchmesser sichergestellt werden. Im Rahmen dieser Tests wurden Belastungen aufgebracht, welche jene Kräfte, die typischerweise im maschinellen Einsatz erreicht werden, überschritten.

## 7. Qualifikation des Einsatzes

Mit der Durchführung von laborbasierten Evaluationsversuchen mit den Wolfscheiben mit einem Durchmesser von 70 mm sowie dem industriellen Einsatz der Exemplare mit einem Durchmesser von 130 mm konnte nachgewiesen werden, dass beide Varianten Potenzial für eine Effizienzsteigerung in Bezug auf Eigenschaften wie etwa Qualität, Durchsatz oder Standzeit besitzen. Für den Einsatz in den Industriemaschinen wurde auch Sicherheitsgründen jedoch entschieden, Wolfscheiben aus dem Material 17-4PH zu fertigen (vgl. Abb. 6).



*Abbildung 6: Ein Wolfscheibenexemplar aus 17-4PH mit einem Durchmesser von 130 mm: Unmittelbar nach der additiven Fertigung im Bauraum des Druckers (links) sowie aus dem Drucker entnommen und von Pulver befreit (rechts)*

## 8. Definition eines industriellen Fertigungsablaufs

Mit Abschluss aller Versuche und im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung konnten Maßnahmen zur Kostenreduktion in einer additiven Großserienfertigung vorgesehen werden. Unter Berücksichtigung eines derartigen industriellen Fertigungsablaufs und unter Annahme einer gesteigerten Effizienz und Qualität konnte prognostiziert werden, dass die im Projekt erzielten Ergebnisse mit dem industriellen Einsatz von additiv gefertigten Wolfscheiben mit optimierter Kanalgeometrie aus HSS den derzeit eingesetzten Maßnahmen überlegen sind.

---

## **Zusammenfassung**

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens war es, formoptimierte Wolfscheiben additiv mittels LPBF herzustellen, um das Potenzial zur Effizienzsteigerung dieses Prozesses vollständig nutzen zu können.

Die im Projekt erzielten Ergebnisse können sowohl von Großunternehmen, aber insbesondere auch von KMU in Bezug auf unterschiedliche technologische Branchen verwertet werden. Die Zusammenarbeit beider Forschungseinrichtungen mit den wis-



senschaftlichen Schwerpunkten auf dem Lebensmittelhandwerk sowie auf der additiven Fertigung spiegelt bereits die Multidisziplinarität der Inhalte wider.

Die erfolgreiche Entwicklung und exemplarische Evaluation formoptimierter Durchlassöffnungen in Lochscheiben hat das Optimierungspotenzial des gesamten Wolfprozesses bewiesen. Jegliche Unternehmen, in denen Wolfmaschinen zur Zerkleinerung von beliebigen Rohstoffen zum Einsatz kommen, können somit von dem erarbeiteten Wissen profitieren und dieses ggf. auf ihre eigenen technischen Anwendungsfälle übertragen. Auch für die Hersteller und Anbieter von Wolfmaschinen und zugehöriger Ausstattung sind die Ergebnisse von großer Relevanz.

Unabhängig von dem Einsatz der neuartigen Wolfscheiben in entsprechenden Maschinen, stellen die Forschungsergebnisse im Bereich der additiven Fertigung eine wichtige Basis für die Verarbeitung von Legierungen mit einem hohen Kohlenstoffanteil dar. Aufgrund der somit erreichbaren Härte eröffnen sich Möglichkeiten für die Herstellung von beliebigen Werkzeugkomponenten, die über eine hohe Verschleißbeständigkeit verfügen und somit für zahlreiche technologische Prozesse, in denen große Kräfte wirken, relevant sind.

---

### Literaturverzeichnis

Bei den mit [\*] markierten Quellen handelt es sich um Publikationen der beiden beteiligten Forschungseinrichtungen.

- [\*BaH90] Baier, A.; Haack, E. (1990): Technisch-technologische Untersuchungsergebnisse an Fleischwölfen. In: *Fleischwirtschaft* 70, S. 880-886.
- [\*HaH09] Haack, E.; Haack, O. (2009): Wolfforschung: Schneidwerkzeuge im Trend.
- [\*HaS04] Haack, E.; Schnäckel, W. (2004): Leistung gepaart mit Spitzenqualität. In: *Fleischwirtschaft* 84, S. 57-62.
- [\*Kri15] Krickmeier, J. (2015): Modellierung der Bedingungen beim Schneiden insbesondere in einer Wolfmaschine mit dem Ziel der Optimierung des Zerkleinerungsprozesses sowie der Erhöhung der Produktqualität, Dissertation. Martin Luther Universität Halle-Wittenberg. Halle (Saale).
- [\*SKO11] Schnäckel, W.; Krickmeier, J.; Oktaviani; Schnäckel, D.; Micklisch, I. (2011): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses: Modellierung der Bedingungen beim Schneiden in einer Wolfmaschine. In: *Fleischwirtschaft*, S. 83-87.

- 
- [IGH11] Imscher, S.; Gibis, M.; Herrmann, K.; Kohlus, R.; Weiss, J. (2011): Herstellungskosten von Rohwürsten durch neue Technologien deutlich reduzierbar. In: *Fleischwirtschaft*, S. 115-121.
- [Lau03] Lauber, P. (2003): Machine for Chopping organic cut products. Veröffentlichungsnr: 6, 644, 574B1.
- [PFS88] Prändl, O.; Fischer, A.; Schmidhofer, T.; Sinell, H.-J. (1988): Handbuch der Lebensmitteltechnologie: Fleisch - Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung.
- [WeB05] Weck, M.; Becher, C. (2005): Werkzeugmaschinen. Maschinenarten und Anwendungsbereiche. In: Berlin: Springer Verlag, S. 123.
- [WGS18] Weiss, J.; Gibis, M.; Schuh, V.; Salminen, H. (2010): Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. In: *Meat Science* 86, S. 196-213.

---

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, [www.fgw.de](http://www.fgw.de), angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Dr.-Ing. Robin Roj unter +49 (2191) 5921-122.